



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Influencia de la implementación de un proyecto de clase fundamentado en aprendizaje basado en proyectos y en formación de competencias en un curso de pregrado sobre procesos de maquinado.

Juan David Orjuela Méndez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Bogotá, Colombia
2012

Influencia de la implementación de un proyecto de clase fundamentado en aprendizaje basado en proyectos y en formación de competencias en un curso de pregrado sobre procesos de maquinado.

Juan David Orjuela Méndez

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Mecánica

Director:

Ph.D. José Manuel Arroyo Osorio

Codirector (a):

Ph.D. Rodolfo Rodríguez Baracaldo

Línea de Investigación:

Docencia en procesos de manufactura y materiales

Grupo de Investigación:

**INNOVACIÓN EN PROCESOS DE MANUFACTURA E INGENIERÍA DE MATERIALES
(IPMIM)**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Bogotá, Colombia

2012

A mis padres y a mi familia, por todo.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia, a la Facultad de Ingeniería, y al programa de Maestría en Ingeniería Mecánica, por abrirme tantas posibilidades profesionales y permitirme la realización académica.

A mis directores, José Manuel Arroyo y Rodolfo Rodríguez, por su decisión valiente de apoyarme, su orientación permanente, su enorme disposición y por haberme abierto las puertas. Estoy en deuda con ustedes.

A mis compañeros de estudio y trabajo en estos años de maestría: a la Ing. Kalenia Márquez, al Ing. Oscar Rodríguez, al Ing. Manuel Pinzón, al Ing. Héctor Castro Abril, a los Ing. Marcela Arango y Santiago Rendón, al Ing. MSc. Edgar Patiño, por su compañía y ánimo constantes, a la Ing. Laura Ardila por su ayuda para la referenciación bibliográfica, a los Ing. Jhon Fredy Ochoa y Diego Fuentes y a los demás colegas de la Sala de Estudio, por lo que he aprendido y lo que me han permitido compartir.

A la Fundación Alberto Merani y a Sitrasmat Ltda., por la formación profesional que me brindaron y por la oportunidad que me otorgaron de desempeñarme y conocer a fondo el contexto que motiva esta tesis.

Resumen

Fue evaluada la incidencia de implementar un proyecto de curso, estructurado bajo los lineamientos de aprendizaje basado en proyectos (ABP) y formación por competencias, en el desempeño de los estudiantes de un curso de pregrado sobre procesos de manufactura por maquinado. El proyecto concebido con este fin consistió en el desarrollo de un magazín con artículos y plataforma web desarrollados enteramente por los estudiantes. Fueron utilizados métodos mixtos de investigación educativa y un diseño cuasi-experimental que involucra mediciones del desempeño en un grupo denominado experimental y en otro grupo denominado de control. El grupo experimental corresponde a los estudiantes que tomaron la asignatura (Código SIA 2017214, 2012-03) en el segundo semestre de 2012, quienes desarrollaron el proyecto de curso mencionado, el grupo de control correspondió a estudiantes de semestres anteriores que no desarrollaron el proyecto de curso mencionado. Se concluyó que el proyecto tuvo influencia en el desarrollo de algunas competencias particulares.

Palabras clave: Procesos de Maquinado, Formación por Competencias, Aprendizaje basado en Proyectos (ABP), Evaluación de Competencias, Desempeño, Enfoque CDIO.

Abstract

The incidence of implementing a course project on the performance of students in an undergraduate course on manufacturing processes for machining was evaluated, under the guidelines of structured project-based learning (PBL) and skills training. The course project conceived for this purpose was the development of a magazine with articles and web platform developed entirely by students. Educational research by Mixed methods and quasi-experimental design were used, involving performance measures in a group called experimental and another group called control. The experimental group is for students who took the course in the second half of 2012 (SIA Code 2017214, 2012-03), who developed the mentioned course project, the control group corresponded to students of previous semesters who did not develop the project mentioned course. It was concluded that the project was influential in the development of certain competencies.

Keywords: Machining Processes, Competencies-based formation, Project-based learning (PBL), Competencies Assessment, Performance, CDIO Approach.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1. Marco teórico.....	7
1.1 Investigación educativa.....	7
1.1.1 Aspectos generales de la investigación educativa.....	7
1.1.2 Metodología de investigación cuasi-experimental y de caso único	10
1.2 Competencias en ingeniería: aspectos curriculares y didácticos.....	13
1.2.1 Competencias: definiciones y aproximaciones al concepto en educación superior.	13
1.2.2 Formación de competencias: enfoque socioformativo	17
1.2.3 CDIO: Un enfoque de formación para ingeniería.	20
1.2.4 Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)	23
1.3 Fundamentos de psicometría.....	25
2. Antecedentes.....	29
2.1 Antecedentes internacionales	29
2.1.1 Investigación sobre el entorno de la educación para ingenieros de manufactura	29
2.1.2 Investigación en aspectos de diseño curricular y didáctico orientados a la formación de ingenieros de manufactura.	32
2.1.3 Investigación en didácticas de aprendizaje basado en proyectos.....	36
2.1.4 Integración de las tecnologías de información y comunicaciones.....	38
2.2 Antecedentes regionales y locales.....	41
3. Marco Conceptual: Propuesta de reestructuración en el diseño curricular del curso 43	
3.1 Contexto de las necesidades específicas de formación en competencias de maquinado.	44

3.2	Estructuración de competencias específicas a ser desarrolladas en el curso: enfoque socioformativo	47
3.3	Objetivos de aprendizaje bajo el enfoque CDIO <i>Syllabus</i>	49
3.4	Malla curricular diseñada para el curso.	51
4.	Estrategia didáctica a implementar – Proyecto de Clase (Intervención)	53
4.1	Propósitos y métodos de aprendizaje que se deben privilegiar con la intervención	53
4.2	Actividad propuesta para los estudiantes: Desarrollo de un magazín	55
4.2.1	Lineamientos del proyecto	56
4.2.2	Antecedentes de proyectos similares.....	56
4.2.3	Roles de los estudiantes y productos finales	57
4.2.4	Criterios generales de valoración.....	61
4.2.5	Secuencia didáctica por competencias del proyecto	62
4.3	Pertinencia de la intervención.....	63
5.	Medición y evaluación del desempeño como variable dependiente	65
5.1	Evaluación asociada a las competencias	65
5.1.1	Evaluación de conocimientos asociados: Diseño de un instrumento de preguntas de selección múltiple.	66
5.1.1.1	Validación estadística de la prueba.....	68
5.1.2	Autopercepción de habilidades asociadas: Diseño de una encuesta tipo Likert.	70
5.1.2.1	Validación estadística de la autoevaluación.....	72
5.2	Evaluación interna de la intervención (Proyecto de curso) mediante <i>rúbricas</i> y <i>portafolio</i>	74
5.2.1	Detalles de diseño de la rúbrica.....	74
5.2.2	Descripción del portafolio.....	75
5.3	Otros procesos de evaluación	77
5.3.1	Evaluación teórica mediante previas.....	77
5.3.2	Evaluación de las prácticas de laboratorio	77
5.4	Calificación total del curso	77
5.5	Evaluación cualitativa de habilidades comunicativas y de trabajo colaborativo.....	78
6.	Resultados y análisis asociados	81
6.1	Resultados obtenidos en el grupo experimental (estudiantes participantes del Proyecto de Curso)	81
6.1.1	Pruebas al inicio del semestre	82
6.1.1.1	Conocimientos relativos a las competencias específicas	82
6.1.1.2	Autopercepción de habilidades relativas a las competencias específicas.....	83
6.1.2	Pruebas al final del semestre.....	86
6.1.2.1	Conocimientos relativos a las competencias específicas, prueba posterior al proyecto	86
6.1.2.2	Autopercepción de habilidades relativas a las competencias específicas, prueba posterior al proyecto.....	89
6.1.3	Implementación del proyecto de curso.....	91
6.1.3.1	Productos tangibles de la implementación: Magazín Fabricar en la web.....	93
6.2	Resultados obtenidos en el grupo control (estudiantes de semestres anteriores).....	97

6.2.1	Autopercepción de habilidades relativas a las competencias específicas, prueba posterior	97
6.3	Estudio de resultados cualitativos sobre el desarrollo de habilidades comunicativas y de trabajo colaborativo	99
6.4	Comparación de resultados	108
6.4.1	Comparación dentro del grupo experimental (inicio – final)	108
6.4.2	Comparación entre los grupos de control y experimental (final – final).....	111
6.5	Análisis de la influencia de otras variables mediante regresión.....	111
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	117
7.1	Conclusiones	117
7.2	Aportes del proyecto de tesis.....	118
7.3	Recomendaciones para trabajo futuro	118
	Bibliografía	121
	Anexo A: Malla curricular teórica.....	132
	Anexo B: Objetivos de aprendizaje propuestos en función del CDIO Syllabus.....	136
	Anexo C: Publicaciones surgidas del trabajo de tesis	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo D: Prueba de conocimientos asociados a las competencias definidas de maquinado.....	140
	Anexo E: Instrumento para la Autopercepción de habilidades asociadas a las competencias definidas de maquinado	158
	Anexo F: Rúbricas para la valoración de las entregas del Proyecto de Curso.....	161
	Anexo G: Encuesta para medición de habilidades comunicativas y de trabajo colaborativo.....	165

Lista de figuras

Figura	Pág.
Figura 1-1: Desarrollo de habilidades en competencias y experticia. Adaptación de [30].	15
Figura 1-2: Clasificación de competencias transversales (genéricas) y específicas. Adaptación de [32].	16
Figura 1-3: Implementación del modelo CDIO. Adaptación de [37].	21
Figura 3-1: Habilidades en manufactura con mayor grado de requerimiento entre los empleadores de Estados Unidos ⁴ .	46
Figura 5-1: Estadísticos descriptivos y comparación con cuantil normal para la distribución de puntajes.	69
Figura 5-2: Histograma de distribución de puntajes en prueba pre- de conocimientos.	69
Figura 5-3: Formulario de hoja de datos en Google con autoevaluación.	71
Figura 5-4: Análisis factorial confirmatorio para la Autoevaluación - Resultados.	73
Figura 5-5: Portafolio ejemplo para un grupo del Comité Periodístico.	76
Figura 5-6: Formulario de hoja de datos en Google con encuesta final sobre el proyecto.	78
Figura 6-1: Estudiantes del curso en prueba pre- de conocimientos.	82
Figura 6-2: Estudiante del curso tomando la prueba post- de conocimientos.	86
Figura 6-3: Estudiantes del curso en prueba post- de conocimientos.	87
Figura 6-4: Estadísticos descriptivos y comparación con cuantil normal para la distribución de puntajes en la prueba post-.	88
Figura 6-5: Histograma de distribución de puntajes en prueba post- de conocimientos.	89
Figura 6-6: Valoración del portafolio en cada entrega – Resultados promedio.	93
Figura 6-7: Página de inicio – Magazín Fabricar.	94
Figura 6-8: Ejemplo de artículo publicado en el Magazín Fabricar.	95
Figura 6-9: Comentarios hechos a un artículo en particular dentro de la página web del magazín.	96
Figura 6-10: Estudiante en proceso de coevaluación de sus compañeros de clase.	96
Figura 6-11: Grado de acuerdo con: “Al desarrollar mi rol, aprendí a crear productos que me permitieron comunicar efectivamente los resultados de mi investigación”.	100
Figura 6-12: Grado de acuerdo con: “Participar en el magazín me ayudó a explorar actividades que normalmente no uso en mis estudios”.	101
Figura 6-13: Grado de acuerdo con: “Participar en el magazín me ayudó a comprender mejor la forma de llevar a cabo un proyecto”.	102

Figura 6-14: Grado de acuerdo con: “He aprendido a elaborar mejores productos para responder a los lineamientos de un proyecto” .	103
Figura 6-15: Grado de acuerdo con: “El proyecto me parece una alternativa de aprendizaje pertinente para la materia” .	104
Figura 6-16: Grado de acuerdo con: “La metodología del proyecto me permitió aprender más significativamente los contenidos de la materia” .	105
Figura 6-17: Respuestas a: “El tiempo dedicado al desarrollo del proyecto lo estima en” .	106
Figura 6-18: Respuestas a: “El uso de una rúbrica con indicadores de evaluación impactó mis hábitos de aprendizaje” .	106
Figura 6-19: Respuestas a: “¿Recomendaría continuar desarrollando este tipo de proyectos para la materia?” .	107
Figura 6-20: Respuestas a: “Seleccione los adjetivos que describen mejor su opinión sobre el proyecto” .	107
Figura 6-21: Distribución de puntajes totales en pruebas pre- y post- de conocimientos asociados a las competencias.	109
Figura 6-22: Descripción de resultados al aplicar la prueba Wilcoxon para los puntajes en prueba pre- y post- de conocimientos.	110
Figura 6-23: Validación prueba de hipótesis al aplicar la prueba Wilcoxon para los puntajes en prueba pre- y post- de conocimientos.	110
Figura 6-24: Variables Conceptuales y Medidas en el estudio de correlación. Adaptado de [122].	112
Figura 6-25: Distribución para el análisis de correlación entre la variable de Proyecto de Clase y el desempeño en conocimientos asociados a las competencias.	114
Figura 6-26: Distribución para el análisis de correlación entre la variable de Notas en clases teóricas y el desempeño en conocimientos asociados a las competencias.	114
Figura 6-27: Coeficientes de correlación entre el proyecto de clase y el desempeño medido en competencias.	115
Figura 6-28: Coeficientes de correlación entre las clases teóricas y el desempeño medido en competencias.	115
Figura 6-29: Coeficientes de correlación entre la participación en proyecto y el desempeño medido en competencias por autoevaluación – Grupo Experimental.	116

Lista de tablas

Tabla	Pág.
Tabla 1-1: Métodos principales de investigación educativa [9].	9
Tabla 1-2: Comparación entre métodos correlacionales y cuasi-experimentales [18].	11
Tabla 1-3: Secuencia Didáctica por Competencias para el enfoque Socioformativo [34].	18
Tabla 1-4: Descripción del CDIO Syllabus. Adaptada de [37].	22
Tabla 3-1: Deficiencias de los ingenieros graduados respecto a las habilidades esperadas de ellos. Adaptada de [37].	44
Tabla 3-2: Definición de Competencia Comprensión.	48
Tabla 3-3: Definición de competencia Selección de Insumos.	48
Tabla 3-4: Definición de competencia Estimación Económica.	49
Tabla 3-5: Definición de competencia Planeación de Procesos.	49
Tabla 3-6: Definición de competencia Selección de Nuevas Tecnologías.	49
Tabla 3-7: Definición de competencia Comunicación.	49
Tabla 3-8: Extracto de la Malla Curricular propuesta para la competencia de Estimación Económica.	51
Tabla 4-1: Distribución de temas para artículos del Comité Periodístico.	58
Tabla 4-2: Secuencia Didáctica para el proyecto de Curso – Enfoque Socioformativo.	62
Tabla 5-1: Relación de preguntas en el cuestionario de conocimientos y competencias que se miden.	67
Tabla 5-2: Relación de preguntas en la autoevaluación y competencias que se miden.	72
Tabla 5-3: Rúbrica ejemplo – Entrega 1 del Comité Periodístico.	75
Tabla 6-1: Medias de resultados por competencia en la prueba pre- de conocimientos.	82
Tabla 6-2: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Comprensión.	83
Tabla 6-3: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Selección de Insumos.	84
Tabla 6-4: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Estimación Económica.	84
Tabla 6-5: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Selección de Nuevas Tecnologías.	84
Tabla 6-6: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Planeación de Procesos.	85
Tabla 6-7: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Habilidad Selección de Herramientas y Competencia Comunicación.	85
Tabla 6-8: Medias de resultados por competencia en la prueba post- de conocimientos.	87
Tabla 6-9: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Comprensión.	89
Tabla 6-10: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Selección de Insumos.	90

Tabla 6-11: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Estimación Económica.	90
Tabla 6-12: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Selección de Nuevas Tecnologías.....	90
Tabla 6-13: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Planeación de Procesos.....	91
Tabla 6-14: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Habilidad Selección de Herramientas y Competencia Comunicativa.	91
Tabla 6-15: Ejemplo de rúbrica diligenciada para un grupo del Comité Periodístico.	92
Tabla 6-16: Ejemplo de observaciones hechas a la entrega de un grupo del Comité Periodístico.	92
Tabla 6-17: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Competencia Comprensión.....	97
Tabla 6-18: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Competencia Selección de Insumos.	98
Tabla 6-19: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Competencia Estimación Económica.....	98
Tabla 6-20: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Competencia Selección de Nuevas Tecnologías.	98
Tabla 6-21: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Competencia Planeación de Procesos.....	99
Tabla 6-22: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Habilidad Selección de Herramientas y Competencia Comunicativa.	99
Tabla 6-23: Promedios obtenidos en los componentes de desempeño en competencias y clases teóricas para una muestra del grupo experimental.	113
Tabla 6-24: Promedios obtenidos en los componentes de desempeño en competencias y Proyecto de Clase para una muestra del grupo experimental.....	113

Introducción

Planteamiento del problema

Desde la década de 1990, a nivel mundial se ha observado la necesidad (por parte no solamente de la academia, sino de los líderes en la industria y de los entes gubernamentales de los países) de reformular las habilidades y competencias que deben definir el perfil de los futuros ingenieros. Esta necesidad se venía advirtiendo por las fuertes demandas de profesionales dotados con nuevas capacidades, surgidas del desarrollo tecnológico y social -[1], [2]-.

La investigación propuesta pretende analizar a través de mediciones específicas de los resultados de desempeño, la efectividad que puede tener la implementación de un proyecto específico enmarcado en estrategias de enseñanza y de aprendizaje por proyectos y el desarrollo de competencias específicas en áreas relacionadas con fabricación por maquinado en estudiantes de pregrado en ingeniería mecánica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Justificación

Varios autores -[2], [3], [4]- coinciden en afirmar que la educación en manufactura, específicamente, requiere de profundos cambios en su enfoque, objetivos e implementación, con el fin de formar ingenieros cuyas competencias estén acordes con los requerimientos y exigencias del ámbito, marcados por tendencias globalizadoras, de libre cambio y de alta competencia, que implican, entre otros aspectos, la actualización constante en el manejo y aplicación de nuevas tecnologías de la información y de las comunicaciones para el diseño, planeación y ejecución de procesos de manufactura en general y procesos de fabricación por maquinado en particular.

Este conjunto de necesidades pedagógicas y formativas no es posible de satisfacer con el seguimiento de dinámicas de enseñanza desarrolladas por la tradición o por la implantación de contenidos, enfoque a través del cual los docentes abordan usualmente la enseñanza en ingeniería, que si bien busca alcanzar unos logros u objetivos previamente diseñados, no responde (por lo explorado durante la etapa preliminar de esta investigación) a la aplicación de una metodología específica de diseño curricular y evaluación, basada en indicadores concretos medidos en el estudiante.

Adicionalmente, como parte de cualquier innovación educativa para formar futuros ingenieros de fabricación, se reconoce la importancia de incorporar estrategias de enseñanza y de aprendizaje que respondan a la necesidad que tienen las empresas manufactureras de contar con el recurso humano idóneo, con conocimiento de elementos teóricos pero también prácticos, además de habilidades de comunicación y alguna aproximación al contexto de la industria [4].

Dicho ejercicio de evaluación y planteamiento de nuevas didácticas basadas en el diseño curricular se ha estado aplicando en Colombia, principalmente a nivel de enseñanza primaria y secundaria, pero son relativamente pocos los casos reportados a nivel de educación superior de pregrado universitario -[5], [6]-.

Objetivo general

Evaluar la incidencia de implementar un proyecto de curso, estructurado bajo los lineamientos de aprendizaje basado en proyectos (ABP) y formación por competencias, en el desempeño de los estudiantes de un curso de pregrado sobre procesos de manufactura por maquinado.

Objetivos específicos

1. Proponer, implementar y evaluar una alternativa de proyecto elaborada para la asignatura Procesos de Manufactura II (Código SIA 2017214, 2012-03).

2. Identificar y comparar las correlaciones entre los desempeños medidos de los estudiantes en relación con la propuesta de proyecto implementada.
3. Identificar la incidencia de otras actividades y metodologías evaluativas en el desempeño de los estudiantes, en comparación con el desarrollo del proyecto de curso.

Pregunta de investigación

¿Implementar un proyecto de curso en el marco del aprendizaje basado en proyectos (ABP) y de la formación por competencias, influye en el desempeño satisfactorio de los estudiantes de pregrado de ingeniería mecánica y mecatrónica?

Hipótesis

La implementación de un proyecto de curso con fundamento en ABP y modelos de formación por competencias influye en el desarrollo adecuado de las habilidades técnicas esperadas, así como en el desarrollo de habilidades de comunicación y trabajo colaborativo importantes en la formación integral en ingeniería

Metodología

El desarrollo de la presente investigación comprendió las siguientes actividades:

1. Revisión bibliográfica y del estado del arte.
2. Construcción del modelo de competencias y de aprendizaje basado en proyectos (ABP) como marco conceptual. Esta etapa implicó revisar las necesidades de formación en competencias específicas para procesos de maquinado, a partir de estudios hechos previamente y de indagación con el docente que imparte la materia dentro del contexto en el que se va a aplicar. Posteriormente, con base en la revisión bibliográfica, se formularon las competencias que describen el perfil de egreso para el ingeniero capacitado en satisfacer las necesidades indagadas.
3. Exploración sobre posibilidades de proyecto de clase a ser implementadas con los estudiantes. Teniendo como insumo las competencias y habilidades que se detectaron como indispensables o necesarias a ser desarrolladas, se dispuso de una base para plantear alternativas de proyecto de curso que fueran acordes con los lineamientos de ABP. Como tal se seleccionó una alternativa que fue estructurada e implementada.

4. Diseño y elaboración de instrumentos de evaluación en conocimientos y percepción propia de habilidades dentro del marco conceptual. Para tener una medida del desempeño de los estudiantes consecuente con el marco conceptual, se desarrollaron una serie de instrumentos escritos que permitieron verificar de forma heterónoma y autónoma el nivel de competencia de cada estudiante.
5. Aplicación de los instrumentos de evaluación al grupo experimental para establecer estado inicial. Esto permitió identificar el nivel de entrada de los estudiantes en las competencias antes de la intervención.
6. Diseño de rúbricas de evaluación del proyecto de clase. Una rúbrica en este contexto es la matriz o rejilla a través de la cual se pondera el valor de los indicadores de desempeño de acuerdo a lo evidenciado por el estudiante. A partir de la estructura del proyecto, es decir, de las actividades propuestas y los productos que los estudiantes deben entregar, se diseñó un método particular (empleando *rúbricas*) para medir los desempeños asociados a la implementación del proyecto de clase.
7. Implementación del proyecto de clase en los estudiantes. Esto implicó presentar el tipo de proyecto y los lineamientos a partir de los cuales se desarrolló, establecer cronogramas y productos, permitir que los estudiantes desarrollen las actividades y hacer seguimiento, evaluación y retroalimentación de los productos entregados, en las diversas etapas del proyecto.
8. Aplicación de los instrumentos de evaluación al grupo experimental para establecer estado final. Esto corresponde a la valoración post para establecer el nivel de cambio, si lo hubo, en el desempeño en competencias de los estudiantes que tomaron la intervención y con ello analizar las posibles causas de la variación hipotética.
9. Aplicación de distintos métodos de evaluación a un grupo de control (estudiantes de semestres anteriores) para efectuar contrastación. Para efectos de comparar si la intervención influyó en el desempeño, se tomó como control a un grupo de estudiantes que vieron la materia en semestres anteriores bajo condiciones de enseñanza muy similares (con excepción del tipo de proyecto) y se verificó en ellos un conjunto de desempeños asociados a las competencias construidas en el marco conceptual, a través del análisis de sus notas anteriores y de una prueba al final del semestre (post-test)

10. Procesamiento y análisis de datos. En esta etapa se aplicaron diversas técnicas estadísticas de tipo descriptivo e inferencial para analizar los datos recogidos, con miras a determinar el efecto en la hipótesis de investigación.

Finalmente se procedió con la extracción de conclusiones y elaboración del informe final.

1. Marco teórico

1.1 Investigación educativa

El presente proyecto de tesis se enmarca en las metodologías de investigación educativa, aplicada a la formación en ingeniería, concretamente al estudio sobre el desarrollo de competencias específicas en procesos de maquinado dentro de la disciplina de la Ingeniería Mecánica.

Del análisis de antecedentes realizado sobre las tesis de posgrado en la maestría en Ingeniería Mecánica ofrecida por la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, no se encuentra de momento ninguna que corresponda a este tipo de ámbito investigativo. Se cuentan algunas tesis de pregrado en Ingeniería Mecánica –por ejemplo [7] y [8]- en las que se plantean ayudas didácticas para el aprendizaje de contenidos específicos para cursos de pregrado. Por tanto, se hace necesario definir cuáles son los aspectos particulares de la investigación educativa, ver en qué se diferencia de otros tipos de investigación y determinar la metodología de investigación particular que es más pertinente para indagar si la hipótesis planteada en la Introducción se acepta, se rechaza o si no se puede comprobar su veracidad o falsedad.

1.1.1 Aspectos generales de la investigación educativa

Una definición concreta de investigación educativa la proporcionan Ary et al. [9]: “La investigación educativa es la aplicación del método científico al estudio de los problemas educativos. La investigación educativa es la forma en que las personas adquieren información fiable y útil sobre el proceso educativo. Los educadores suelen realizar investigaciones para encontrar una solución a algún problema o para profundizar en un tema que no entienden”.

Autores como Niño Rojas [10] hablan, de manera más general, sobre investigación en educación como la aplicación de la investigación en el ámbito educativo, y dividiendo dicha aplicación en *investigación educativa* (aquella dedicada a la aplicación de la investigación científica sobre el fenómeno educativo, con objetos más amplios de investigación: políticas, planes, programas, etc.) e *investigación pedagógica* (encaminada a los problemas en el terreno de la enseñanza y del aprendizaje, conducida principalmente por los docentes en el aula). El mismo autor menciona que en Colombia existe cierto grado de debate alrededor del rol de docente-investigador, su perfil, acciones e implicaciones.

Otros autores [11] distinguen dos tipos de investigación educativa: *básica*, referida a clarificar los procesos educativos existentes, con hipótesis planteadas de forma teórica, y *aplicada*, cuyo interés principal es examinar la efectividad de una o varias prácticas educativas particulares. En este último tipo de investigación, es posible que quienes están involucrados tengan (o no) interés en conocer el grado en el cual ciertas teorías son útiles en situaciones prácticas de enseñanza – aprendizaje.

Para efectos del presente trabajo, se asumió un enfoque de investigación aplicada, específicamente orientada hacia la validación de la influencia que tiene una actividad didáctica particular sobre el desempeño, siendo la teoría aplicable aquella que corresponde a los modelos de formación en competencias y al aprendizaje basado en proyectos.

Hay disponible en la literatura una importante variedad de metodologías de investigación educativa aplicada. Una excelente revisión de las posibilidades la ofrecen Montero y León [12], quienes las extienden a diversos campos de investigación en ciencias sociales. En la tabla 1-1, se exponen aquellas que son más frecuentes, así como su objetivo principal, con el fin de orientar la identificación de la alternativa tomada para este proyecto.

Si bien es posible seleccionar un solo tipo de investigación entre las alternativas mencionadas, es práctica común que se empleen simultáneamente varios tipos, de acuerdo al contexto y circunstancias en que se encuentran los estudiantes, el docente o,

en general, los actores objeto y sujeto de la investigación. En este caso, se habla de una investigación de métodos mixtos (*Mixed-methods research*) [13].

Tabla 1-1: Métodos principales de investigación educativa [11].

Método	Propósito
Investigación – Acción	Centrada en las situaciones locales específicas en el aula, y que hace hincapié en la participación activa de quienes intervienen en el estudio, y que se ven afectados por ella. Se hace uso de uno o más tipos de investigación.
Experimental	Comparar dos o más tratamientos con el fin de estudiar sus efectos, al tratar de controlar otras posibles variables que pueden afectar los resultados de investigación.
Estudios de Caso Único (<i>Single-subject studies</i>)	Estudio intensivo de un solo individuo o grupo en el tiempo.
Estudios de correlación	Investigación de las relaciones que pueden existir entre dos o más variables, así como sus implicaciones de causa y el efecto.
Estudios de tipo causal-comparativo	Explorar el motivo de, o las consecuencias de, las diferencias que existen entre grupos de personas.
Estudios <i>censales</i> (<i>Surveys</i>)	Recopilación de datos para determinar las características diversas y particulares de un grupo.
Etnografías	Documentar o retratar las experiencias cotidianas de las personas observando y entrevistándolos y a otras personas relevantes
Estudios históricos	Estudiar un aspecto del pasado, ya sea por la revisión de documentos de la época o por las personas que vivían durante ese tiempo.

En su artículo de revisión, Borrego, Douglas y Amelink [14] citan una definición sobre métodos mixtos dada por Crowell: “Un estudio de métodos mixtos involucra la recolección o análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos en un solo estudio, dentro del cual los datos se recolectan concurrente o secuencialmente, se les asigna una

prioridad, e implican la integración de los datos en una o más etapas del proceso de investigación”. Estos autores plantean que no hay ninguna posición investigativa en particular que esté privilegiada sobre las demás, sino que, de hecho, es posible hacer uso de múltiples métodos con el objetivo de cubrir todos los aspectos a investigar.

El ejercicio investigativo del presente trabajo se orientó hacia la alternativa de métodos mixtos, dado que se proyecta recoger datos de distinta índole (tanto cuantitativos como cualitativos) y compararlos de manera que nos ofrezcan la información necesaria para, en principio, establecer la aceptación o rechazo de la hipótesis de investigación, y además para ofrecer otros resultados que conduzcan a nuevas investigaciones en la formación de ingeniería.

1.1.2 Metodología de investigación cuasi-experimental y de caso único

En algunas ocasiones, por circunstancias de disponibilidad física o por cuestiones éticas, o en áreas de investigación donde ciertas variables que pueden influir en los resultados de un experimento no son fáciles de controlar (e incluso llega a ser imposible hacerlo), no es factible recurrir a los diseños experimentales clásicos, tal y como están descritos en la numerosa literatura disponible –por ejemplo, [15], [16] y [17]-

Una de las disciplinas en la que suele ocurrir este tipo de restricciones es la educación. En la investigación de carácter educativo, es posible que los grupos experimental o de control no puedan ser asignados aleatoriamente [18]. En casos como éste, o en otras investigaciones de campo (es decir, en las que no es posible simular el ambiente de laboratorio) se hace uso extenso de lo que se denomina cuasi-experimentación (*quasi-experimentation*). Un cuasi-experimento, de acuerdo con lo indicado por McBurney y White [19], no permite al experimentador controlar la asignación de sujetos a condiciones. En él, es necesario seleccionar (más que asignar) a los sujetos para las diferentes condiciones a partir de grupos previamente existentes. Los autores [19] mencionan que este tipo de metodología tiene un menor grado de control, pero que dicha característica no lo hace totalmente inferior a un experimento real, sino que se escoge en función de las posibilidades.

Existen múltiples tipos de diseños que corresponden a cuasi-experimentos. El diseño cuasi-experimental más común [19] es el denominado en inglés *nonequivalent-control-group design*. Corresponde a las situaciones de investigación en las que tanto el grupo experimental como el grupo control son parte de un experimento, pero los sujetos no han sido asignados aleatoriamente en alguno de dichos grupos. En este tipo de diseño, el mayor riesgo está en la forma de establecer comparaciones entre los resultados de ambos grupos.

En este sentido, cabe comparar los estudios correlacionales con los cuasi-experimentales. Para ello, la tabla 1-2 permite observar las diferencias en cuanto a la metodología y las posibles relaciones de inferencia que se pueden establecer:

Tabla 1-2: Comparación entre métodos correlacionales y cuasi-experimentales [20].

Método	Variables	Conclusiones	Precauciones
Correlacional	Dos variables medibles.	Las variables pueden estar relacionadas de alguna manera.	No se puede concluir que la relación es causal.
Cuasi-experimental	Típicamente, hay una variable independiente no manipulada y una variable dependiente medida.	Diferencias sistemáticas se observan entre dos o más grupos, pero no se puede decir que es la variable independiente la que, en definitiva, causa las diferencias.	Debido a otras variables intervinientes, inherentes al uso de variables independientes no manipuladas, puede haber explicaciones alternativas a los resultados.

En el contexto de los diseños de investigación cuasi-experimental se suelen utilizar los símbolos y convenciones establecidos por Campbell y Stanley (citados por [18]) en la década del 60:

- La letra X representa la exposición de un grupo a una variable experimental o evento, cuyos efectos se van a medir.
- La letra O se refiere al proceso de observación o medición.

- Múltiples X y O en una fila determinada se aplican a las mismas personas.
- El orden de izquierda a derecha indica la secuencia temporal.
- Múltiples X y O que sean verticales entre sí son simultáneos.
- La letra R indica la asignación aleatoria a grupos de tratamiento separados.
- Filas paralelas no separadas por guiones representan grupos de comparación equiparados por la aleatorización, mientras que los que están separados por una línea de trazos representan grupos no equiparados por asignación aleatoria.

Para aportar un ejemplo de aplicación en esta notación, se plantea un ejercicio cuasi-experimental en el cual a un solo grupo (llamado “experimental”) va a recibir una intervención, y se desean medir los posibles efectos de la intervención únicamente en dicho grupo. Esta situación de campo se representaría de la siguiente manera:

$$O_{e1} \quad X \quad O_{e2}$$

Donde el subíndice e indica que se refiere al grupo experimental, y los subíndices 1 y 2 representan las etapas pre-intervención y post-intervención, respectivamente. En otra situación, se hace una intervención sobre el grupo experimental y se observa el efecto final a través de una prueba post-, que se aplica también al grupo control sobre el que no se hace intervención. Dicho arreglo se representa entonces como:

$$\begin{array}{c} X \quad O_{e2} \\ \hline O_{c2} \end{array}$$

Esta notación se utilizará intensivamente para la presentación de las comparaciones efectuadas en este proyecto en cuanto a resultados.

Mención aparte requiere un diseño de campo especial, el diseño de caso único (*Single-subject research design*). De acuerdo con la literatura -[21], [11], [22]-, es quizá el tipo de diseño experimental más sencillo que se puede encontrar en investigación educativa; es un diseño que adapta las condiciones de los estudios de series de tiempo. Fraenkel y Wallen [11] indican que son los estudios que más se emplean para estudiar los cambios que exhibe el comportamiento de un individuo expuesto a un tratamiento o intervención de cierto tipo. En el caso de diseños aplicados sobre un solo grupo –que de acuerdo con

[12] se pueden denominar *intrasujeto*-, cada uno de los participantes ha recibido todos los niveles de la variable independiente en todos los órdenes (*completo*) o solo en un orden (*incompleto*).

Recogiendo esta información, y en vista de las condiciones y circunstancias logísticas que se presentaron en la asignatura que fue objeto de intervención, se decidió escoger varios tipos de diseño cuasi-experimental para ser implementados en esta investigación:

- Pre-test y post-test en el grupo experimental.
- Post-test en el grupo control y post-test en el grupo experimental.
- Diseño de caso único, del tipo A-B, tomado como sujeto el grupo experimental en su totalidad.

1.2 Competencias en ingeniería: aspectos curriculares y didácticos.

La propuesta pedagógica de formación por Competencias es el núcleo conceptual del presente proyecto.

De acuerdo con autores como Shuman et al. –[23] y citados por [24]– “la educación en ingeniería en los últimos años ha evidenciado la necesidad de combinar las habilidades duras tradicionales con las habilidades blandas que promuevan la integridad del futuro profesional”, y se considera que la formación por competencias contribuye a ello. Por tanto, en el presente apartado se pretende enfocar el constructo competencial para delimitarlo al ámbito de la formación profesional en ingeniería. Posteriormente, se discuten las propuestas curriculares y didácticas específicas estructuradas (enfoque socioformativo de competencias, diseño curricular a través de CDIO, Aprendizaje basado en Proyectos) que permiten implementar dicho constructo en el aula de clase y, con ello, llevar a cabo el estudio cuasi-experimental.

1.2.1 Competencias: definiciones y aproximaciones al concepto en educación superior.

En el ámbito de las entidades encargadas de crear, regular y auditar los requerimientos formativos, así como en los estamentos rectores de la educación superior en Colombia, se plantea la necesidad de pasar de la formación por contenidos a la formación por competencias, basados principalmente en las demandas de adaptación laboral que han

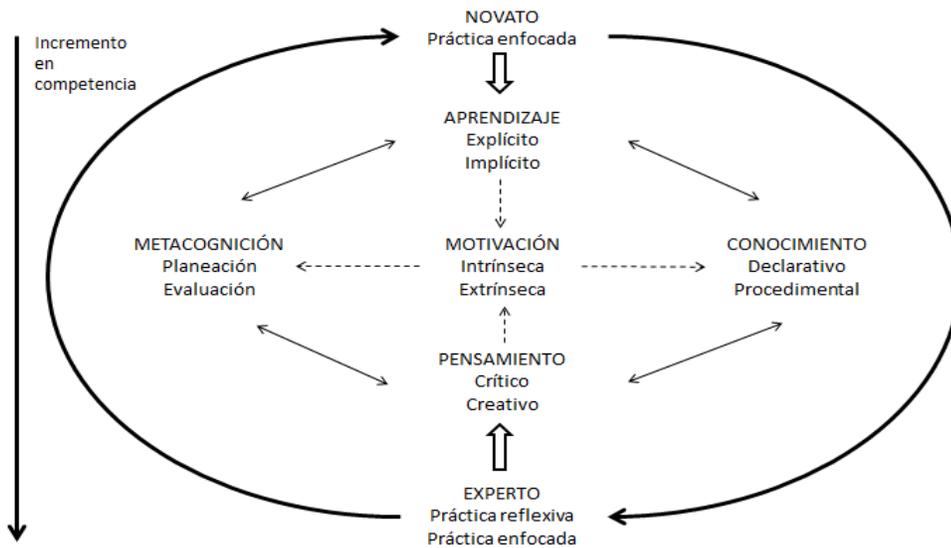
surgido [25]; este tránsito se hace visible en las exigencias hechas a todas las facultades de ingeniería al momento de definir los objetivos de formación de los programas de pregrado que ofrecen, durante los procesos de evaluación, reforma y acreditación de la calidad. Esto implica, en primer lugar, tener claridad sobre lo que se entiende como *competencia*, en el entendido de que una enunciación concreta y sin ambigüedad es pilar fundamental del diseño curricular que se proponga.

En este sentido, el concepto de “Competencia” ha sido discutido desde hace alrededor de 50 años a través de diversas propuestas y perspectivas [26] en un espectro muy amplio de ámbitos que van desde lo social hasta lo ingenieril. Diversos autores -[27], [28]- indican que no hay un solo uso del concepto de competencia y tampoco existe una definición ampliamente aceptada o una teoría que las unifique. De manera que se tomarán en lo sucesivo aquellas definiciones que se consideren más cercanas o pertinentes para situarlas en este trabajo. Por consiguiente, una definición de competencia, dada por el *International Bureau of Education* en Geneva [25], plantea que “(...) corresponde a una combinación interrelacionada de destrezas cognitivas y prácticas, conocimiento (incluyendo conocimiento tácito), motivación, valores, actitudes, emociones y otros componentes que juntos pueden ser movilizados”. La unidad funcional que se utiliza en la definición del diseño curricular suele ser el *objetivo de formación*, que puede describirse en términos de *competencia-capacidad*, al entenderse como equivalentes entre sí, junto con los *objetivos educativos* y las *destrezas-habilidades (skills)*.

En relación con el surgimiento del término en el ámbito educativo, A. De Zan, L. Paipa y C. Parra [29] indican que el concepto al parecer se originó en el campo de la lingüística en los trabajos desarrollados por Noam Chomsky. Posteriormente, fue apropiado por la psicología en un intento de ver una posible explicación del funcionamiento de la mente. Los autores mencionan otras definiciones formales para las competencias, de las que cabe destacar la planteada por Beneitone et al. [30], que las contempla como “aquellas capacidades que todo ser humano requiere para resolver problemas, de manera eficaz y autónoma frente a las situaciones que se le presentan en el tránsito de la vida, personal y laboral. Dichas capacidades se fundamentan en un saber profundo, que no sólo implican el saber qué o el saber cómo sino el saber ser persona frente a un mundo complejo en continuo cambio y cada vez más competitivo”

Se encuentra una interesante posición respecto a las competencias, que se podría denominar evolutiva o del desarrollo, y la proporciona Sternberg [31]. De acuerdo con este autor, las habilidades se desarrollan en (o evolucionan en) competencias, y éstas a su vez se desarrollan en experticia de una persona; una explicación gráfica se ilustra en la figura 1-1. De particular interés en este enfoque es el conjunto de mecanismos como la motivación, el aprendizaje, el pensamiento, la metacognición y el conocimiento (comprendidos por Sternberg como *habilidades*) que influyen e interactúan en el paso de un individuo de novato a experto a través de la competencia. En el núcleo de este modelo se encuentra la noción de que los individuos están inmersos en un proceso continuo de desarrollar experticia cuando trabajan u operan dentro del marco de un dominio; ellos pueden diferir –y según el autor de hecho lo hacen- en el grado y velocidad de desarrollo alcanzado.

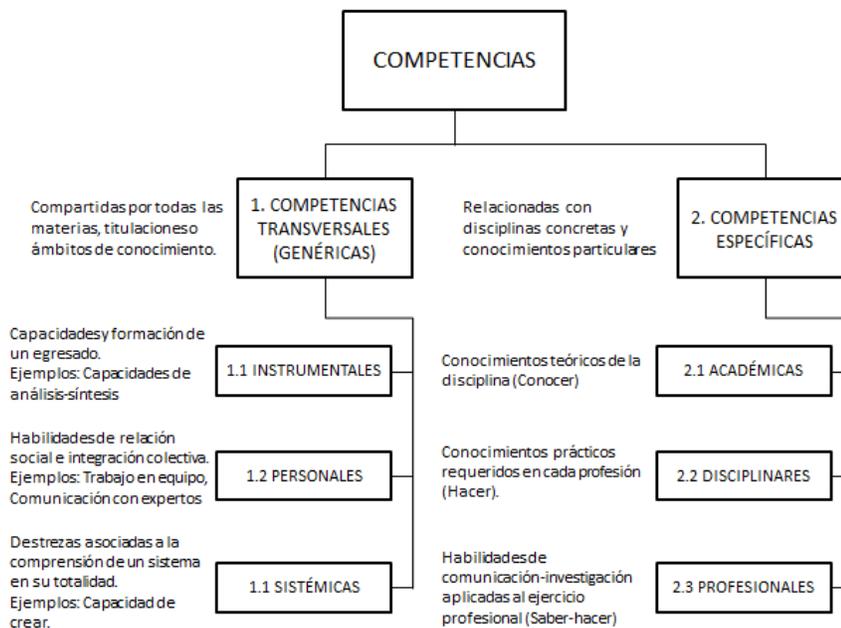
Figura 1-1: Desarrollo de habilidades en competencias y experticia. Adaptación de [32].



Para facilitar la comprensión de las competencias en el mundo laboral, es importante analizar el resultado obtenido por J. Sandberg [33], en cuyo artículo se propone un enfoque interpretativo de las competencias laborales (denominado “fenomenografía”); en contraposición a los enfoques racionalistas tradicionales, la competencia humana en el trabajo está constituida por un conjunto específico de atributos, tales como los conocimientos y habilidades utilizados para realizar trabajos particulares. El artículo desarrolla un estudio de caso en el entorno de los procesos de fabricación de un motor

de automóvil (pertinente con el objeto de la presente investigación). De acuerdo con el autor, los resultados demuestran que la forma particular de concebir el trabajo delimita ciertos atributos esenciales y los organiza en una estructura característica de la competencia en el trabajo. Con base en la amplia variedad de definiciones encontradas, algunas de las cuales se expusieron en este apartado, se infiere la necesidad de acotar y formular con precisión aquellas competencias necesarias a desarrollar en el ámbito de la manufactura para el futuro ingeniero. Para ello, es pertinente la taxonomía de competencias propuesta en el Proyecto Turing -[30], citado por [34]-, con el fin de establecer el tipo de competencias que se construirán en la asignatura. La figura 1-2 ilustra las diferentes categorías de competencias acordadas en América Latina por dicho proyecto. Para esta investigación, y siguiendo lo postulado en la clasificación del proyecto Turing, se concibe definir un conjunto de competencias *específicas*, en tanto se está trabajando con una disciplina concreta (la ingeniería de fabricación por maquinado), dentro de la cual se pretende consolidar un grupo de conocimientos particulares que se consideran el producto fundamental o la razón por la cual se enseña la asignatura de Procesos de Manufactura II.

Figura 1-2: Clasificación de competencias transversales (genéricas) y específicas. Adaptación de [34].



1.2.2 Formación de competencias: enfoque socioformativo

En la propuesta de aplicación formal de las competencias a la formación superior, Tobón [35] plantea que las competencias deben verse como procesos complejos de desempeño con idoneidad en determinados contextos, teniendo como base la responsabilidad. Se hacen procesos complejos en tanto que van más allá de ser un *saber hacer en contexto* (afirmación que suele hacerse en el entorno educativo sobre competencias), pues requieren, además de compromiso, disposición a hacer las cosas con calidad, manejo de conceptos y comprensión de los mismos, además de la interacción con las dimensiones del ser humano y del contexto que lo rodea. El autor concluye que la formación basada en competencias tiene como eje formar no sólo para la ejecución de actividades profesionales, sino también educar para analizar y resolver problemas, lo cual conlleva a un enfoque investigativo complementario.

De acuerdo con el enfoque socio formativo propuesto por Tobón et al. [36], que se toma como referente para la formulación conceptual del presente proyecto, se indica que para la formación de los estudiantes no solamente es necesario lograr que adquieran muchos conocimientos, sino que aprendan a aplicarlos en actividades y problemas con calidad, de manera que integren una acción ética, con base en valores y actitudes. También se distingue en este enfoque la aplicación práctica de la acción competente: “hay alumnos que aprenden acciones para abordar situaciones en forma práctica, aunque para ser competentes es preciso que además de las acciones prácticas estén en condiciones de comprenderlas, contextualizarlas y analizarlas a partir de conceptos y teorías, y que además las realicen con un compromiso ético”.

En el enfoque socioformativo, las competencias son actuaciones integrales, para identificar, analizar y resolver problemas en contexto en distintos escenarios, integrando el saber ser (actitudes y valores), el saber conocer (conceptos y teorías) y el saber hacer (habilidades procedimentales y técnicas). Para operacionalizar la definición de una competencia en un diseño curricular específico, de acuerdo con Tobón et al. [36] se requieren tres componentes fundamentales:

- **Dominio de la Competencia.** Es la categoría general en la cual se organizan las competencias pertenecientes a una misma área.

- **Formulación de la Competencia.** Se describe la competencia que se pretende contribuir a formar o evaluar a partir del análisis de problemas del contexto, buscando que tenga un verbo de desempeño, un objeto conceptual, una finalidad y una condición de referencia.
- **Ejes procesuales:** Corresponden a los grandes desempeños de la competencia, que dan cuenta de su estructura como un proceso sistémico. Se consideran opcionales y por lo general se hacen explícitos para organizar los criterios de desempeño con los que posteriormente se evaluará el alcance de la competencia.

De otra parte, el desarrollo de competencias bajo el enfoque socioformativo supone, a su vez, la aplicación de una secuencia didáctica, entendida ésta como el conjunto articulado de acciones y actividades de aprendizaje y evaluación que, con la mediación de un docente, buscan el logro de determinadas metas educativas, considerando una serie de recursos. La tabla 1-3 expresa los componentes principales de la secuencia didáctica planteada por este enfoque.

Tabla 1-3: Secuencia Didáctica por Competencias para el enfoque Socioformativo [36].

Componentes principales de una secuencia didáctica por competencias	
<i>Situación problema del contexto</i>	Problema relevante del contexto por medio del cual se busca la formación.
<i>Competencias a formar</i>	Descripción del conjunto de competencias a formar en los estudiantes.
<i>Actividades de aprendizaje y evaluación</i>	Se indican las actividades con el docente y las actividades de aprendizaje autónomo de los estudiantes.
<i>Evaluación</i>	Se establecen los criterios y evidencias para orientar la evaluación del aprendizaje, así como la ponderación respectiva; se anexan las matrices de evaluación.
<i>Recursos</i>	Se establecen los materiales educativos requeridos para llevar a cabo la secuencia didáctica, así como los espacios físicos y los equipos.
<i>Proceso Metacognitivo</i>	Se describen las principales sugerencias para que el estudiante reflexione y se auto regule en su proceso de aprendizaje.

Por último, es importante destacar de este enfoque para la formación por competencias que, en cuanto al componente de evaluación, se hace necesario el uso de múltiples herramientas y mecanismos para determinar el nivel competente alcanzado por un estudiante. Se considera a la evaluación de (o basada en) competencias como todo un nuevo paradigma y una experiencia de cambio significativa para la práctica docente. Pasa de centrarse en aspectos específicos de los contenidos a considerar el desempeño de forma integral.

Tobón y colaboradores -[35], [36], [37]- plantean una serie de principios básicos que se deben tener en cuenta para la evaluación de competencias:

- **Principio 1:** La evaluación se lleva a cabo para tomar decisiones que mejoren y aumenten el grado de idoneidad.
- **Principio 2:** La evaluación debe realizarse teniendo en cuenta el contexto profesional, disciplinar, social e investigativo.
- **Principio 3:** La evaluación de competencias se basa esencialmente en el desempeño.
- **Principio 4:** La evaluación también es para el docente y la misma administración de la universidad.
- **Principio 5:** La evaluación desde el enfoque competencial integra lo cualitativo y lo cuantitativo.
- **Principio 6.** Los estudiantes deben participar en el establecimiento de las estrategias de valoración.
- **Principio 7:** La evaluación de competencias debe acompañar todo el proceso formativo.

Igualmente, es necesario tener en cuenta los tipos de evaluación en función de quien participa en ellos; en este caso se habla de las siguientes.

- **Autoevaluación:** Realizada por el propio estudiante con ayuda de un facilitador. Puede ser implementada mediante cuestionarios con ítems cualitativos y cuantitativos, aplicables al inicio y al final del proceso formativo, que le permitan tener conciencia por sí mismos de sus logros y errores, así como de los aspectos que deben mejorar.

- **Coevaluación:** Es el proceso por el cual los compañeros de grupo evalúan a un estudiante u otro grupo en particular, respecto a las evidencias presentadas y con base ciertos criterios y propiedades de calidad para cada resultado de aprendizaje.
- **Heteroevaluación:** En este proceso, es el facilitador (docente, orientador) quien lleva a cabo las acciones de valoración. Es un juicio objetivo sobre las características del aprendizaje, indicando las fortalezas y aspectos a mejorar, y tiene como base la observación del desempeño hecha en las sesiones de aprendizaje y a través de evidencias específicas.

Entre los mecanismos de evaluación favorecidos por el enfoque socioformativo se encuentra la rúbrica, que de acuerdo con Tobón [35] es una matriz de valoración empleada con el fin de determinar el grado en el cual una persona tiene una determinada competencia o parte de ésta, grado obtenido a partir de indicadores de desempeño y sus correspondientes niveles de logro.

1.2.3 CDIO: Un enfoque de formación para ingeniería.

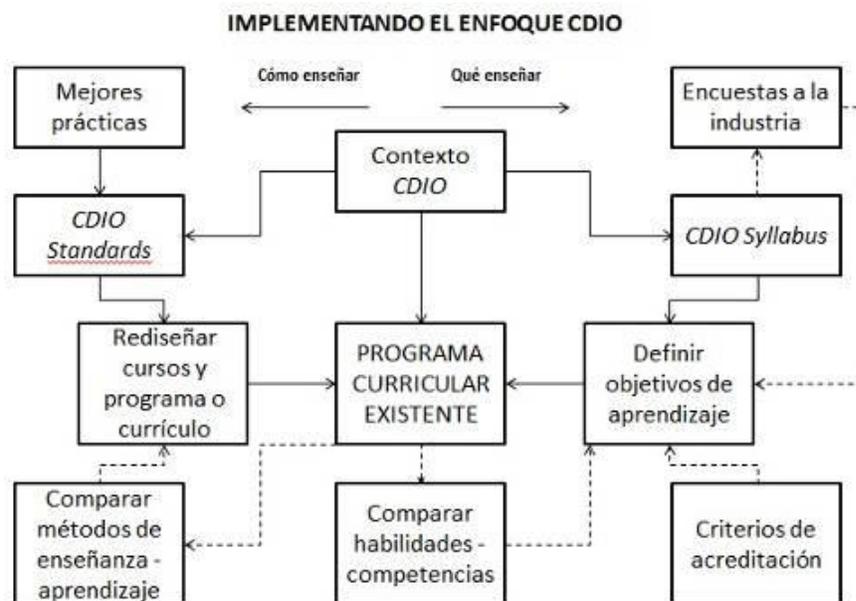
Dentro de los enfoques educativos que se han planteado como alternativas en el proceso de enseñanza - aprendizaje para ingeniería se destaca de manera muy particular el modelo CDIO, cuyas siglas corresponden en inglés a *conceive, design, implement and operate* (concebir o crear, diseñar, implementar y operar), y que está específicamente orientado a trasladar al currículo las necesidades de formación en ingeniería. Es un modelo de formación diseñado por ingenieros para ingenieros, con una estructura secuencial que facilita su implementación y seguimiento.

CDIO emerge como respuesta a un resultado obtenido en la formación de los ingenieros en las últimas dos décadas: las universidades graduaron estudiantes que, si bien se consideraban competentes en lo técnico, carecían de muchas habilidades requeridas en situaciones de ingeniería del mundo real [38]. La industria, al ver este resultado, empezó a generar de manera autónoma una serie de listas de habilidades requeridas para seleccionar a los ingenieros. Así mismo, la ABET generó su propia lista. La combinación de estos resultados, así como el hecho de enfrentar la brecha existente entre la

ingeniería “científica” y las demandas de la ingeniería en la práctica, generó un reto en los entes formadores que suscitó el surgimiento de la iniciativa CDIO en el MIT, con la colaboración del KTH (*Royal Institute of Technology* de Suecia) y la Chalmers University of Technology. Las actividades de CDIO constituyen un ciclo que, de acuerdo con lo propuesto por los autores de esta metodología –[39] y citados por Ulloa Villegas, [40]-, debe constituirse en la espina dorsal de la formación de los futuros ingenieros. Es importante indicar que la propuesta de CDIO es una guía general, que cada institución debe implementar de acuerdo con sus características y la cultura universitaria particular, lo cual brinda el grado de flexibilidad suficiente para proponer alternativas de formación en función del contexto particular.

En lo estructural, la implementación del modelo CDIO supone abordar dos aspectos fundamentales: qué enseñar y cómo enseñarlo. En relación con el currículo, es decir, qué enseñar, el modelo propone un plan de estudios: el *CDIO syllabus*. En relación con la didáctica e implementación (el cómo enseñar), se creó un cuerpo de lineamientos, los *CDIO standards*. Para tener una mirada general de ambos instrumentos, se presenta en la Figura 1-3 un esquema que sintetiza los procesos a seguir.

Figura 1-3: Implementación del modelo CDIO. Adaptación de [39].



El CDIO Syllabus -[39], [41]- como estrategia de diseño curricular, incluye los siguientes macroprocesos y procesos, dentro de los cuales a su vez hay subprocesos que detallan las acciones particulares para obtener un diseño curricular, como muestra la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Descripción del CDIO Syllabus. Adaptada de [39].

1. Conocimiento técnico y Razonamiento	2. Habilidades y atributos personales y profesionales	3. Destrezas interpersonales: trabajo en equipo y comunicación	4. Concebir, diseñar, implementar y operar sistemas en el contexto empresarial y social
1.1 Conocimiento de ciencias subyacentes 1.2 Conocimiento fundamental de ingeniería básica 1.3 Conocimiento avanzado de ingeniería básica	2.1 Analizar y resolver problemas de ingeniería 2.2 Experimentación y descubrimiento de conocimiento 2.3 Pensamiento sistémico 2.4 Destrezas y actitudes personales 2.5 Destrezas y actitudes profesionales	3.1 Trabajo en equipo 3.2 Comunicación efectiva 3.3 Comunicación en idiomas extranjeros	4.1 Contexto externo y social 4.2 Empresas y contexto comercial 4.3 Concepción e ingeniería de sistemas 4.4 Diseño 4.5 Implementación 4.6 Operación

Este diseño queda en función de los resultados de aprendizaje esperados (Learning Outcomes). En tanto, el conjunto de 12 CDIO Standards [39] direccionan:

- La filosofía del programa (Standard 1)
- El desarrollo del currículo (Standards 2, 3, 4)
- El diseño – implementación de experiencias y espacios de trabajo (Standards 5 y 6)
- Los métodos de enseñanza – aprendizaje (Standards 7 y 8)
- El desarrollo del cuerpo de profesores (Standards 9 y 10)
- La valoración (de lo aprendido) y la evaluación de todo el programa o diseño curricular (Standards 11 y 12)

Como resultado de la aplicación sistemática de los estándares, que requiere como insumo toda la información proveniente de la industria en relación con las necesidades de formación de los ingenieros, se obtiene el programa o curso redefinido o rediseñado. En el caso particular de este proyecto de tesis, se hará uso en especial del CDIO

Syllabus para delimitar un conjunto de objetivos de aprendizaje que sirvan como evidencia del desarrollo de las competencias propuestas.

1.2.4 Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)

Una definición sucinta del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP, como se conocerá en lo sucesivo para este documento) la proporciona Bell [42]: es un enfoque de aprendizaje conducido o guiado por el estudiante y facilitado por el docente. En un punto, Bell considera que ABP no es una actividad suplementaria para soportar el aprendizaje, sino que es, de hecho, la base del currículo.

En palabras de Thomas [43], de acuerdo con las definiciones que se encuentran en todos los manuales elaborados sobre ABP para docentes, se entiende por proyectos a las tareas complejas, basadas en preguntas o cuestiones desafiantes o problemas, que involucran al estudiante en actividades de diseño, resolución de problemas, toma de decisiones o investigación, que dan al estudiante la oportunidad de trabajar de forma relativamente autónoma a través de períodos extensos de tiempo, y que culminan en productos o presentaciones realistas. El autor señala que existe una amplia diversidad de rasgos característicos al PBL, los cuales, junto con la falta de un modelo o teoría universalmente aceptados al respecto, dan como resultado una gran variedad de actividades de investigación y desarrollo sobre el sujeto.

Mettas y Constantinou [44] indican que el Aprendizaje Basado en Proyectos es una estrategia instruccional destinada a comprometer a los estudiantes en la realización de tareas auténticas, del “mundo real”, con el fin de favorecer el aprendizaje. Estas tareas pretenden simular situaciones profesionales. Los autores mencionan que este tipo de estrategia se puede clasificar como “centrada en el estudiante”. Se indica que varios investigadores han estudiado el impacto del ABP en una importante variedad de contextos educativos, que van desde la infancia temprana hasta la educación médica y en leyes. El ABP se ha mostrado efectivo en general para incrementar la motivación en los estudiantes y en el mejoramiento de habilidades de pensamiento y de resolución de problemas que se consideran de orden superior.

De acuerdo con Mioduser y Betzer [45] el ABP involucra a los estudiantes, como agentes activos, en un proceso de aprendizaje caracterizado por ciclos recurrentes de análisis y síntesis, acción y reflexión. El constructo pedagógico principal para implementar ABP es el proyecto como tal, el cual puede aparecer en varios tipos de configuraciones que van desde una actividad singular de varias semanas de duración hasta actividades completamente envolventes a ser completadas a lo largo del año académico (e incluso podrían alcanzar dos años de duración). Para Prince y Felder [46], [47] el PBL comienza con una asignación para llevar a cabo una o más tareas que conducen a la obtención de un producto final. La culminación del proyecto es, normalmente, un reporte escrito u oral que resume el procedimiento utilizado para generar el producto y presentar los resultados. Los autores indican que el PBL es familiar a la educación en ingeniería, habiendo sido empleado universalmente en laboratorios y cursos de último año, con una importante tendencia a aumentar la frecuencia de su uso en cursos de primer año y en aquellos que implican procesos de consultoría.

Felder y Brent [48] consideran al aprendizaje basado en proyectos como una metodología de aprendizaje inductiva, en la cual se presentan a los estudiantes los problemas antes de enseñarles todo lo que ellos necesitan saber para resolverlos, y luego sí se les enseña el material requerido, una vez los estudiantes tienen claro para qué lo necesitan. Los autores consideran que este tipo de enfoques instruccionales son una alternativa más efectiva que los métodos tradicionales deductivos. Indican, así mismo, que a la fecha de presentación de su artículo varios departamentos de ingeniería en el mundo habían cambiado el curso tradicional basado en lecturas por cursos basados en proyectos, e incluso la Universidad de Aalborg (en Dinamarca) había pasado todos sus cursos a esta modalidad.

Teniendo en cuenta lo indicado por el *Buck Institute for Education*¹, una actividad educativa rigurosa, significativa y efectiva que esté fundamentada en ABP debe:

¹ www.bie.org/about/what_is_pbl

- a. Estar destinada a enseñar contenido que resulte significativo. Es decir, sus objetivos y lineamientos deben estar directamente derivados de estándares de contenido nucleares del curso al que pertenece.
- b. Requerir que estén involucrados el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la colaboración y varias formas de comunicación, de manera que los estudiantes hagan uso de habilidades de orden superior y aprendan a trabajar en equipo.
- c. Exigir la investigación como parte del proceso de aprendizaje y de la creación de algo nuevo.
- d. Estar organizada alrededor de una pregunta conductora u orientadora cuya respuesta sea abierta.
- e. Crear la necesidad de saber habilidades y contenidos esenciales, pues la actividad debe partir de una visión de un producto final o presentación, que genera un contexto y una razón para aprender.
- f. Permitir algún grado de voz y voto para los estudiantes, lo que ayuda a su empoderamiento y motivación.
- g. Incluir procesos de revisión y reflexión para mejorar sus productos y pensar en la forma en que están aprendiendo.
- h. Involucrar a una audiencia de carácter público, que sea testigo del trabajo de los estudiantes más allá de la clase.

El ABP se propone como un proceso a través del cual es posible medir competencias en ingeniería, de acuerdo con el trabajo de Bin Abdul *et al* [49]. Para ello, los autores desarrollaron un instrumento de medición para el ABP y otro para medición de competencias, que operados en conjunto les permitieron alcanzar ambos objetivos, en términos de haberse convertido en un taller de aprendizaje y manual de laboratorio para la asignatura trabajada por ellos.

1.3 Fundamentos de psicometría

En 1989 Robert Glaser propone, como conclusión de diversas tendencias de investigación en educación, la necesidad de hacer evaluación de competencias, entendidas éstas para él como la puesta en práctica de lo aprendido en situaciones de la vida cotidiana. A partir de este momento, se profundiza en el concepto de evaluación educativa y su integración e interacción con todo el contexto educativo y se involucran

conceptos como los de evaluación de competencias, evaluación alternativa, evaluación con portafolios, evaluación auténtica, evaluación de ejecuciones, todos relacionados con aspectos cualitativos de la evaluación.²

El propósito de cualquier teoría de la medición es describir la forma en la cual pueden hacerse inferencias, a partir de las respuestas de una persona a unas preguntas, de características no observables de los examinados, o rasgos medidos por un test. En términos generales, la psicometría [50] (que se puede definir como la teoría o ciencia de la medición social) ha abordado el problema de la medición desde dos perspectivas teóricas: la *Teoría clásica de los Test* (TCT) y la *Teoría de Respuesta al Ítem* (IRT).

La TCT es una forma especial de la teoría de la generalizabilidad, en la cual las preguntas de una prueba no se seleccionan de un universo sino que se construyen para ajustarse a él. Uno de los problemas centrales que aborda la TCT se refiere a la estimación del puntaje en el universo de preguntas. Se trata de establecer el puntaje de una persona como si hubiera respondido al universo total de preguntas. Como este universo es infinito, es necesario hacer una estimación de ese puntaje, el cual tendrá cierta cantidad de error.

La TRI [51] surge como consecuencia de los problemas que no resolvió la TCT, entre los que se encuentran el diseño de test, la identificación de preguntas sesgadas o con el denominado Funcionamiento Diferencial y la *comparabilidad (equating)* entre los puntajes de pruebas. Esta teoría tiene dos postulados:

- a) la ejecución de una persona en una prueba puede predecirse, explicarse por un conjunto de factores llamados habilidades, y
- b) la relación entre la ejecución del examinado y las habilidades que la soportan puede describirse por una función monótonicamente creciente llamada función característica del ítem o curva característica del ítem (ICC). Esto último implica que mientras sea mayor la

² http://www.icfes.gov.co/index.php?option=com_docman&task

habilidad de una persona, es mayor la probabilidad de responder correctamente una pregunta.

Desde esta perspectiva se afirma que la diferencia principal entre las dos propuestas, es que la TRI no considera que las formas paralelas sean la justificación de sus resultados (formas que se obtienen aleatoriamente de un universo de preguntas). Pueden existir varios modelos que se diferencian ya sea por la forma matemática de la curva característica del ítem o por el número de parámetros que considera. Todos los modelos tienen por lo menos un parámetro que describe al ítem y por lo menos uno que describe a la persona.

2. Antecedentes

En los apartados desarrollados a continuación se reseñan los intentos más relevantes desarrollados dentro y fuera del país para reflexionar, reformular y reestructurar el currículo y las metodologías de enseñanza-aprendizaje para la educación en procesos de manufactura.

2.1 Antecedentes internacionales

La gran mayoría de los estudios desarrollados en este ámbito corresponden a iniciativas llevadas a cabo fuera de Colombia desde hace más de 20 años. Se recogen algunas de dichas experiencias, en particular de lugares como Estados Unidos, Canadá y Asia Oriental, de acuerdo con el aspecto pedagógico que abarcan.

2.1.1 Investigación sobre el entorno de la educación para ingenieros de manufactura

La industria de fabricación está pasando por un proceso de cambios que se han acelerado en los últimos años. En medio de un ambiente de aguda competencia a nivel global, los fabricantes seguirán gestionando la manufactura de sus productos donde vean las condiciones más favorables en términos de costos, tiempo y calidad. Actualmente, las fluctuaciones y dinámicas en el mercado implican, con más fuerza, diseños novedosos y diferentes, así como la disminución en los tamaños de los lotes de producción, lo que conlleva a su vez la necesidad de diseñar y fabricar con mínimos retrasos, de acuerdo con Rolstadås [52]. Todo lo anterior, con consecuencias evidentes en términos de los requerimientos de formación de los ingenieros que gestionarán los diferentes sistemas de manufactura.

Rolstadås y colaboradores -[52], [1], [53]- indican en sus estudios sobre educación global que el dominio de la manufactura es de orientación práctica. Las nuevas soluciones y

mejoras se encuentran a menudo mediante la experimentación en la práctica. En eso difiere de otras áreas, donde en general la teoría y el *know-how* son las fuerzas dominantes y, a menudo, son fuente de innovaciones. Entonces, para formar ingenieros de fabricación, es esencial que este conocimiento práctico se vea integrado en el currículo y esto, al parecer, no sucede actualmente, pues de acuerdo con lo encontrado por Rolstadås [52], los programas profesionales existentes en Manufactura tienden a poner mayor énfasis en la teoría. De lo anterior se infiere la necesidad de evaluar, y en últimas, rediseñar, las estrategias didácticas para formar ingenieros en las áreas relacionadas con la industria de manufactura en general.

Como una consecuencia natural de los cambios que se han generado en las tendencias de la industria de producción, a nivel global se ha observado la necesidad, por parte no solamente de la academia, sino de los líderes en la industria y de los entes gubernamentales de los países, de reformular los atributos profesionales y personales esperados por parte de los futuros ingenieros; esta afirmación se concluye de los resultados publicados en distintas partes del mundo, varios de los cuales se presentan en esta sección.

Choi [2] destaca el rol fundamental que tiene la educación de los futuros ingenieros de manufactura, no solamente para mantener las fortalezas en el contexto de la fabricación dentro de su estado actual, sino para permitir la adquisición de nuevas capacidades y habilidades de frente a desafíos y tecnologías emergentes. Este proceso implica, de acuerdo con lo discernido por Crawley *et al.* [54], analizar permanentemente las mejoras introducidas en el ámbito de la educación en ingeniería.

G. Bengu y W. Swart [3] mencionaban en su momento que la educación en manufactura no estaba acorde con los avances recientes de la industria, y que para mejorarla, era necesario cambiar no solamente el enfoque de enseñanza – aprendizaje, sino incorporar nuevas herramientas y tecnologías que promuevan el aprendizaje efectivo y que faciliten el mejoramiento continuo. Para los países en desarrollo, es aún más cierta esta observación, teniendo en cuenta que estas naciones deben superar la brecha simultáneamente en industria y en educación.

Una reflexión de notable interés la aporta S. Fenster [55], quien en su artículo de opinión frente a la pregunta de por qué las instituciones de educación superior no están formando la fuerza de trabajo acorde a las necesidades contemporáneas, indica que, al menos en parte, la culpa es de las escuelas universitarias de ingeniería que no están preparando a los jóvenes para las oportunidades de desempeño profesional que estarán abiertas para ellos. El autor señala que las escuelas de ingeniería siguen preparando a los graduados sin un adecuado reconocimiento de las oportunidades que existen ni de las posibles opciones profesionales que sus egresados seguirán. S. Fenster [55] reseña también algunas de las habilidades en las que falta enfatizar en la formación de ingenieros, con base en un estudio adelantado por la *Society of Manufacturing Engineers* (SME).

W. ElMaraghy y H. ElMaraghy [56] señalan que la educación en manufactura está viviendo el mayor cambio real en las últimas décadas, puesto que las instituciones se esfuerzan por preparar mejor a los graduados de ingeniería para actuar en la dinámica economía industrial a nivel global. Esto se lleva a cabo a menudo con grandes limitaciones en los presupuestos, requiriéndose entonces enfoques nuevos e innovadores a nivel educativo, en los cuales tanto los recursos como los requisitos de la industria se combinan para generar programas que satisfagan las necesidades formativas de los estudiantes. Así mismo, autores como K. Stephan y V. Sriraman [57], afirman que cualquier sistema de educación que ignore la realidad en la que se encuentran las compañías multinacionales, cadenas de suministro globales y los mercados internacionales se debe percibir como “anticuada y provincial”. Cabe resaltar, dentro de la misma línea, el resultado reseñado por I. Hunt *et al.* [4] en un estudio dentro del marco de la iniciativa IMS (*Intelligent Manufacturing Systems*), que indica la necesidad de un cambio radical en el sistema educativo para los profesionales de la fabricación. Así mismo, identificó la necesidad de un plan de estudios de aplicación global y bien definido en la industria manufacturera que pudiera mejorar significativamente las capacidades de los ingenieros.

J. A. de Simone [58] indicaba en su momento que, en síntesis, las estrategias curriculares y metodológicas en la educación técnico-profesional deberían, entre otros aspectos, considerar (o elaborar) currículos flexibles para adaptarse rápidamente a los cambios del sistema productivo, así como ofrecer planteamientos e interrogantes determinados mediante la investigación participativa sobre las necesidades del sistema

productivo en relación con la tecnología, los tipos de productos, los mercados y otros factores. H. Vessuri [59] concluye que una serie de cambios deben ser incluidos en una estrategia de modernización y desarrollo dinámico del sector educativo para asegurar su eficacia, entre ellos, el replanteo de las relaciones entre pregrado y posgrado, acompañando la transformación institucional en términos de una gestión universitaria más moderna, el establecimiento de carreras cortas, medianas y largas, así como la redefinición de las relaciones entre carreras, profesiones, investigación y educación continua. Ambos, de Simone [58] y Vessuri [59], reconocen la importancia de incorporar estrategias de aprendizaje que respondan a la necesidad de las empresas manufactureras de contar con el recurso humano idóneo, con conocimiento de elementos prácticos que contribuyan al mejoramiento y optimización de los procesos de fabricación.

Es pertinente aquí retomar, como ilustración de la problemática enunciada, las palabras de Peters [60]: “La educación en diseño y manufactura ha sido siempre un desafío, la irrupción de la electrónica y las técnicas informáticas en los sistemas de manufactura no aliviaron el problema. La industria manufacturera en general no se limita a las prácticas tradicionales y está dispuesta permanentemente a utilizar las más recientes adquisiciones de la ciencia y la tecnología, siempre y cuando demuestren ser fiables y rentables”.

2.1.2 Investigación en aspectos de diseño curricular y didáctico orientados a la formación de ingenieros de manufactura.

Entre las iniciativas que han buscado identificar las tendencias pedagógicas adecuadas para el desarrollo de competencias en los futuros ingenieros está el trabajo pionero desarrollado por R. Felder y L. Silverman [61], en el cual se explora la respuesta a tres preguntas: ¿Qué aspectos del estilo de aprendizaje son particularmente relevantes (o significativos) en la educación en ingeniería? ¿Cuáles estilos de aprendizaje prefieren los estudiantes y de ellos cuáles se ven favorecidos por los estilos de enseñanza de la mayoría de docentes? ¿Qué se puede hacer para llegar a los estudiantes cuyos estilos de aprendizaje no son trabajados por los métodos habituales de enseñanza de la ingeniería? De acuerdo con las conclusiones obtenidas por los autores, se afirma que los estilos de aprendizaje de la mayoría de los estudiantes de ingeniería y los estilos de

enseñanza correspondientes a la mayoría de sus profesores son incompatibles en varias dimensiones.

Los autores mencionados [61] afirman que la mayoría de los jóvenes contemporáneos son visuales, sensoriales, inductivos y activos; además, algunos de los estudiantes más creativos abordan el aprendizaje de manera global, mientras que la educación en ingeniería es primordialmente de carácter auditivo, abstracto (en sentido intuitivo), deductivo, pasivo, y secuencial. Estas diferencias conducen a los estudiantes a pobres desempeños, así como ocasionan la frustración de sus profesores, y una pérdida para la sociedad de muchos ingenieros potencialmente excelentes. De otra parte, se menciona que a pesar de que hay una amplia diversidad de estilos con los cuales los alumnos aprenden, incluir un número relativamente pequeño de las técnicas en una clase tradicional debería ser suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría (o incluso la totalidad) de los estudiantes en cualquier clase; para ello, los autores sugieren un conjunto de técnicas específicas a ser aplicadas.

En el trabajo de J. Mills y D. Treagust [62] se discute la aplicación de dos estilos de aprendizaje predominantes en la educación en Ingeniería (aprendizaje basado en problemas vs. basado en proyectos), examinando algunas diferencias entre ellos y algunos ejemplos de uso. Los autores mencionan que, a pesar de los desafíos que impone el mundo actual, el modelo predominante de la enseñanza de la ingeniería sigue siendo similar al practicado en la década de 1950 ("tiza y charla"), con grupos de clase de tamaño considerable, sobre todo en las disciplinas de los primeros años de estudio. Afirman estos autores que los avances en los enfoques de aprendizaje centrados en el estudiante (como el basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos) han tenido relativamente poco impacto en la educación tradicional en ingeniería. Afirman también que se ha demostrado que dentro de la academia y en el ejercicio de la ingeniería están más arraigados los conceptos de proyectos que los conceptos de aprendizaje basado en problemas. Parece, pues, probable que el aprendizaje basado en proyectos sea más fácilmente adoptable por los programas universitarios de ingeniería que el aprendizaje basado en problemas.

Particularmente en relación con el diseño curricular basado en competencias y aplicado a la enseñanza de la ingeniería, es importante el reporte de R. Felder y R. Brent [63], en el

que los autores proponen un método para salvar la brecha existente al tratar de dotar a los estudiantes de ingeniería con las habilidades y actitudes enumeradas en los *Engineering Criteria 2000* formulados por el ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*). Para ello se propone, por ejemplo, la descripción general del proceso de acreditación y se aclaran el conjunto de términos asociados a este proceso (objetivos, resultados, indicadores de resultados, etc.), también proporciona orientación sobre la formulación de objetivos de aprendizaje del programa y métodos de evaluación, lo cual incluye identificar y describir las técnicas de instrucción que deberían preparar efectivamente a los estudiantes para lograr las cualidades enunciadas por ABET al momento de graduarse. El fin último es proveer una estrategia que permita integrar las actividades propias de un curso al momento de diseñar un programa educativo que satisfaga los requerimientos de los criterios ABET.

En cuanto a la didáctica de los procesos de manufactura, R. Todd *et al.* [64] se preguntan si la urgencia (entendida en el sentido de la necesidad) que han tenido las empresas industriales de superar los enfoques tradicionales inerciales en la organización y diseño de procesos de manufactura se ha propagado a los sistemas de educación en que se forman los ingenieros que actúan en estas industrias. En el caso que estos autores estudiaron, observan que, en los criterios incluidos dentro de los estándares ABET se ofrece una mayor flexibilidad a los programas tradicionales y se fomenta la innovación en el currículo del programa, concluyendo que esta flexibilidad y apertura a la innovación parecen proporcionar oportunidades para expandir los contenidos en Manufactura de muchos programas de ingeniería. En este mismo sentido se manifiesta D. Waldorf [65], al mencionar que la Ingeniería de Manufactura, como disciplina, debe evolucionar rápidamente para satisfacer las necesidades de la industria y, por tanto, los educadores en esta área deben hacer que evolucionen los sistemas y el currículo utilizados para preparar a las siguientes generaciones de ingenieros.

Una discusión interesante en torno a la reforma curricular en manufactura la proporcionan Jiang y Qi [66]; quienes describen algunos mecanismos para elevar la calidad de la enseñanza práctica, en términos de refinar los contenidos asociados al diseño y fabricación de maquinaria. Su discusión parte, entre otros hechos, de que han observado cómo los estudiantes no son capaces de desarrollar ciertas tareas

correspondientes a diseño y manufactura una vez se encuentran desempeñándose en la industria. Estos autores indican como una posible explicación a este fenómeno la disminución en el tiempo de enseñanza, tanto total como especializada. En este panorama proponen como modelo de enseñanza el del profesor como guía y el estudiante como actor auto-determinante en el diseño de actividades prácticas para desarrollar en ellos las capacidades de expresión, construcción de modelos, analizar, resolver y discutir problemas de ingeniería, innovación de diseño de sistemas de máquinas y elementos, y la posibilidad de cooperar mediante el trabajo en equipo. Para ello estos investigadores han integrado actividades tales como simulación y programación de procesos de control numérico, manufactura y ensamblaje.

Como referente importante, resulta de interés ver que en Singapur, que es un país con una economía altamente influenciada por la manufactura, se han adelantado varios estudios a nivel de diseño curricular efectuados bajo el esquema de un estudio de mercado sobre las necesidades de la industria. Específicamente, S.G. Lee y W.N.P. Hung [67] concluyen que un internado de 24 semanas de prácticas formales en empresas, dentro del currículo en la Universidad de Nanyang, ha permitido que los estudiantes de Ingeniería de Manufactura puedan combinar el conocimiento del aula con la práctica real de la industria.

Así mismo, el enfoque CDIO, como se presentó en el apartado 1.2.3, fue implementado en el entorno por F. Lino y T. Duarte [68], para reformular un curso de Maestría en cerámicas impartido en la Universidad de Porto, si bien el modelo principal utilizado fue la denominada *reformulación de Bologna*. Los autores destacan los efectos favorables que tienen el empleo de la evaluación continua y la búsqueda de información permanente por parte de los estudiantes. También ha sido implementado [69] en el ámbito del curso denominado “manufactura mecánica” desarrollado en varias universidades de China, y que cubre aspectos de ciencia de materiales, ingeniería mecánica y eléctrica, y teoría de control. Los autores describen, como ejemplo, la aplicación específica en un proyecto de maquinado para un eje con secciones de distintos diámetros. Concluyen que la práctica de enseñanza basada en CDIO promueve en los estudiantes mejores habilidades comprensivas y conduce a resultados muy positivos en términos de mejora y optimización del aprendizaje.

2.1.3 Investigación en didácticas de aprendizaje basado en proyectos

Un caso de aplicación de diseño curricular específico para procesos de mecanizado es el trabajo de M. Ssemakula [70], el cual describe un curso basado en prácticas de laboratorio bajo el enfoque *hands-on*. El curso proporciona una visión general para la comprensión del comportamiento en el mecanizado de los materiales de uso más frecuente, las técnicas básicas utilizadas en el procesamiento, la teoría científica que subyace en estos procesos, así como los criterios para la selección de los procesos adecuados. También incorpora una innovadora práctica de laboratorio, que consiste en proyectos de equipo que ayudan a los estudiantes a adquirir experiencia con determinados procesos de fabricación. Los proyectos comienzan con componentes simples que se pueden hacer en una sola máquina herramienta, y van progresando hacia la fabricación y montaje de un modelo de motor completamente funcional. El documento también discute la aplicación de las técnicas de aprendizaje colaborativo, utilizando herramientas de Internet para promover la interacción entre los miembros del equipo. En su discusión, el autor observa que hay varios estudiantes tentados a no participar completamente de las actividades del grupo, indicando que un elemento para evitar esto es incluir foros de discusión en línea, así como promover actividades desafiantes de aprendizaje colaborativo.

A nivel de sistemas completos, la Manufactura Integrada por Computador (CIM, por sus siglas en inglés), como tendencia reciente en el contexto industrial, ha sido objeto de investigación a nivel de currículo para ser integrada en los cursos tradicionales. Un ejemplo lo constituye el estudio realizado por Chowdhury y Mazid [71], en el cual se detallan los aspectos de diseño e implementación de un curso de CIM en la IUT (Universidad Islámica de Tecnología, siglas en inglés), entre los que destacan los equipos empleados, los proyectos de curso llevados a cabo por los estudiantes y el desarrollo de cursos cortos que incorporan el tema. Los autores destacan que ha sido un desafío llevar a buen término la enseñanza de CIM, pero que de alguna manera se han visto resultados interesantes en las habilidades que adquieren los estudiantes, alcanzando parcialmente el objetivo planteado de proporcionar a la industria

profesionales dotados con las competencias interdisciplinarias propias del ámbito de los sistemas CIM.

De otra parte, se observa la necesidad de desarrollar competencias específicas en maquinado, tales como el manejo adecuado de tecnologías de control numérico computarizado (CNC), en este sentido es destacable lo realizado por Fisher y Hofmann [72], quienes indican que muchas veces los estudiantes de ingeniería no están familiarizados con las máquinas que poseen este tipo de control, de manera que una vez están ejerciendo se les dificulta producir partes complejas en ellas. Con el objetivo de acercar al estudiante a dicha tecnología, los autores concibieron un curso de diseño y maquinado de moldes para inyección de plásticos a través de CNC. En este curso, los estudiantes llevaron a cabo proyectos de diseño e implementación de torneado y fresado mediante programación, así como el desarrollo de prototipos rápidos. En el trabajo se describe la metodología de evaluación para medir la efectividad didáctica de estos proyectos y los resultados indican que los estudiantes reconocieron fuertemente la importancia de incorporar este tipo de contenidos y habilidades en su formación.

Otro caso interesante de aplicación específica de aprendizaje activo y cooperativo en el ámbito de la manufactura se encuentra en el trabajo de N. Fang [73], en el cual se describe el resultado de implementar un enfoque de aprendizaje activo y cooperativo basado en proyectos (PB-ACL) que se ha desarrollado para hacer frente simultáneamente a cuatro brechas de competencias identificadas y que deben ser cerradas de cara a las necesidades de la industria de fabricación por los programas educativos actuales. Los vacíos de competencias identificados son: (a) conocimientos de procesos de fabricación específicos, (b) conocimiento general del negocio de manufactura, (c) comunicación oral y escrita, y (d) trabajo en equipo. Los autores desarrollaron un cuestionario tipo Likert [74] y otro abierto para evaluar los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

Con un enfoque similar, Z. Zhou y A. Donaldson [75], realizaron una investigación sobre la enseñanza de un curso de procesos de fabricación bajo el enfoque de aprendizaje basado en proyectos (PBL) a nivel de pregrado, con el fin de concentrarse en la reducción de la brecha entre lo que se ha enseñado en el aula y lo que se practica en la planta de fabricación. En lugar del enfoque tradicional (conferencia, lectura, tarea,

examen), a cada estudiante se le pide que complete un proyecto durante el semestre en las áreas de procesos y materiales de fabricación. Para medir la efectividad de dicho enfoque, los autores condujeron encuestas orientadas a medir la incidencia futura de la metodología aplicada en el ejercicio profesional.

También cabe destacar la investigación conducida por Pereira *et al.* [76], quienes adelantaron la implementación de enseñanza basada en proyectos en el desarrollo de una línea de manufactura para laboratorio en el marco de un curso de simulación y optimización de procesos; para ello describen el arreglo experimental, la metodología de evaluación y los resultados obtenidos por los estudiantes durante el curso, especialmente en términos de lo que se gana en la simulación de líneas de producción y en la aplicación de conceptos específicos de optimización. Los autores indican las ventajas de este tipo de enseñanza, que involucra el trabajo con experiencias realistas para los estudiantes aumentando su motivación y desarrollando en ellos habilidades prácticas; no obstante indican que emplear estudios de caso basados en problemas reales de la industria consume tiempo y requiere un conocimiento muy profundo del contexto.

2.1.4 Integración de las tecnologías de información y comunicaciones.

En el área emergente de aplicación de las TIC (tecnologías de la información) a la educación en todos los ámbitos del área de manufactura, cabe señalar lo estudiado por Babulak [77], quien hace una reseña del desarrollo de nuevas tecnologías basadas en Internet, aplicadas a entornos y máquinas de fabricación por CNC, y quien igualmente señala las tendencias futuras en este sentido (*e-manufacturing*), todas orientadas hacia niveles cada vez mayores de miniaturización, velocidad de procesamiento de datos y accesibilidad. De otra parte, Kraebber y Lehman [78] llevaron a cabo un estudio mediante encuestas para determinar todas las herramientas denominadas por los autores como tecnologías educativas, que están siendo empleadas en el campo de la formación en ingeniería y tecnología de manufactura. Las más establecidas corresponden a elementos tradicionales como los procesadores de texto, correo electrónico, diapositivas y gráficas de presentación. No obstante, reportan igualmente un uso cada vez más generalizado de tecnologías emergentes (software CAD, de planeación de operaciones, ERP y MRP,

entre otros) y uso colaborativo de internet. También se indica que los educadores esperan mayores niveles de incentivo para aplicar con más intensidad este tipo de herramientas. Así mismo, en Malasia se ha explorado el efecto de potenciar la integración entre la industria y la educación en manufactura a través de la implementación de centros de investigación y desarrollo virtual (*Virtual I&D*) [79]; de igual forma, en la universidad de Auckland, Nueva Zelanda [80] se ha indagado el fruto pedagógico que ofrece el diseño de una compañía virtual interactiva en la enseñanza de temas de manufactura avanzados (tales como justo a tiempo, *lean manufacturing*, teorías de colas y programación lineal, entre otros), cuyos resultados se reportaron como exitosos en el sentido de que incrementaron el nivel de interés de los estudiantes hacia dichos temas.

En este ámbito, se destaca el trabajo de M. Jou *et al.* -[81], [82]- que se desarrolló bajo el objetivo de generar una plataforma para enseñar manufactura asistida por computador y planeación de procesos de manufactura, esta plataforma fue basada en sistemas *e-learning* con el fin de mejorar la calidad y disponibilidad de la educación tecnológica. En opinión del autor principal, los costosos recursos invertidos en tecnologías educativas se pueden hacer circular a través de la red con el fin de compartir recursos y ampliar la cobertura. Dicho sistema se implementó a nivel de la formación *high-school* y en pregrado universitario. El autor menciona que en comparación con los métodos tradicionales, este tipo de enseñanza tiene varias ventajas, entre ellas, que las actividades de aprendizaje no requieren de un momento y lugar específicos. Un desarrollo similar fue presentado por Borza *et al* [83], quienes describen varias herramientas como tutoriales y multimedia, que implican tecnologías de información y comunicación, además del trasfondo pedagógico tradicional (objetivos, conocimiento previo requerido por parte del estudiante, habilidades específicas a ser adquiridas al finalizar). Los autores describen las etapas de diseño e implementación de un curso *on-line* aplicado a la selección de herramientas de corte y en sus conclusiones indican que la estructuración de una arquitectura de *e-learning* puede responder de manera muy efectiva a las necesidades dinámicas de los estudiantes.

Es interesante en este contexto reseñar la herramienta de *e-learning* para embutido profundo diseñada por Ramirez *et al.* [84], hecha específicamente para educación a distancia, que si bien ha sido implementada únicamente en cursos de maestría (por el

nivel de conocimiento requerido) se constituye en un indicativo metodológico que muestra los pasos a seguir, curricularmente y didácticamente hablando, para lograr el alcance de objetivos específicos de aprendizaje en manufactura. En particular es relevante la manera en que los autores integran diversas bases de datos con el fin de que el estudiante pueda llevar a cabo una selección óptima de parámetros de proceso.

En la misma línea de trabajo, Fang, Stewardson y Lubke [85] indican el resultado de aplicar siete simulaciones y aplicaciones de computador en experimentos reales, específicamente de procesos de maquinado, dentro del marco de un nuevo modelo de instrucciones para mejorar el aprendizaje a nivel cognitivo e incrementar los niveles de motivación en los estudiantes. Se describen los objetivos de aprendizaje que se pretenden alcanzar, así como el esquema del modelo, que parte de las lecturas de clase hacia el desarrollo de proyectos de curso a través de simulaciones en computador y laboratorios de manufactura con experimentos del mundo real. Se midió el impacto de este modelo mediante encuestas que en general, arrojaron resultados positivos en cuanto a la calidad de los programas desarrollados y su facilidad de uso. Finalmente el aprendizaje alcanzado se verificó a través de cuestionarios de selección múltiple.

Otra experiencia, reportada por Huang [86], es la integración de plataformas especiales en el diseño de laboratorios de manufactura automatizada con fines didácticos. Este tipo de plataformas está constituido por elementos tales como sistemas de manufactura flexibles, así como máquinas de control automático y numérico mediante tarjeta de memoria. Se describe el rol jugado por la incorporación de este tipo de tecnologías en el diseño curricular de un curso de manufactura para estudiantes de mecatrónica. Un diseño centrado en la incorporación de este tipo de tecnología y enfocado en desarrollar tareas de aprendizaje basadas en proyectos, mostró que, a pesar de las dificultades presentadas, esta innovación muestra un alto grado de potencial para la formación.

En relación con el diseño de recursos didácticos TIC aplicados a la enseñanza de procesos de mecanizado, es muy interesante observar el desarrollo realizado en la *Ecole Polytechnique* de Montreal donde M. Balazinski y A. Przybylo adelantaron el diseño de una serie de 8 animaciones interactivas para apoyar la comprensión de varios conceptos complejos de procesos de maquinado [87]. Los autores encontraron que la introducción

sucesiva de las animaciones interactivas en sus conferencias ha reducido considerablemente el tiempo necesario para explicar conceptos complejos de algunos procesos de fabricación. Así mismo, reportan que en una encuesta realizada a 27 de los estudiantes que han aprendido con las animaciones, estos afirman que son muy útiles en la comprensión de los conceptos involucrados

2.2 Antecedentes regionales y locales

En Estados Unidos [88] y en Asia Oriental [81] ya se han dado pasos significativos hacia nuevas actividades de formación, como se reseñó anteriormente. Son, en cambio, relativamente pocos (en comparación con los estudios mundiales reportados) los esfuerzos divulgados en los países de América Latina, de los cuales se incluyen algunos ejemplos -[89], [90], [91]- que están, sin embargo, más orientados a competencias generales que a las necesidades específicas de la formación en manufactura, quizá con la excepción notable de lo desarrollado por Farías [92] y Pérez et al [93]. Otros pocos estudios reconocen los logros alcanzados en regiones desarrolladas y sus implicaciones para Latinoamérica -[94], [95]-

En relación con iniciativas a nivel local (de Colombia), a la fecha se ha encontrado un número relativamente pequeño de referencias acerca del diseño de diversos tipos de software para ser implementados en entornos de enseñanza – aprendizaje relativos a Procesos de Manufactura. A continuación se indican las iniciativas encontradas.

Cabe destacar el trabajo adelantado en 1998 por D.A Ovalle y J.J. Padilla [96], en el cual se propone una metodología para el diseño y desarrollo de software educativo utilizando recursos *hipermediales*, enriquecidos a través del uso de arquitecturas del tipo STI (Sistemas Tutoriales Inteligentes), que involucran la noción de *micromundos*. Además, los autores muestran el resultado, en términos de la arquitectura de software, de aplicar dicha metodología en el *PROYECTO STH - PM (Sistema Tutorial Hipermedia - Procesos de Manufactura)*, concebido como el diseño y desarrollo de un prototipo de software educativo hipermedial, que buscaba apoyar los procesos de enseñanza – aprendizaje del curso de Procesos de Manufactura del Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Dicho diseño involucraba el desarrollo de micromundos correspondientes a las siguientes temáticas concretas: *Metales*,

Fundición, Maquinado y Autómatas, así como micromundos de Introducción y Apoyo. Así mismo, se relaciona el diseño de un módulo de retroalimentación y de un módulo de evaluación sumativa, que implica la generación de resultados del desempeño medido en el estudiante.

Así mismo, se encuentra el resultado de M. Hidalgo, J. Cardona y F. Rojas [97]. En este artículo se presenta un estudio de usabilidad de una herramienta didáctica (específicamente un prototipo de torno CNC virtual que viene siendo desarrollado por los autores) en una primera etapa prototípica del proyecto, realizado con un grupo de estudiantes de ingeniería. Los usuarios que se eligieron para la prueba fueron estudiantes de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO), de edades entre 19 y 25 años, con experiencia en el uso de computadores, el 85 % de los estudiantes estaban familiarizados en el uso de herramientas CAD/CAM. El 55% de los usuarios no tenían experiencia previa con entornos virtuales de simulación. El instrumento de evaluación se organiza alrededor de tres tipos de preguntas: un grupo que busca identificar la filiación de los usuarios, preguntas sobre el simulador del torno CNC y preguntas que pretenden englobar la experiencia de la visita, indagando por la utilidad del entorno visitado y su percepción general.

Un proyecto similar ha sido emprendido por A. Ávila et al [98], quienes presentan un curso interactivo con herramientas de tipo multimedia para el aprendizaje de conceptos y procedimientos de CAM en un centro de mecanizado Leadwell perteneciente a la Universidad de Pamplona. Los autores plantean esta iniciativa en el marco de la integración de las TIC para asignaturas como Sistemas Avanzados de Manufactura.

Como se mencionó en un principio, se encuentran como antecedentes particulares varias tesis de pregrado - [7], [8]- que apuntaban a la realización y puesta en marcha de ayudas didácticas para temas específicos del pregrado en Ingeniería Mecánica en la Universidad Nacional de Colombia.

Como los anteriores, es posible observar incluso algunos otros casos de simuladores o herramientas virtuales como recursos de apoyo, como en el caso de A.Guzmán [99], enfocado en la planeación de procesos de manufactura a partir de la geometría de la

pieza, pero a la fecha no se encuentra a nivel local una investigación enfocada en todos los aspectos del diseño curricular y no solamente en la didáctica de los recursos, que si bien es un elemento importante, tiene solamente una parte de incidencia en el resultado final de la formación del futuro ingeniero en procesos de mecanizado.

3. Marco Conceptual: Propuesta de reestructuración en el diseño curricular del curso

En el presente apartado, se discuten los elementos concernientes al diseño curricular que se propone para la asignatura Procesos de Manufactura II. El fundamento para esta propuesta se encuentra en la necesidad de reenfocar la formación ofrecida predominantemente por contenidos, a una por competencias, al menos para el ámbito de desarrollo de la presente investigación, lo cual implica que se debe recabar primero en las necesidades profesionales mediadas por el contexto de desempeño de los futuros ingenieros. Posteriormente, se adopta un enfoque estructurado para definir el conjunto de competencias pertinentes. Con base en esta estructura, se formulan los objetivos del curso (metas de aprendizaje), que a su vez determinan los logros que se espera el estudiante alcance al finalizar el semestre correspondiente de estudio para la materia en mención. Por último, en función del conjunto de competencias y objetivos visto como el sentido, el propósito de la formación y enseñanza, se organizan los contenidos apropiados para el alcance de los logros. Esto, en el entorno del currículo y de la materia, significa que se tomarán algunos de los contenidos actuales, otros serán objeto de reestructuración y otros se añadirán, siempre teniendo en la vista lo que el estudiante debe estar en capacidad de realizar y actuar una vez termine su estudio.

Esta metodología de diseño curricular (de competencias a objetivos y de éstos a contenidos) está en el núcleo de las nuevas tendencias pedagógicas con raíces en la psicología cognitiva, entre otros, que ponen en el centro al estudiante y a sus desempeños en la realidad antes que la simple transmisión de conocimiento. En todo el proceso se debe cuidar que haya coherencia, unidad y criterio para garantizar que, en efecto, el aprendizaje adquiere sentido para el estudiante, y que además el docente pueda estar en capacidad de medir adecuadamente los resultados que aquel obtuvo.

3.1 Contexto de las necesidades específicas de formación en competencias de maquinado.

Como punto de partida para la exploración, se hace necesario indagar por los aspectos y cualidades de formación que el entorno laboral y profesional demanda del ingeniero de fabricación en maquinado. Para ello, se revisaron algunos estudios hechos al respecto, en especial en Estados Unidos, dado que no se encontraron estudios con un nivel de detalle y especificidad similares en Colombia, con excepción de algunos estudios hechos en el SENA para operarios y técnicos en metalmeccánica.

Los autores de la iniciativa CDIO [39] mencionan un estudio en el cual se determina un conjunto de las “deficiencias más evidentes” de los ingenieros graduados respecto a las habilidades importantes que de ellos se esperan o se requieren. Estas deficiencias se describen en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Deficiencias de los ingenieros graduados respecto a las habilidades esperadas de ellos. Adaptada de [39]

Habilidades más importantes respecto a la empleabilidad	Deficiencias más importantes en habilidades respecto a la educación recibida.
Trabajar efectivamente como un equipo	Enfoque de negocios
Analizar información	Habilidades administrativas
Comunicarse efectivamente	Métodos para administración de proyectos
Reunir información	Métodos para el aseguramiento de la calidad
Auto-aprendizaje	Habilidad para comunicarse
	Conocimiento de los principios del mercadeo
	Sentido de responsabilidad ética y profesional

En un estudio muy detallado llevado a cabo por Payne [100] con industriales y empresarios del ramo, se encontró que la capacidad de interpretar planos y

especificaciones de ingeniería, el conocimiento sistémico de todos los aspectos concernientes al aseguramiento de la calidad y el control de la calidad del proceso, así como los principios de CAD / CAM, fueron las tres más altos resultados clasificados entre las habilidades tecnológicas requeridas en la industria actual. Los encuestados indicaron igualmente que las habilidades básicas de computación, la utilización de la tecnología, así, como la capacidad de comunicarse y trabajar con otros, son fundamentales dentro de la categoría de las habilidades no tecnológicas.

De otra parte, resultados con un alto grado de similitud son reseñados por Stier [101]. La capacidad de leer e interpretar los documentos de fabricación, tales como planos, dibujos técnicos y diagramas, elaborar e interpretar planes de producción, planes de herramientas, planes de calidad, y planes de seguridad fueron calificados con el más alto grado de la habilidad técnica deseada por los encuestados. La calificación global de esta habilidad era de 4.5 en una escala de cinco puntos. Las otras habilidades se clasificaron principalmente entre puntajes promedio de 3 y 4 por las cuatro categorías de empresas que hacen parte del estudio. Así, el autor observó que los encuestados calificaron las habilidades básicas personales con cantidades ligeramente superiores a las habilidades técnicas, al comparar las puntuaciones medias obtenidas al efectuar la respectiva encuesta.

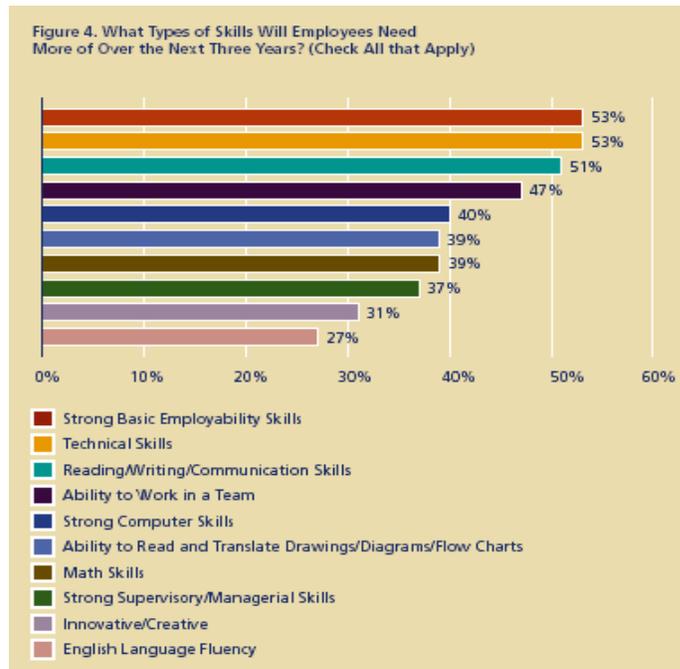
De manera análoga a estas investigaciones, diversas empresas dedicadas a la fabricación de componentes han hecho estudios particulares, como es el caso de Cummins³, quien -a través del trabajo desarrollado por Joe Loughrey- destaca que entre las posibles brechas que se encuentran en los ingenieros egresados e incluso con dos años de experiencia como asociados a las empresas se determinaron, entre otras, la conexión entre los aspectos teóricos y los prácticos, las habilidades de diseño y aplicación de herramientas y elementos de sujeción, la estimación económica de los procesos de manufactura, haber tenido experiencias del mundo real, así como otras habilidades asociadas de trabajo en equipo, comunicación y administración de proyectos. De hecho, su estudio menciona como resultado asociado la investigación⁴ desarrollada

³ http://www.meteconline.org/resources/Loughrey_S0700433.ppt

⁴ http://www.themanufacturinginstitute.org/~media/738F5D310119448DBB03DF30045084EF/2005_Skills_Gap_Report.pdf

en el 2005 y nuevamente en 2011 (*Skills gap report*) por la *National Association of Manufacturers* de Estados Unidos, en la que se preguntaba cuáles eran las habilidades que los empleadores requerirían con mayor frecuencia dentro de los siguientes tres años; la figura 3-1 muestra los resultados.

Figura 3-1: Habilidades en manufactura con mayor grado de requerimiento entre los empleadores de Estados Unidos⁴.



De otra parte, mirando el contexto de desempeño profesional local, si bien no es fácil hallar perfiles detallados respecto al profesional en manufactura –o específicamente en maquinado-, es posible encontrar en algunos sitios de ofertas laborales los siguientes requerimientos:

“Ingeniero mecánico o industrial

Empresa metalmecánica requiere para el cargo de Gerente de Producción, ingeniero mecánico o industrial con experiencia en órdenes de producción, compras, planeación, manejo de personal, inventarios y costos”⁵.

⁵ <http://www.computrabajo.com.co/bt-ofrd-fabricante-0.htm?BqdPalabras=ingeniero%20mecanico>

“Jefe de producción

Importante empresa de metalmecánica requiere ingeniero mecánico o industrial graduado con tres años de experiencia comprobable no práctica, en programar, dirigir y controlar el proceso productivo de la empresa. Es importante que la persona sepa leer, interpretar y aplicar sobre planos, manejo de herramientas, conocimiento de materiales, procesos de producción (...)⁶

Todo lo anterior nos orienta sobre el tipo de necesidades de formación que deben ser cubiertas, y de esta manera es posible formular un conjunto de competencias que una los contenidos tradicionales que se han venido dando en la asignatura con otras habilidades y desempeños profesionales requeridos.

3.2 Estructuración de competencias específicas a ser desarrolladas en el curso: enfoque socioformativo

Partiendo de la anterior información sobre tendencias y necesidades específicas, se efectuó el análisis de los contenidos predefinidos para la asignatura (es decir, aquellos contenidos que siempre se han impartido en la asignatura, al menos con la misma frecuencia desde el 2009), así como se hizo una revisión somera de las preguntas, talleres y actividades que estaban elaborados de antemano, y con base en ello se formularon competencias generales que, en consideración del proponente, el estudiante estaría en capacidad de alcanzar una vez transcurrido el curso.

Para la redacción de cada competencia se tuvo en cuenta, en general, la propuesta hecha en Tobón et al [36], quienes (como se recuerda) indican la siguiente estructura gramatical:

COMPETENCIA = Verbo de desempeño + Objeto Conceptual (saber) + Finalidad + Condición de referencia.

⁶ http://www.elemplo.com/colombia/trabajo/Jefe-de-Produccion_1880960878

Adicionalmente, en la formulación de una competencia de acuerdo con el enfoque socioformativo, se deben tener en cuenta aspectos tales como el Dominio y los Ejes Procesuales.

A continuación se muestra la implementación (definición operacional) de acuerdo a lo propuesto por los autores [36] por cada una de las nuevas competencias definidas. En primer lugar, a través de las tablas 3-2 a 3-7 se presentan las competencias específicas transversales al curso. Posteriormente, se presenta la definición de una competencia particular a ser desarrollada mediante la actividad de intervención; por último, aparte hay dos habilidades específicas de carácter técnico que resultan importantes en el contexto del curso, especialmente por ser de carácter práctico y que pueden ser trabajadas en los laboratorios, una relativa a la *Programación en CAD-CAM* y otra sobre *Selección específica de Herramientas de Corte*, que hace parte de la competencia Selección de insumos. El detalle se destaca en el Anexo A.

Tabla 3-2: Definición de Competencia Comprensión.

COMPETENCIA 1
DOMINIO DE COMPETENCIA
Comprensión – Contextualización
FORMULACIÓN DE LA COMPETENCIA
Comprende los distintos tipos de procesos de maquinado que se ejecutan en la actualidad, para aplicarlos en los contextos adecuados.

Tabla 3-3: Definición de competencia Selección de Insumos.

COMPETENCIA 2
DOMINIO DE COMPETENCIA
Aplicación – Administración
FORMULACIÓN DE LA COMPETENCIA
Selecciona los insumos apropiados (herramientas, fluidos) para llevar a cabo las operaciones de corte dentro del proceso de maquinado, con base en fundamentos técnicos.

Tabla 3-4: Definición de competencia Estimación Económica.

COMPETENCIA 3
DOMINIO DE COMPETENCIA
Aplicación – Administración
FORMULACIÓN DE LA COMPETENCIA
Elabora presupuestos y estimaciones de orden económico relativas a los procesos de maquinado, teniendo en cuenta la situación a resolver y las condiciones técnicas (de herramienta, secuencia de operaciones, mano de obra, etc.)

Tabla 3-5: Definición de competencia Planeación de Procesos.

COMPETENCIA 4
DOMINIO DE COMPETENCIA
Aplicación - Planeación – Resolución
FORMULACIÓN DE LA COMPETENCIA
Diseña la secuencia de procesos pertinente para la fabricación de una o varias piezas, considerando la disponibilidad de máquinas herramienta y las operaciones posibles.

Tabla 3-6: Definición de competencia Selección de Nuevas Tecnologías.

COMPETENCIA 5
DOMINIO DE COMPETENCIA
Aplicación – Contextualización
FORMULACIÓN DE LA COMPETENCIA
Selecciona las máquinas y condiciones de proceso idóneas para la implementación en planta de tecnologías convencionales y nuevas de mecanizado (maquinado con láser, EDM, entre otras).

Tabla 3-7: Definición de competencia Comunicación.

COMPETENCIA 6
DOMINIO DE COMPETENCIA
Comunicación
FORMULACIÓN DE LA COMPETENCIA
Comunica de manera clara y efectiva el resultado de aplicar sus conocimientos en la solución de un problema de ingeniería.

3.3 Objetivos de aprendizaje bajo el enfoque CDIO *Syllabus.*

Una vez determinadas las competencias específicas y particulares, así, como las habilidades técnicas especiales que se desean establecer como hojas de ruta para la formación, se aprovechará la estructura de diseño propuesta por el enfoque CDIO para trasladar las competencias a metas u objetivos específicos de formación en cada espacio

semanal de clase, de manera que se vea reflejada (por lo menos para el ámbito de los Procesos de Maquinado) la respuesta a la pregunta formulada por Armstrong en [39]: “¿Cuál es el conjunto completo de conocimientos, habilidades y actitudes que los estudiantes de ingeniería deben poseer al salir de la universidad, y a qué nivel de competencia (proficiency)?”

Como se observa, CDIO concibe el Syllabus con la perspectiva de desempeño real del futuro ingeniero, más que pensando solamente en las salidas inmediatas de quien toma un curso. En ese sentido, es importante precisar que, para muchos de los estudiantes de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, la asignatura Procesos de Manufactura II será la última que tomarán para aprender lo concerniente en particular a los procesos de maquinado (pues tanto previa como posteriormente ellos reciben formación sobre otros procesos de fabricación por conformado y sobre aspectos administrativos y gerenciales de la fabricación que dan por sentado que los estudiantes han adquirido los conocimientos técnicos en maquinado proporcionados por la asignatura mencionada), de manera que los conocimientos y habilidades adquiridas al finalizar el curso deberían permanecer (en lo posible) hasta el final de su proceso formativo como ingenieros. Por tanto, es pertinente para nuestros propósitos mantener la línea de pensamiento original de CDIO en la construcción de objetivos de aprendizaje específicos para la signatura - basados en el Syllabus-.

De acuerdo con los autores y recopiladores de la iniciativa CDIO [39], son dos las causas principales de la falta de convergencia que existe entre la educación en ingeniería y la práctica de la ingeniería: falta de fundamentos o bases lógicas (*rationale*) y falta de detalles. El propósito es, entonces, derivar objetivos y metas de aprendizaje más detalladas que sean consistentes con los fundamentos.

En el caso particular de esta propuesta, se definieron primero los objetivos de aprendizaje en función de las competencias a ser desarrolladas y luego, se verificó a qué componente y nivel del Syllabus correspondía cada objetivo, y en función de ello se suprimieron o ajustaron aquellos objetivos sin correspondencia. Para observar en profundidad todas las competencias específicas principales, el Syllabus con los Objetivos

de Aprendizaje se describe en el Anexo B. Se tomó el Syllabus hasta el segundo nivel de detalle⁷.

3.4 Malla curricular diseñada para el curso.

Como síntesis del desarrollo conceptual previo, este producto es el resultado de combinar las competencias, los objetivos y los contenidos, bajo el criterio de la semana en la que deben ser desarrollados de acuerdo al programa de curso, de manera que se tiene una hoja de ruta para el docente que facilita la implementación del diseño curricular.

Para ilustrarlo, se indica en la tabla 3-8 el resultado de malla para una competencia específica, con los objetivos y contenidos correspondientes en cada semana en la que deben ser implementados:

Tabla 3-8: Extracto de la Malla Curricular propuesta para la competencia de Estimación Económica.

Competencia	Implementación curricular	
Elabora presupuestos y estimaciones de orden económico relativas a los procesos de maquinado, teniendo en cuenta la situación a resolver y las condiciones técnicas (de herramienta, secuencia de operaciones, mano de obra, etc.)	Semana 8	
	Metas – Objetivos	Contenido
	Establecer cómo fallan las herramientas de corte. Ilustrar los aspectos geométricos del desgaste. Definir y evaluar la vida de la herramienta. Determinar y utilizar la ecuación de vida de la herramienta.	Fallas, desgaste y vida de la herramienta
	Semana 9	
	Metas – Objetivos	Contenido
	Comprender la necesidad de estimar los tiempos de mecanizado y la forma de evaluarlos en cada operación. Comprender las expresiones para el cálculo de los costos de mecanizado. Utilizar las ecuaciones para determinar costos con base en las condiciones más económicas.	Condiciones económicas del maquinado

⁷ http://www.cdio.org/files/CDIO_Syllabus_Report.pdf

La malla completa, propuesta para las 16 semanas nominales de duración del curso, se encuentra detallada en el Anexo A. Es necesario precisar, que en dicha malla se especifican, además de los componentes previamente descritos, una serie de elementos de carácter más didáctico que propiamente curricular: son las “acciones del docente” y los “productos a evaluar”, que como tal se proponen, pero, cuyo cumplimiento de momento no es obligatorio para esta investigación o para la implementación en sí del curso. Es importante enfatizar que la malla tiene un carácter integrador, en los sentidos vertical y horizontal.

4. Estrategia didáctica a implementar – Proyecto de Clase (Intervención)

Proponer y describir la pertinencia de un proyecto de curso permite constatar en el tiempo la efectividad para el aprendizaje de los estudiantes. Primero, explica el contexto de aprendizaje que se ve beneficiado con el desarrollo de este tipo de estrategias didácticas. Posteriormente, se describe con detalle el proyecto aplicado en el segundo semestre de 2012, su origen y antecedentes, los lineamientos (objetivos, competencias a desarrollar, esquema general de productos entregables y cronograma, etc.) y la estructura en términos de los roles que van a jugar los estudiantes y los mecanismos de seguimiento, valoración y coevaluación. Siguiendo un enfoque inductivo, luego de exponer las características del proyecto se presenta en última instancia una breve justificación acerca de la pertinencia que tiene dicho proyecto para el desarrollo de las competencias.

4.1 Propósitos y métodos de aprendizaje que se deben privilegiar con la intervención

Autores como Felder y Brent [102] indican que entre las estrategias de aprendizaje más importantes para el desarrollo de los futuros ingenieros, se encuentran aquellas que logren involucrar a los estudiantes de manera activa en la solución de situaciones o problemas surgidos de experiencias reales. Este tipo de actividades se enmarcan en lo que se denomina *aprendizaje activo y experiencial*.

De otra parte, las metodologías de aprendizaje que se espera potenciar en los estudiantes del curso también están sintonizadas principalmente con las indicaciones de los autores ya mencionados en el entorno de CDIO. Esto, en virtud de los standards 7 y 8, los cuales se especifican a continuación [39]:

CDIO ESTÁNDAR 7 - EXPERIENCIAS INTEGRADAS DE APRENDIZAJE

Integrar experiencias de aprendizaje que conduzcan a la adquisición de conocimientos disciplinarios, así como habilidades personales e interpersonales, y fortalecer las habilidades de construcción de producto, proceso, y sistemas.

CDIO ESTÁNDAR 8 - APRENDIZAJE ACTIVO

La enseñanza y el aprendizaje basados en métodos de aprendizaje activo y experiencial.

Este último estándar define los métodos fundamentales que hacen parte de la didáctica propuesta para el curso, y son:

- Aprendizaje activo. “Métodos activos de aprendizaje en los cuales los estudiantes participen directamente en el pensamiento y en actividades de resolución de problemas. Hay menor énfasis en la transmisión pasiva de información y mayor énfasis en que los estudiantes participen en la manipulación, aplicación, análisis y evaluación de las ideas” [39]. Esto implica enganchar a los estudiantes para que reflexionen y generen nuevos conceptos y, sobre todo, ideas enmarcadas en el contexto de una respuesta solicitada, de manera que él reconozca, por su propia cuenta, qué necesita aprender y cómo debe aprenderlo.
- Aprendizaje experiencial. “El aprendizaje activo se considera experiencial si los estudiantes asumen roles que simulan la práctica profesional de la ingeniería, como ocurre, por ejemplo, con los proyectos de diseño-implementación, simulaciones y estudios de casos” [39]

Una de las actividades de aprendizaje experiencial más destacadas por los autores anteriores es el desarrollo de proyectos bajo el enfoque ABP -[103], [39]- dado que requieren de los estudiantes la aplicación de sus habilidades para dar solución a problemas reales o auténticos; además, consideran que los procesos de pensamiento implícitos en el desarrollo de dichos proyectos son consistentes con la forma de pensar en un ambiente de ingeniería.

4.2 Actividad propuesta para los estudiantes: Desarrollo de un magazín

Luego de determinar las competencias, objetivos y estrategias didácticas generales que rigen a la intervención, se inició la búsqueda y selección de una actividad que fuera pertinente para los fines planteados. En esta línea, es importante señalar que una parte fundamental del diseño propuesto, en términos metodológicos, es la orientación hacia el desarrollo de un proyecto de curso, el cual se concibió inicialmente como orientado a tres líneas principales y alternativas:

- Modelación numérica y simulación del proceso de corte ortogonal, mediante elementos finitos.
- Elaboración de tutoriales para simulación de procesos de maquinado mediante herramientas CAM.
- Escritura de un artículo de investigación o monografía breve sobre tendencias modernas en procesos de maquinado.

Por lo indagado informalmente con el docente de la asignatura, en semestres anteriores se han desarrollado proyectos principalmente de tipo tutorial, con resultados mixtos. De otra parte, aquellos que corresponden a modelación numérica del proceso no han arrojado los resultados esperados, lo que probablemente se puede atribuir a que requiere la formación previa en otras destrezas que, en general, los estudiantes no poseen al momento de tomar la asignatura.

La elaboración de artículos no había sido explorada en profundidad. No obstante, se han encontrado varios estudios, principalmente en universidades de Estados Unidos -[104], [105]- y algunos en América Latina (en Cuba -[106]- y Venezuela -[107]-), en las cuales han adoptado la estrategia didáctica de la escritura de publicaciones académicas y científicas con el objetivo, entre otros, de afianzar los conocimientos adquiridos por los estudiantes. En los Estados Unidos, en particular, dicha iniciativa de fomentar la escritura técnica en ingeniería se engloba en la idea denominada “*Writing-to-Learn*” -[108], [109], [110]-. Se piensa en que la escritura es una actividad integradora y que puede demandar de los estudiantes la aplicación de los conocimientos específicos adquiridos en la asignatura.

Por ello, se optó por enfocar el proyecto presente al desarrollo de competencias integradas a través de la escritura de un artículo para un magazín.

4.2.1 Lineamientos del proyecto

Nombre propuesto del proyecto: “Magazín Fabricar”

Contenido: Noticias e información técnica de interés para las industrias de fabricación en Colombia con énfasis inicial en procesos de fabricación por maquinado convencionales y no convencionales.

Público potencial:

- Industriales de fabricación.
- Ingenieros de manufactura.
- Investigadores en materiales y procesos de manufactura.
- Estudiantes de áreas relacionadas.
- Importadores de maquinaria.

Objetivo general: Elaboración colectiva de un sitio en internet de divulgación para las industrias de fabricación en Colombia que incluye un magazín de difusión vía e-mail.

Competencia transversal: Comunica de manera clara y efectiva el resultado de aplicar sus conocimientos en un contexto de comunicación y difusión de conocimientos en ingeniería.

Paralelamente se pretende desarrollar otras competencias y habilidades importantes de trabajo en equipo y administración para integrarse en grupos de trabajo y en proyectos complejos.

4.2.2 Antecedentes de proyectos similares

La idea de proyecto tipo magazín, tal como la propuso originalmente el Prof. José Manuel Arroyo, está inspirada fundamentalmente en la forma cómo surgió la revista electrónica

de divulgación CIMM⁸ en Brasil, si bien el diseño gráfico general propuesto y la forma de presentar los artículos a través de zonas se adaptó del sitio Modern Machine Shop⁹, y a su vez se recomendó a los estudiantes tomar como referencias de comparación, en cuanto a la redacción y estilo de los artículos y la manera de presentar la información, los sitios de Metalmecánica¹⁰ y Metal Actual¹¹ en español, así como Usinagem Brasil¹². En el blog de CIMM¹³, se indica que el sitio surgió a finales de la década de 1990, dentro del grupo de Investigación y Capacitación en Control Numérico y Automatización Industrial (GRUCON, siglas en portugués), perteneciente en su momento al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC). En aquel entonces, era una extensión del Centro de Información de mecanizado (CINFUS siglas en portugués) cuyo objetivo era construir una base de datos en el mecanizado. Posteriormente, como parte de un trabajo de participación en proyecto, el profesor Lourival Boehs, junto con un grupo de estudiantes, desarrolló desde el año 2001 una investigación denominada *Apoio ao desenvolvimento continuado do sistema de informação CIMM e à pesquisa experimental em processos de fabricação*¹⁴, financiada por CNPQ, que permitió reforzar lo logrado en las etapas iniciales del magazín.

4.2.3 Roles de los estudiantes y productos finales

Teniendo en cuenta el conocimiento general que posee el proponente y el docente de la materia sobre los mecanismos de elaboración de artículos, de envío y evaluación, se definió dividir al grupo de estudiantes de acuerdo con unos roles particulares, en función del tipo de proyecto que se estaba emprendiendo. Dichos roles se asignaron a bloques de subproyectos, de acuerdo con lo siguiente:

Subproyectos A: Pertenecientes al comité periodístico, encargado de la escritura de artículos para el magazín. Se propuso para ello que se conformaran grupos de hasta 3 estudiantes, y a cada grupo le correspondió un tema específico, altamente relacionado

⁸ <http://www.cimm.com.br/portal/>

⁹ <http://www.mmsonline.com/>

¹⁰ <http://www.metalmecanica.com/>

¹¹ <http://www.metalactual.com/>

¹² <http://www.usinagem-brasil.com.br/>

¹³ <http://blog.cimm.com.br/historico/>

¹⁴ <http://goo.gl/rYPRC>

con los contenidos asociados a las competencias específicas a desarrollar; dicho tema fue escogido por cada grupo en función de una lista inicial suministrada durante la presentación de los lineamientos; se asignaron los temas en orden de llegada. En algunos grupos, fueron los propios estudiantes quienes plantearon el tema en el que deseaban trabajar, a partir de lo planteado para los demás. Durante el proyecto, se conformaron 23 grupos de tres estudiantes y 1 grupo con un único integrante, para un total de 24 artículos entregados hasta la etapa final, los cuales quedaron definitivamente publicados. La tabla 4-1 ilustra la distribución temática de los artículos desarrollados durante el semestre:

Tabla 4-1: Distribución de temas para artículos del Comité Periodístico.

Grupo	Tema propuesto o seleccionado para la escritura del artículo
1	Panorama del mercado de herramientas de corte especiales.
2	Análisis del mercado de fluidos de corte en Bogotá.
3	Estado del mercado mundial de moldes.
4	Balance económico de inversión equipos corte láser.
5	Maquinado de materiales no metálicos, plásticos, compuestos.
6	Tecnología de maquinado en seco y con mínima cantidad de lubricante (MQL).
7	Mercado de máquinas CNC especiales en Bogotá.
8	Maquinado de aceros para moldes.
9	Comparación entre técnicas de corte con láser y corte con agua.
10	Portaherramientas especiales con circulación interna de fluido.
11	Técnicas de acabado superficial con bajo costo.
12	Estado de las tecnologías no convencionales de maquinado en Bogotá.
13	Análisis del proceso para la selección de herramientas de corte.
14	Flexibilización en Maquinado.
15	Herramental y tecnología de corte para productos alimenticios.
16	Estrategias de inversión y explotación para máquinas herramientas.
17	Métodos para la estimación de costos en procesos de maquinado.
18	Metodologías para la planeación de procesos convencionales de maquinado.
19	Análisis general del sector de maquinado en Bogotá.
20	Análisis de estrategias para la prevención de fallas en herramientas de corte.
21	Planeación de procesos no convencionales de maquinado.
22	Análisis de mercado y uso de los programas CAM en Bogotá.
23	Procesos de maquinado en el sector odontológico.
24	Mercado de herramientas de corte especiales hechas en Colombia.

De otra parte, la estructura de productos a entregar por parte de este comité se definió de la siguiente manera:

- Entrega 1: Definición del tema y las secciones que va a contener su artículo. Descripción general de los contenidos teóricos que lo sustentan.
- Entrega 2: Estado del arte sobre el área del artículo, que debe incluir por lo menos 10 referencias bibliográficas. Evidencias de visita a empresas y entrevistas con profesionales.
- Entrega 3: Envío de la primera versión del artículo al comité editorial.
- Entrega 4: Envío de la versión final del artículo al comité editorial.

Subproyecto B: Estudiantes pertenecientes al Comité Editorial, encargado de la revisión de la calidad de los artículos para su publicación final. En este caso, se solicitó la conformación inicial de un grupo de 4 estudiantes, que se amplió a 6 estudiantes, además de los docentes de la materia. Los productos que debía entregar este comité fueron:

- Entrega 1: Presentación de los criterios de recepción de artículos (formato, normas de redacción, forma de envío, plazos de recepción y entrega de artículos revisados). Estos criterios deben estar sustentados por un estudio de políticas editoriales de publicaciones de la Universidad Nacional que se puedan consultar en internet.
- Entrega 2: Presentación de los criterios de evaluación de los artículos basados en la información de las reglas de publicación de revistas científicas y no científicas (deben incluirse criterios técnicos de acuerdo con temas relacionados vistos durante el curso).
- Entrega 3: Informe de la revisión de la primera versión de los artículos evaluados y enviados con sugerencias a los respectivos autores para corrección. Envío al comité de publicación de los artículos en primera versión y una calificación preliminar de su calidad.
- Entrega 4: Informe de evaluación de la versión definitiva de los artículos. Debe incluir las observaciones de evaluación y la justificación de la calificación final a cada grupo. Envío al comité de publicación de los artículos para su publicación en el primer número del magazín.

En el transcurso del proyecto, el docente de la asignatura decidió que la entrega de Informes de Evaluación fuera sustituida por el establecimiento de comentarios críticos de cada artículo en la página web con la versión beta del magazín, para de esta forma estimular el uso de la herramienta recién creada y permitir una retroalimentación rápida, en tiempo real, a los estudiantes del Comité Periodístico.

Subproyecto C: Estudiantes pertenecientes al Comité de Publicación, previsto para la estructuración, diseño y publicación del sitio en internet y para enviar el correo electrónico masivo con el contenido del magazín. Nuevamente, se solicitó la conformación inicial de un grupo de 4 estudiantes, que también se amplió a 6.

Para este comité se definieron los siguientes productos:

- Entrega 1: Definición del funcionamiento global de administración de la información en el sitio y del formato del envío del mail con cada número del magazín.
- Entrega 2: Definición de la estructura gráfica del sitio y del magazín con base en los sitios de ejemplo mencionados previamente. La misma debe ser evaluada por los estudiantes del curso y ojalá por diseñadores gráficos y/o artistas plásticos.
- Entrega 3: Versión Beta del sitio y del magazín enviado a todos los participantes del curso con el primer correo masivo con el número 1-beta del magazín vinculado al contenido del sitio con la primera versión de los artículos recibidos por el comité editorial.
- Entrega 4: Versión definitiva del sitio y del magazín enviado a todos los participantes del curso con el primer correo masivo con el número 1 del magazín vinculado al contenido del sitio con la versión definitiva de los artículos aceptados para publicación por el comité editorial.

En las entregas 3 y 4 se deben incluir estadísticas de cantidad de vistas y registrar en línea los comentarios de los lectores de los artículos. El esquema de entregas se distribuyó en el tiempo de manera que cubriera los 4 meses nominales lectivos; las primeras entregas se sucedieron con intervalos de 20 días entre ellas, mientras que las

entregas 3 y 4 abarcaron cada una alrededor de un mes. Para la presentación de las dos primeras entregas, se dispusieron espacios de reunión globales en los horarios destinados a prácticas de laboratorio, ubicados en salones de clase con acceso a *video beam*, y cuando no se podía cumplir por alguna restricción, en la sala anexa al Laboratorio de Máquinas Herramientas, con el propósito de que todos los compañeros pudieran ver el trabajo desarrollado por cada grupo y obtuvieran ideas comunes para presentar sus resultados.

4.2.4 Criterios generales de valoración

Para incentivar la participación de los estudiantes en la intervención, y teniendo en cuenta la magnitud del trabajo propuesto, se decidió que la nota de proyecto represente un 50% de la nota final para el curso. Esta nota de proyecto se distribuyó de manera general así:

- Promedio obtenido en la evaluación de las entregas: Corresponde al 100% de la nota en las primeras dos entregas, y al 60% de la nota en las entregas finales.
- Promedio obtenido en la evaluación de externos (otros estudiantes, docentes comités, etc.), cuando proceda en las entregas finales: 40% restante.

De esta forma, se espera fomentar diversos mecanismos de evaluación: heteroevaluación (en las etapas de presentación formal por cada entrega, usando indicadores observables por el asesor), coevaluación (a partir de las entregas de productos en versión beta -artículos, formato de los mismos y sitio web-) y autoevaluación (que se planteó como un espacio personal de reflexión en el que cada grupo consignaba los resultados en el portafolio), para de esta forma hacer que la valoración sea lo más justa y equilibrada posible, y ser consecuentes con los principios básicos de evaluación de competencias. Así mismo, cabe indicar que se pretendió hacer evidente el grado de avance alcanzado por los respectivos grupos, actualizando la nota de proyecto en cada entrega; es decir, la nota final no es el promedio de las valoraciones hechas en cada entrega, sino que en cada etapa se establece una calificación que se va actualizando, de manera que la nota final del proyecto será la obtenida en el proceso de valoración de la cuarta entrega. Esta metodología se planteó para estimular a los estudiantes a ir mejorando su desempeño y que tuvieran la oportunidad de ver reflejada su mejoría cuando así se hiciera evidente, o por el contrario su retroceso.

4.2.5 Secuencia didáctica por competencias del proyecto

En concordancia con lo requerido por el enfoque socioformativo como fundamento conceptual de la propuesta de investigación, la tabla 4-2 sintetiza la secuencia didáctica por competencias correspondiente a la actividad Proyecto de Curso, teniendo en cuenta la estructuración planteada de antemano:

Tabla 4-2: Secuencia Didáctica para el proyecto de Curso – Enfoque Socioformativo.

COMPONENTES DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA POR COMPETENCIAS – PROYECTO MAGAZÍN FABRICAR	
<i>Situación problema del contexto</i>	Desarrollo de un magazín de divulgación sobre actualidad y aplicaciones de los procesos de maquinado en la industria bogotana.
<i>Competencias a formar</i>	<u>Comunicativa</u> : Comunica de manera clara y efectiva el resultado de aplicar sus conocimientos en un contexto de comunicación y difusión de conocimientos en ingeniería. Desarrollo en paralelo de otras competencias y habilidades de trabajo en equipo y en proyectos complejos.
<i>Actividades de aprendizaje y evaluación</i>	<u>Actividades docentes</u> : Presentación de lineamientos durante la primera semana de clases. Seguimiento y retroalimentación del proceso autónomo de investigación y elaboración de productos en cada entrega. <u>Actividades de aprendizaje autónomo</u> : Consulta de material bibliográfico actualizado para establecer ruta teórica de los artículos y estado del arte en las tecnologías. Visitas a empresas de acuerdo con el ámbito y contexto en el que se desempeña cada rol.
<i>Evaluación</i>	Indicadores de Calidad, Contacto con empresas y Cumplimiento en cada entrega del proyecto. Productos entregables específicos por cada rol. Rúbrica con indicadores de evaluación aplicada en las entregas pertinentes.
<i>Recursos</i>	Artículos y libros que traten aspectos sobre los temas escogidos. Material del curso. Se requiere acceso a internet, en particular para aquellos que pertenecen al Comité de Publicación para el desarrollo del magazín, y posteriormente para los procesos de coevaluación y heteroevaluación.
<i>Proceso Metacognitivo</i>	Mediante el portafolio en Google, se espera que el estudiante registre sus propios procesos de avance, sus fortalezas y debilidades, así como que consigne resultados parciales a través de los cuales se apoye para la presentación de los productos específicos.

4.3 Pertinencia de la intervención

En este punto, cabe analizar las razones que justifican la implementación de un proyecto de escritura técnica como una estrategia didáctica válida y pertinente para el desarrollo de las competencias formuladas.

Como se ha venido indicando con anterioridad, una competencia sólo es posible de ser verificada o medida cuando la persona en la que se está desarrollando dicha competencia muestra evidencias plenas y concretas de la misma. Esto es factible cuando la persona entra a resolver una situación o problema del entorno real, que le demanda poner sus capacidades, conocimientos y habilidades en juego, evaluando continuamente el contexto para saber cuáles de dichos conocimientos son los más relevantes y proponer una solución realizable.

Por parte de los proponentes, se considera que el desarrollo de todo un magazín que pueda ser puesto a disposición de un público amplio y en gran medida conocedor de la práctica en el mundo real del maquinado para juzgar la calidad y pertinencia de los productos elaborados, es una situación que perfectamente puede llevar al estudiante a las condiciones deseadas. Así mismo, al poner de requerimiento que todos los grupos deban entrar en contacto con empresas e instituciones del ámbito, se logra que los estudiantes se conecten con la realidad subyacente a los temas y contenidos tradicionales y valoren hasta qué punto estos conocimientos teóricos son aplicables. Cada rol tiene unas responsabilidades definidas, cuyos productos son evidencias concretas. De otra parte, se ha diseñado un mecanismo particular que mide indicadores concretos respecto al desempeño del estudiante en cada etapa de generación de dichos productos.

También cabe tener en cuenta que los artículos se trabajaron alrededor de temas cuyo contenido está en el núcleo y fundamento de las competencias específicas que se construyeron. Se pretende que no sólo los estudiantes que escriban los artículos sean los más beneficiados, sino que también aquellos que los leen y ejercen comentarios críticos como usuarios o como miembros del Comité Editorial puedan desarrollar dichas competencias en algún grado.

5. Medición y evaluación del desempeño como variable dependiente

El propósito de esta investigación es medir la influencia que tiene en el desempeño la actividad basada en ABP y formación por competencias. Normalmente, el desempeño se mide a través de las notas parciales o finales del curso. En este proyecto, no sólo se usa esta convención, sino que se miden desempeños asociados a las competencias definidas para observar si hay cambios y en qué medida son atribuibles a la actividad planteada.

Como se ha planteado un rediseño curricular local (es decir, limitado a una asignatura en particular) basado en competencias, se asume que como mínimo la forma de evaluar a los estudiantes debe estar igualmente basada en competencias. En la literatura -por ejemplo, [35–37]- es posible encontrar numerosos mecanismos propuestos para llevar a cabo dicho tipo de evaluación. Cualquiera que se utilice, se debe tener en cuenta que, de acuerdo con las diversas referencias consultadas, se requieren instrumentos muy variados para medir plenamente el nivel de competencia que puede alcanzar un estudiante; así mismo, se puede concluir que queda a discreción del evaluador o investigador el conjunto de estrategias e instrumentos más adecuados para dicho fin, en función de las condiciones en las que se da el proceso particular de enseñanza-aprendizaje.

5.1 Evaluación asociada a las competencias

De acuerdo con lo indicado por Koeppen et al [111], las políticas y prácticas educativas en evaluación de competencias se están dirigiendo hacia la *medición basada en evidencias*, entendiendo éstas como valoraciones empíricas de las competencias. Sadler [112] menciona que, en varios contextos educativos y de entrenamiento, se considera que una *competencia* consiste a su vez de un gran número de competencias discretas

que pueden medirse independientemente, de preferencia por medios objetivos, si bien recomienda tomar una visión más holística de la medición, pues en sus palabras, “la competencia total es más que la suma de sus partes”.

El proceso de evaluación de las competencias específicamente estructuradas para el curso comprende la implementación de dos instrumentos concretos, un test de preguntas cerradas para medir conocimientos y una autoevaluación en escala Likert para medir la percepción propia de habilidades, diseñados con el fin de cubrir, tanto de manera heterónoma (es decir, observada por el docente) como autónoma (observada por el propio estudiante), el nivel en el que se encuentra cada participante. Los resultados de esta implementación se convierten entonces en las evidencias requeridas.

Por otra parte, se considera pertinente este doble mecanismo para verificar el estado de competencia, pues no sólo depende de que el docente o facilitador haga un juicio objetivo del estudiante, sino que también este último se ve involucrado a sí mismo en determinar su propio nivel de competencia. Adicionalmente, mientras uno de los instrumentos (el test de preguntas cerradas) cubre los saberes, los saberes hacer y la valoración de los contextos, el otro (la autoevaluación) mide a través de la propia percepción los componentes aptitudinales y actitudinales con que cuenta el estudiante dentro de la competencia. Además, estos instrumentos están diseñados para facilitar la recolección, sistematización y procesamiento de los resultados, ofreciendo medidas de carácter cuantitativo y cualitativo que dan cuenta, en un espectro más amplio, de los desempeños alcanzados.

5.1.1 Evaluación de conocimientos asociados: Diseño de un instrumento de preguntas de selección múltiple.

Se ideó una forma de evaluación pre- y post- curso, la cual se implementó a través de un cuestionario de conocimientos asociados a cada competencia, de tipo test clásico, con 20 preguntas de selección múltiple, la gran mayoría de ellas con una sola respuesta correcta, aunque también se incluyeron 2 preguntas con crédito parcial. Para el diseño de este instrumento se tuvieron en cuenta, particularmente, las indicaciones ofrecidas por

el programa de métodos cuantitativos en planeación educativa de la UNESCO [113] y otras recomendaciones disponibles en la web¹⁵; se tuvo en cuenta que la extensión fuera suficiente para ser implementado en un tiempo cercano a 30 minutos, por disponibilidad logística de la clase magistral. La tabla 5-1 sintetiza la relación entre las competencias y conocimientos evaluados mediante la prueba y las preguntas empleadas para ello. Cabe aclarar que se aprovechó el instrumento para medir algunas habilidades prácticas específicas que hacen parte de los procesos formados en los laboratorios realizados por los estudiantes finalizando la asignatura; esto se hizo pues el tipo de preguntas y las habilidades se prestaban para ello.

Tabla 5-1: Relación de preguntas en el cuestionario de conocimientos y competencias que se miden.

Competencia	Preguntas correspondientes
Comprende los distintos tipos de procesos de maquinado que se ejecutan en la actualidad, para aplicarlos en los contextos adecuados.	1 a 5, todas con una sola respuesta correcta.
Selecciona los insumos apropiados (herramientas, fluidos) para llevar a cabo las operaciones de corte dentro del proceso de maquinado, con base en fundamentos técnicos.	6 a 9, todas con una sola respuesta correcta.
Elabora presupuestos y estimaciones de orden económico relativas a los procesos de maquinado, teniendo en cuenta la situación a resolver y las condiciones técnicas (de herramienta, secuencia de operaciones, mano de obra, etc.)	10 y 11, ambas con una sola respuesta correcta.
Selecciona las máquinas y condiciones de proceso idóneas para la implementación en planta de tecnologías de mecanizado convencionales y nuevas (maquinado con láser, EDM, entre otras).	12 y 13, ambas con una sola respuesta correcta.
Diseña la secuencia de procesos pertinente para la fabricación de una o varias piezas, considerando la disponibilidad de máquinas herramienta y las operaciones posibles.	14 y 15, ambas de crédito parcial.
Habilidad Particular: Desarrolla la secuencia de fabricación de una pieza en torno o fresa CNC - Programa la fabricación de una pieza mediante software CAM.	16 a 18, todas con una sola respuesta correcta.
Habilidad Particular: Selecciona de manera óptima el conjunto de herramientas de corte necesarias para fabricar una pieza determinada.	19 y 20, ambas con una sola respuesta correcta.

¹⁵ <http://web.ua.es/es/ice/documentos/recursos/materiales/ev-pruebas-objetivas.pdf>

El cuestionario fue evaluado en su validez de constructo y contenido mediante una primera revisión cualitativa de cada ítem por parte de expertos (el docente de la asignatura, Prof. José Manuel Arroyo, y el Prof. Anselmo Diniz, de la *Universidade Estadual de Campinas* en Brasil) y, además, a través de la aplicación previa de una prueba piloto con un grupo diverso de estudiantes y profesionales con algún grado de conocimiento de los conceptos y contenidos de la materia, para así medir los niveles de dificultad y discriminación de cada pregunta y de la prueba en general. A partir de los resultados de dicha prueba se detectaron algunas preguntas que debían ser totalmente modificadas o reemplazadas por otras, mientras que en otras preguntas se efectuaron ajustes en las opciones de respuesta o en la redacción.

El detalle de todas las preguntas que componen a este instrumento se puede observar en el Anexo C. El objetivo futuro es que dicho instrumento sirva como un predictor del nivel de conocimiento de cualquier estudiante que ha tomado asignaturas similares; aun cuando está definido para competencias podría utilizarse para verificar el nivel de conocimiento en temas particulares.

5.1.1.1 Validación estadística de la prueba.

Una vez diseñado este instrumento, se solicitó asesoría formal al Laboratorio de Psicometría de la Facultad de Ciencias Humanas, en la Universidad Nacional, con el fin de establecer si el instrumento fue diseñado siguiendo los conceptos de validez y confiabilidad que se definieron previamente. Para ello, se utilizaron los resultados de la primera aplicación del instrumento con los estudiantes (que correspondió a la etapa pre test antes de arrancar con la intervención), y se determinaron parámetros de dificultad y discriminación –con fundamento en Crocker y Algina [114]- por cada ítem y para toda la prueba. Los resultados de esta determinación de parámetros fueron sometidos a discusión para su presentación en el VI Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, IV de Ingeniería Mecatrónica, y IV Congreso Internacional de Materiales Energía y Medio Ambiente – CIMM 2013, al cual fueron aceptados en modalidad de poster; el resumen respectivo se encuentra en el Anexo D, “Análisis niveles de dificultad y discriminación en diagnóstico de conocimientos para estudiantes de Procesos de Maquinado”.

De antemano, fue necesario determinar si los resultados obtenidos se distribuyen normalmente. Para ello, se empleó un archivo de Excel¹⁶, el cual emplea la prueba de chi-cuadrado como indicador de la normalidad en la distribución de los puntajes. En dicho archivo, se ingresaron como datos los resultados de puntaje total obtenidos en la prueba pre-, para el grupo de 77 estudiantes que lo contestaron. Las figuras 5-1 y 5-2 muestran las estadísticas resultantes para este test:

Figura 5-1: Estadísticos descriptivos y comparación con cuantil normal para la distribución de puntajes.

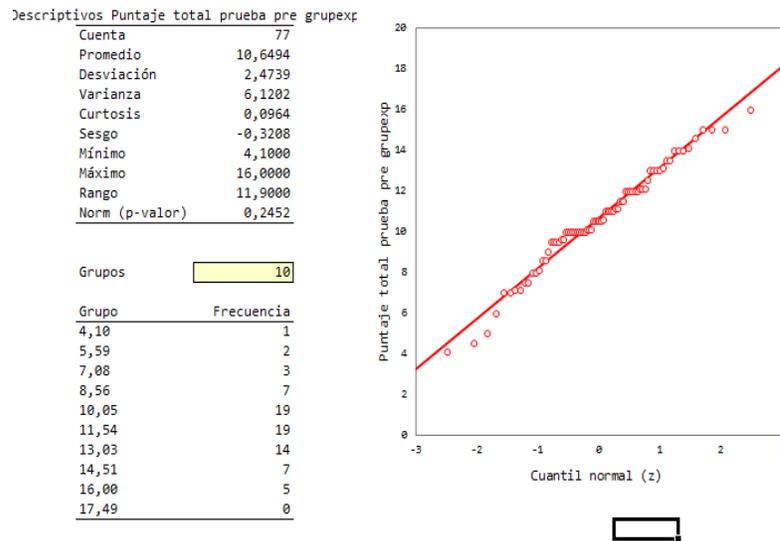
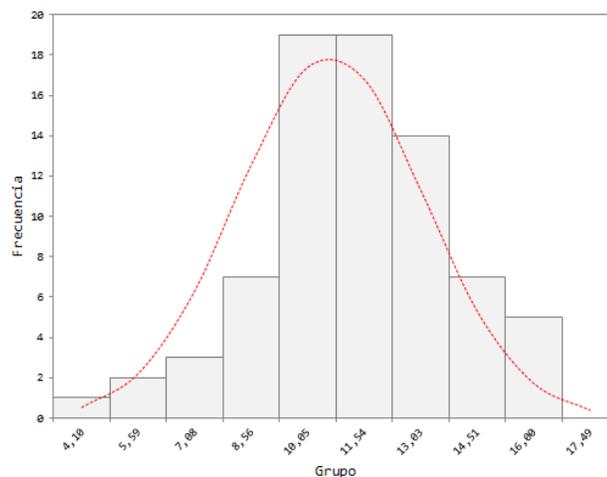


Figura 5-2: Histograma de distribución de puntajes en prueba pre- de conocimientos.



¹⁶ <http://excelpatas.blogspot.com/2010/11/prueba-de-normalidad-en-excel.html>

Como se observa, de acuerdo al valor-p obtenido -que es mayor a 0,05- no se rechaza la hipótesis nula, con lo cual se considera que los resultados siguen una distribución normal.

5.1.2 Autopercepción de habilidades asociadas: Diseño de una encuesta tipo Likert.

En otra forma de evaluación, que se aplicó con el grupo experimental en etapas pre- y post- curso y con el grupo control en forma post-curso, se desarrolló una encuesta en la que se indaga a los estudiantes por su propia percepción acerca del estado en el que ellos consideran que han desarrollado ciertas habilidades y actitudes específicas de las competencias en el curso. Para la implementación, se hizo uso del Formulario de Hoja de Datos en el sitio de Google del curso. En la figura 5-3 se indica una vista parcial del instrumento recibido por los estudiantes:

Este tipo de herramienta permite crear encuestas o instrumentos con preguntas de varios tipos; en este caso, se escogió para la creación de cada pregunta la opción de Escala con valores de 1 a 5; en las instrucciones entregadas a los estudiantes, se detalla el significado de cada valor en la escala. En la Tabla 5-2 se describe la relación de preguntas y competencias que son medidas a través de la autoevaluación. Para una descripción a profundidad, en el Anexo E se encuentra plenamente detallado el instrumento con sus preguntas.

Figura 5-3: Formulario de hoja de datos en Google con autoevaluación.

Autoevaluación en competencias - Procesos de fabricación por maquinado

Por favor, conteste esta evaluación con sinceridad. Este instrumento se ha diseñado para permitirle tomar conciencia propia sobre su estado actual de formación y competencia; una vez finalizado el curso, tendrá con esto criterios para medir su grado de avance, la pertinencia y la utilidad de lo que verá y trabajará durante el semestre.

Por cada indicador, marque la casilla que corresponda a su propia valoración sobre el mismo.

Como guía, la escala de valoración es la siguiente:

- 1 Definitivamente no sé o no puedo hacerlo.
- 2 Quizá sé hacerlo, pero no estoy seguro y requiero ayuda.
- 3 Sé hacerlo de manera simple y sin ayuda.
- 4 Sé hacerlo con cierto dominio y sin ayuda.
- 5 Sé hacerlo de manera experta.

Tu nombre de usuario (jdorjuelam@unal.edu.co) quedará registrado al enviar este formulario.

¿No eres jdorjuelam? [Salir](#)

*Obligatorio

Competencia 1: Comprende los distintos tipos de procesos de maquinado que se ejecutan en la actualidad, para aplicarlos en los contextos adecuados.

1.1 Sé en su mayoría cuáles son los procesos de fabricación que implican arranque de viruta. *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

1.2 Puedo calcular y relacionar los parámetros de corte de cualquier operación de maquinado. *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

1.3 Sé qué máquinas herramienta sirven para efectuar cualquier operación de maquinado. *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

Tabla 5-2: Relación de preguntas en la autoevaluación y competencias que se miden.

Competencia	Preguntas correspondientes
Comprende los distintos tipos de procesos de maquinado que se ejecutan en la actualidad, para aplicarlos en los contextos adecuados.	1.1 a 1.3
Selecciona los insumos apropiados (herramientas, fluidos) para llevar a cabo las operaciones de corte dentro del proceso de maquinado, con base en fundamentos técnicos.	2.1 a 2.6
Elabora presupuestos y estimaciones de orden económico relativas a los procesos de maquinado, teniendo en cuenta la situación a resolver y las condiciones técnicas (de herramienta, secuencia de operaciones, mano de obra, etc.)	3.1 a 3.3
Selecciona las máquinas y condiciones de proceso idóneas para la implementación en planta de tecnologías de mecanizado convencional y nuevo (maquinado con láser, EDM, entre otras).	4.1 a 4.3
Diseña la secuencia de procesos pertinente para la fabricación de una o varias piezas, considerando la disponibilidad de máquinas herramienta y las operaciones posibles.	5.1 a 5.3
Habilidad Particular: Desarrolla la secuencia de fabricación de una pieza en torno o fresa CNC - Programa la fabricación de una pieza mediante software CAM.	6.1 a 6.3
Competencia Particular: Comunica de manera clara y efectiva el resultado de aplicar sus conocimientos en la solución de un problema de ingeniería.	7.1 y 7.2

5.1.2.1 Validación estadística de la autoevaluación.

A través de la asesoría formal desarrollada por el Laboratorio de Psicometría de la Facultad de Ciencias Humanas, en la Universidad Nacional, también se sometió este cuestionario de autoevaluación a los procesos de análisis respectivos para verificar validez y confiabilidad.

Nuevamente, se utilizaron los resultados de la primera aplicación del instrumento con los estudiantes (etapa pre test). Por el tipo de instrumento, fue necesario hacer uso de un conjunto de herramientas estadísticas factoriales -[115], [116]- mediante el software IBM SPSS V19 en el Laboratorio de Psicometría de la Universidad Nacional. Para esta

autoevaluación, los resultados fueron satisfactorios, lo cual se refleja en el análisis contenido en la figura 5-4, puesto que la varianza total explicada por la prueba descomponiendo los resultados en 7 factores (que corresponden a las 7 competencias y habilidades definidas en la sección 3.2) alcanzó un valor acumulado de más del 83%; de acuerdo con los asesores del Laboratorio, en general las pruebas bien estructuradas, de acuerdo con las convenciones empíricas al respecto, superan el 70% de varianza total.

Figura 5-4: Análisis factorial confirmatorio para la Autoevaluación - Resultados.

Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	14,394	62,584	62,584	3,139	13,648	13,648
2	1,061	4,614	67,198	3,108	13,513	27,162
3	1,060	4,611	71,809	3,064	13,320	40,482
4	,849	3,691	75,500	2,706	11,766	52,248
5	,804	3,498	78,997	2,562	11,140	63,389
6	,573	2,493	81,490	2,388	10,382	73,770
7	,526	2,288	83,778	2,302	10,008	83,778
8	,502	2,183	85,961			
9	,443	1,927	87,888			
10	,371	1,615	89,503			
11	,348	1,512	91,015			
12	,303	1,318	92,333			
13	,275	1,196	93,528			
14	,229	,997	94,525			
15	,221	,960	95,485			
16	,187	,815	96,300			
17	,183	,794	97,094			
18	,161	,702	97,795			
19	,146	,635	98,431			
20	,116	,504	98,935			
21	,110	,478	99,413			
22	,071	,310	99,723			
23	,064	,277	100,000			

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

5.2 Evaluación interna de la intervención (Proyecto de curso) mediante *rúbricas* y *portafolio*.

Para valorar el desarrollo del proyecto, se propuso a los estudiantes la confección de un conjunto de documentos escritos (informes, diapositivas), en los cuales ellos consignaron los resultados de cada etapa de proyecto, a la luz de unos lineamientos de entrega mínimos especificados con anterioridad.

5.2.1 Detalles de diseño de la rúbrica.

Como se explicó, cada subproyecto debía encargarse de presentar cuatro entregas de diversos productos de acuerdo con el rol (detallados en la sección 4.2.3); cada una de dichas entregas fue evaluada a través de una lista de indicadores esperados, tipo rúbrica (*scoring rubric*). Este instrumento mide el desempeño a través de indicadores observables específicos basados en una escala descriptiva que dan cuenta de los productos entregados, así, como permite evidenciar el avance que pueden tener a partir de las sesiones de revisión y retroalimentación, y a su vez verificar la efectividad de la intervención en el desarrollo de las competencias.

De acuerdo con Moskal [117] el uso de rúbricas es particularmente adecuado cuando se trata de evaluar muestras o productos escritos (que son la mayoría en el proyecto). También se emplean para evaluar actividades de grupo, proyectos extensos y presentaciones. Moskal menciona como ventajas de la rúbrica que:

- a) Proporciona soporte de la medida o valor que se ha alcanzado en los criterios especificados.
- b) Proporciona información y retroalimentación a los estudiantes sobre la forma de mejorar sus desempeños.

La rejilla tipo rúbrica que fue diseñada puede considerarse de tipo analítico, atendiendo a las definiciones generales planteadas por Moskal [117] y Allen [118], en tanto que hay una puntuación por cada indicador o característica específica del producto o comportamiento a ser evaluado. No obstante, los criterios para asignar los valores de la escala no están detallados, sino que la valoración alcanzada en cada indicador queda en

función de lo observado por el evaluador. Un ejemplo de rúbrica a diligenciar se presenta en la Tabla 5-3. El detalle de todas las rúbricas por cada Comité y entrega se encuentra en el Anexo F.

Tabla 5-3: Rúbrica ejemplo – Entrega 1 del Comité Periodístico.

ENTREGA 1					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 3 – 4					
Competencias a evaluar: Comunicación	Contenidos del curso asociados:				
	Valor				
Indicador a evaluar	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Las posibles secciones del artículo están claramente determinadas.					
Se describen todos los contenidos teóricos asociados al tema del artículo.					
Hay evidencia de consulta y procesamiento de información adicional (referencias bibliográficas, documentos, etc.)					
NOTA					

5.2.2 Descripción del portafolio.

De otra parte, cada grupo de estudiantes, en su respectivo rol, se encargó de consignar sus resultados parciales y otras evidencias de aprendizaje en un *portafolio* cuya configuración fue una carpeta electrónica en Google Drive® a la cual los estudiantes podían acceder mediante su cuenta de correo institucional @unal.edu.co. Allí, cada grupo podía adjuntar imágenes, videos, grabaciones de audio y evidencias escritas de contacto con empresas e instituciones, así como todos aquellos documentos y material anexo que soportaba el proceso investigativo y de redacción de artículos, o de estructuración para los criterios de evaluación, o de soporte técnico y desarrollo del sitio web. Adicionalmente, se planteó a los estudiantes que en cada entrega anexaran evidencias de autoevaluación por escrito, en las que se detallaran fortalezas, debilidades y aspectos por mejorar que habían surgido en cada etapa del proyecto.

A manera de un ejemplo ilustrativo, la figura 5-5 indica el tipo de evidencias que un grupo determinado recolectó y puso en su portafolio. El orden y tipo de evidencias fue distinto para cada grupo.

Figura 5-5: Portafolio ejemplo para un grupo del Comité Periodístico.

The screenshot shows a Google Drive interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Búsqueda', 'Imágenes', 'Correo', 'Drive', 'Calendar', 'Sites', 'Contactos', 'Maps', 'Noticias', and 'Más'. Below this is the 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA' logo and a search bar. The main content area is titled 'Drive' and shows a folder named 'Periodistica > Grupo 1 "Panorama del Mercado de Herramientas Corte Especiales para Aplicaciones Específicas"'. The folder contains a list of items with columns for 'TÍTULO', 'PROPIETARIO', and 'ÚLTIMA MODIFICACIÓN'. The item 'Empresas Importadoras.docx' is highlighted in yellow.

TÍTULO	PROPIETARIO	ÚLTIMA MODIFICACIÓN
Artículo - Entrega III	Luis Felipe Rico Cortes	2 oct Luis Felipe Rico Cortes
Artículos	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Fresado	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Paginas en Internet	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Taladrado	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Torneado	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Video - Contexto	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Empresas Importadoras.docx	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Herramientas de Corte Especiales para Aplicaciones Específicas.docx	Sergio Andres Martin Martin	2 oct Sergio Andres Martin Martin
Korloy - Catalog 2007.pdf	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Maquinaria Madrid - S.A..pdf	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes
Proyecto PM-II - Entrega I.docx	Luis Felipe Rico Cortes	4 sep Luis Felipe Rico Cortes

Si bien el portafolio está asociado por lo general a procesos de creación artística, o al desempeño de profesionales en las áreas estéticas o gráficas, existen antecedentes suficientes de uso en el ámbito de los proyectos de ingeniería. De hecho, Tobón [36] impulsa el desarrollo de portafolios como mecanismos excepcionales para evaluar las competencias de los estudiantes, por la amplia variedad de evidencias que permite recoger. Por otra parte, en el ámbito local latinoamericano es posible encontrar trabajos como el llevado a cabo por Zambrano [119], aplicado a la formación de estudiantes de Ingeniería Electromecánica en la asignatura de Automatización y Robótica mediante portafolios. Así mismo, Rodríguez Turcios [120] propone en su tesis de grado para Ingeniería Mecánica toda una metodología para implementar portafolios en distintas etapas de la enseñanza – aprendizaje.

5.3 Otros procesos de evaluación

Además de las actividades del proyecto, es importante recordar que los estudiantes adelantaban clases magistrales de carácter teórico cada semana y que, adicionalmente, en el transcurso de la segunda mitad del semestre desarrollaron actividades prácticas en el Laboratorio de Máquinas Herramientas, orientadas al desarrollo de habilidades específicas en Manufactura asistida por computador (CAM, por sus siglas en inglés) En las siguientes secciones se describe la manera como fueron evaluados los estudiantes en dichos espacios.

5.3.1 Evaluación teórica mediante previas

Los talleres que los estudiantes debían realizar se sustituyeron por previas a presentar una vez finalizaba cada clase teórica. Esto se hizo con el propósito de evaluar con mayor rapidez al estudiante y verificar la comprensión de los conceptos fundamentales asociados a cada competencia.

5.3.2 Evaluación de las prácticas de laboratorio

Se mantuvieron las prácticas de laboratorio en sus lineamientos y esencia respecto de semestres anteriores, incluyendo la metodología de valoración empleada por el encargado, esto para limitar la intervención al ámbito del proyecto de curso; con ello, nuevamente se recoge evidencia de tipo cuantitativo que se puede contrastar con los resultados de la intervención.

5.4 Calificación total del curso

En este esquema, la evaluación del proyecto de curso tenía la mayor preponderancia y por ello se le asignó el máximo porcentaje (50%) de la nota numérica final, en virtud tanto de la mayor cantidad de tiempo que debían invertir los estudiantes como de la diversidad de productos que se podían obtener para medir el nivel de competencia, en tanto se disminuyeron los porcentajes de nota asignados a los talleres y previas (30%) y a las prácticas de laboratorio (20%), sin alterar el principio de recoger la mayor variedad de evidencias para juzgar la competencia del estudiante.

5.5 Evaluación cualitativa de habilidades comunicativas y de trabajo colaborativo.

De otra parte, a partir de una encuesta final, se indagó a los estudiantes por el efecto que tuvo el Proyecto de curso en el desarrollo de habilidades asociadas a la comunicación y al trabajo en equipo. Dicha encuesta consiste fundamentalmente de preguntas con escala de valoración tipo Likert, así como preguntas del tipo Sí / No, preguntas de selección de múltiples respuestas y una parte abierta para observaciones adicionales. Nuevamente, para la implementación se desarrolló un formulario en Google, disponible en el site del curso, del cual se muestra un extracto en la figura 5-6. Se estructuraron algunas preguntas específicas por cada rol, de manera que permitieran medir aspectos específicos del trabajo propio de cada comité, con el fin de diferenciar habilidades desarrolladas.

Figura 5-6: Formulario de hoja de datos en Google con encuesta final sobre el proyecto.

Encuesta magazín Fabricar (Comité Periodístico)

Agradecemos su participación en el proyecto Magazín Fabricar y en esta encuesta. El presente cuestionario tiene como propósito medir de forma cualitativa la incidencia que tuvo el proyecto en su formación.

Por favor, en donde corresponda conteste las preguntas teniendo en cuenta la siguiente clave de respuestas:

Frente a lo afirmado, usted estaría...

1. Totalmente en desacuerdo
2. En general no estoy de acuerdo
3. No estoy a favor ni en contra de lo afirmado
4. En general estoy de acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Tu nombre de usuario (jdorjuelam@unal.edu.co) quedará registrado al enviar este formulario. ¿No eres [jdorjuelam](#)? [Salir](#)

***Obligatorio**

★

Al desarrollar mi rol en el proyecto aprendí a crear productos que me permitieron comunicar efectivamente los resultados de mi investigación

1 2 3 4 5



6.Resultados y análisis asociados

Una vez diseñados y validados internamente los instrumentos para evaluar tanto los niveles de competencia como el grado de alcance de objetivos en el Proyecto de Curso propuesto, se procedieron a implementar dichos instrumentos en las siguientes etapas:

1. Aplicación de instrumento para medir el nivel de conocimientos relacionados con las competencias específicas definidas en el Marco Conceptual, al inicio y al final, para el grupo que hace parte del cuasi-experimento (denominado grupo experimental).
2. Aplicación de encuesta tipo Likert para autoevaluación de actitudes y habilidades asociadas a las competencias específicas mencionadas, nuevamente al inicio y al final, para el grupo experimental.
3. Implementación de la evaluación mediante rúbrica – matriz de desempeño a los grupos de estudiantes que participan del Proyecto de Curso.
4. Aplicación del instrumento de autoevaluación a un grupo control de estudiantes pertenecientes a semestres anteriores.

El presente apartado relaciona en primer lugar los resultados generales obtenidos en cada etapa, presentados principalmente a través de medidas de tendencia (medias) y dispersión (desviaciones estándar). Posteriormente, estará dedicado a efectuar los análisis estadísticos de comparación de medias a través de diferentes herramientas, que se describirán de manera general en cada sección.

6.1 Resultados obtenidos en el grupo experimental (estudiantes participantes del Proyecto de Curso)

Como grupo experimental se denomina a los estudiantes que hicieron parte del trabajo con el magazine durante el semestre II de 2012.

6.1.1 Pruebas al inicio del semestre

6.1.1.1 Conocimientos relativos a las competencias específicas

Esta prueba fue implementada en un solo horario a un grupo de 77 estudiantes, en un tiempo medio de 30 minutos, como una prueba escrita (Figura 6-1) en la cual los estudiantes seleccionaban las opciones de respuesta de acuerdo a una rejilla, la cual fue sometida al procesamiento de datos a través de Microsoft Excel® 2007.

Figura 6-1: Estudiantes del curso en prueba pre- de conocimientos.



Cada pregunta se evaluaba de 0.0 a 1.00 en general, con excepción de las preguntas de crédito parcial, cuyo puntaje mínimo es de 0,1. Una síntesis de los resultados alcanzados por los estudiantes se presenta en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Medias de resultados por competencia en la prueba pre- de conocimientos.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Promedio por pregunta	0,7	0,4	0,6	0,4	0,5	0,2	0,7	0,4	0,8	0,6	0,3	0,2	0,5	0,8	0,8	0,3	0,5	0,5	0,8	0,5
Promedio por competencia	0,54					0,53					0,45			0,38		0,79		0,44		0,64

Los resultados evidencian que en general, los estudiantes ingresan a la asignatura con conocimientos relativamente sólidos en Selección de insumos en condiciones específicas, Planeación de procesos y Selección de Herramientas de corte (resultados probablemente atribuibles al trabajo en asignaturas previas como “Tecnología Mecánica Básica”, en la que se enseñan Hojas de Proceso, denominadas también como Cartas Tecnológicas) y con aspectos por fortalecer en Selección de nuevas tecnologías en maquinado y Programación CAD – CAM. Adicionalmente, las preguntas que permitieron separar mejor a los estudiantes de alto desempeño de aquellos con bajo desempeño pertenecen, en su mayoría, a la competencia de Comprensión de procesos de maquinado; esto indicaría que la forma en que los estudiantes comprenden los conceptos básicos es el factor diferenciador, en vez de su grado de conocimiento en procedimientos o actitudes frente a los contextos en que aplican las enseñanzas, al menos en el ámbito de maquinado para el grupo de estudiantes analizado. La prueba en sí presenta, en función de estos resultados, un nivel de dificultad medio, así como una capacidad adecuada de discriminación en lo global.

6.1.1.2 Autopercepción de habilidades relativas a las competencias específicas

Esta prueba fue implementada en línea a través de un formulario vinculado al sitio del curso en Google, de manera que se instruyó a los estudiantes que ingresaran y valoraran su propio nivel en cada una de las competencias específicas, incluyendo la competencia comunicativa y de trabajo por proyectos. Los resultados se almacenaron automáticamente en una Hoja de Microsoft Excel® 2007 para su procesamiento. Una síntesis de las medidas de distribución para estos resultados se presenta en las Tablas 6-2 a 6-7, discriminadas por cada competencia y habilidad particular que fueron evaluadas.

Tabla 6-2: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Comprensión.

Medida	1.1 Sé en su mayoría cuáles son los procesos de fabricación que implican arranque de viruta.	1.2 Puedo calcular y relacionar los parámetros de corte de cualquier operación de maquinado.	1.3 Sé qué máquinas herramienta sirven para efectuar cualquier operación de maquinado.
PROMEDIO	3	2	3
DESV. ESTÁNDAR	0,90	0,88	0,76
PROM. COMPETENCIA	3		
DESV. EST. COMPET	0,96		

Tabla 6-3: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Selección de Insumos.

Medida	2.1 Reconozco los tipos de herramientas de corte que hay disponibles en el mercado industrial.	2.2 Sé cuáles son los ángulos que conforman la geometría de una herramienta de corte.	2.3 Reconozco los tipos de fluidos de corte que hay disponibles en el mercado industrial.	2.4 Sé qué función cumple el fluido de corte en el maquinado.	2.5 Puedo seleccionar la herramienta de corte apropiada para fabricar una pieza.	2.6 Puedo seleccionar el fluido de corte apropiado para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.
PROMEDIO	3	2	2	3	2	2
DESV. ESTÁNDAR	0,94	0,81	0,84	1,06	0,83	0,90
PROM. COMPETENCIA	2					
DESV. EST. COMPET	1,04					

Tabla 6-4: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Estimación Económica.

Medida	3.1 Puedo calcular el costo de llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	3.2 Puedo calcular el tiempo que toma llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	3.3 Puedo seleccionar los parámetros apropiados para lograr una fabricación económica.
PROMEDIO	2	2	2
DESV. ESTÁNDAR	0,90	1,00	0,89
PROM. COMPETENCIA	2		
DESV. EST. COMPET	0,93		

Tabla 6-5: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Selección de Nuevas Tecnologías.

Medida	4.1 Sé en su mayoría cuáles son los procesos no convencionales de fabricación por arranque de viruta.	4.2 Sé en su mayoría cuáles son las máquinas que permiten ejecutar procesos no convencionales de fabricación.	4.3 Puedo calcular los parámetros de operación para un proceso de fabricación no convencional, utilizando principios físicos.
PROMEDIO	2	2	2
DESV. ESTÁNDAR	0,98	0,88	0,86
PROM. COMPETENCIA	2		
DESV. EST. COMPET	0,92		

Tabla 6-6: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Competencia Planeación de Procesos.

Medida	5.1 Sé identificar qué secuencia de operaciones debe seguirse para fabricar cualquier pieza.	5.2 Puedo identificar todos los recursos necesarios para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	5.3 Puedo elaborar una carta tecnológica para fabricar cualquier pieza.
PROMEDIO	3	2	3
DESV. ESTÁNDAR	0,94	0,83	0,91
PROM. COMPETENCIA	3		
DESV. EST. COMPET	0,89		

Tabla 6-7: Promedios obtenidos en el instrumento pre- de autopercepción. Habilidad Selección de Herramientas y Competencia Comunicación.

Medida	6.1 Sé qué función cumplen los comandos del código ISO para programación CNC.	6.2 Puedo usar un programa de computador para fabricación.	6.3 Puedo programar con ayuda del computador la fabricación de cualquier pieza.	7.1 Puedo elaborar con todo detalle un anteproyecto que justifique resolver una situación de ingeniería.	7.2 Puedo exponer con detalle los resultados de mi proyecto.
PROMEDIO	2	2	2	3	3
DESV. ESTÁNDAR	0,79	0,99	0,82	0,96	0,92
PROM. COMPETENCIA	2			3	
DESV. EST. COMPET	0,90			0,96	

En este caso, el resultado global de las medias por pregunta y competencia evidencia que los estudiantes sienten un mejor nivel en las competencias de Comprensión de procesos de maquinado, Planeación de Procesos y Comunicativa. En esa línea, sólo se compara con lo obtenido en cuanto a conocimientos frente a la competencia de Planeación; es decir, que los estudiantes se sienten con un buen nivel en esta competencia y lo demuestran a su vez en las pruebas heterónomas.

6.1.2 Pruebas al final del semestre

6.1.2.1 Conocimientos relativos a las competencias específicas, prueba posterior al proyecto

Esta etapa fue llevada a cabo con 80 estudiantes, todos reunidos en el mismo salón y manteniendo el mismo horario y tiempo promedio de 30 minutos. Las figuras 6-2 a 6-3 muestran el desarrollo de este proceso en el auditorio donde se toman las clases de teoría.

Figura 6-2: Estudiante del curso tomando la prueba post- de conocimientos.



Figura 6-3: Estudiantes del curso en prueba post- de conocimientos.



En concordancia con la información presentada de antemano, la tabla 6-8 sintetiza los resultados:

Tabla 6-8: Medias de resultados por competencia en la prueba post- de conocimientos.

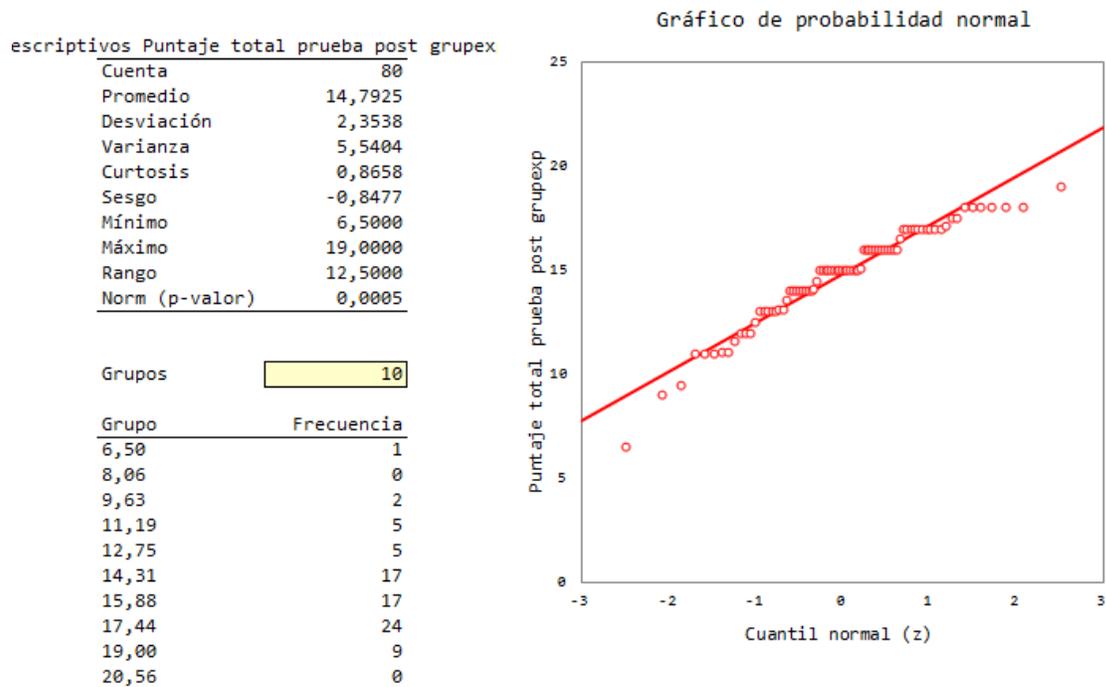
<i>Pregunta</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<i>Promedio</i>	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	0,3	0,5	0,9	0,9	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	
<i>Promedio por competencia</i>	0,7					0,8					0,7			0,4			0,9			0,8	

Se observa en este caso que los estudiantes incrementaron su desempeño en casi todas las competencias, con la excepción de Selección e Implementación de tecnologías; este último resultado pudiera ser explicado en virtud de que, por circunstancias de anormalidad académica ocurridas al finalizar el semestre de implementación, no fue posible desarrollar a profundidad el contenido teórico correspondiente a dicha competencia

Por otra parte, se efectuó un nuevo análisis para verificar la normalidad en la distribución de los puntajes totales; las figuras 6-4 y 6-5 muestran los resultados obtenidos a este respecto utilizando nuevamente el análisis a través de la prueba chi-cuadrado. Como se observa, para este caso el valor-p obtenido es bastante menor al punto crítico de 0.05,

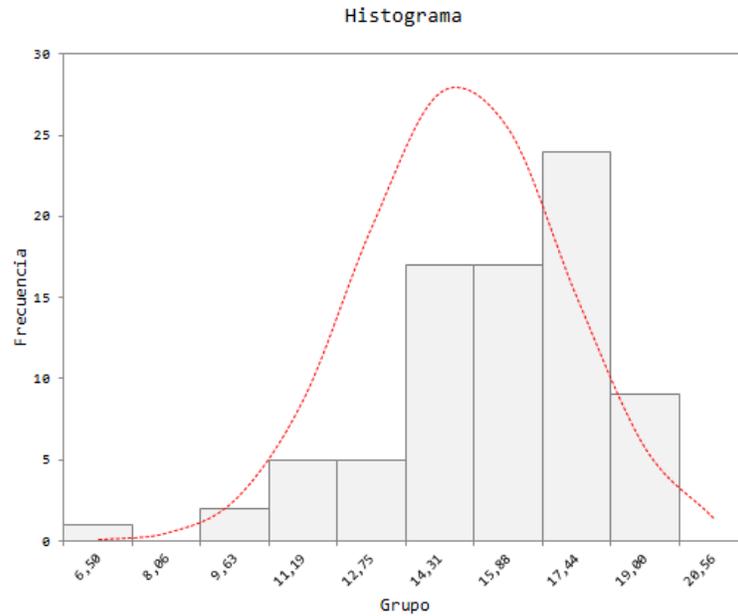
razón por la cual debe ser rechazada la suposición de normalidad; un análisis específico muestra que esta condición pudiera atribuirse a la presencia de tres datos de desempeño comparativamente muy bajos con relación incluso a la media del grupo. Este resultado, a su vez, implica que para comparar si la diferencia entre las medias de desempeño es estadísticamente significativa, es necesario recurrir a pruebas no paramétricas como la prueba de Wilcoxon o de Friedman¹⁷, no siendo posible realizar la comparación clásica mediante t de Student, esto con base en lo que indica la literatura sobre estadística inferencial –por ejemplo, [121] y [122]-, pues adicionalmente los resultados se midieron en muestras dependientes y las distribuciones no se comportan ambas de manera normal: la correspondiente a la prueba inicial sí lo hace (ver sección 5.1.1.1), mientras que la resultante de la prueba final no lo hace.

Figura 6-4: Estadísticos descriptivos y comparación con cuantil normal para la distribución de puntajes en la prueba post-.



¹⁷ http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap6-5.htm

Figura 6-5: Histograma de distribución de puntajes en prueba post- de conocimientos.



6.1.2.2 Autopercepción de habilidades relativas a las competencias específicas, prueba posterior al proyecto

A continuación, en las tablas 6-9 a 6-14 se muestran los resultados obtenidos por 78 personas en la prueba (la mayor cantidad respecto al total de estudiantes del curso, dado que algunos estudiantes no contestaron dicha prueba). En general, se observa un incremento en la percepción al final respecto a la toma inicial (sección 6.1.1.2)

Tabla 6-9: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Comprensión.

Medida	1.1 Sé en su mayoría cuáles son los procesos de fabricación que implican arranque de viruta.	1.2 Puedo calcular y relacionar los parámetros de corte de cualquier operación de maquinado.	1.3 Sé qué máquinas herramienta sirven para efectuar cualquier operación de maquinado.
PROMEDIO	4	4	4
DESV. ESTÁNDAR	0,584	0,639	0,738
PROM. COMPETENCIA	4		
DESV. EST. COMPET	0,683		

Tabla 6-10: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Selección de Insumos.

Medida	2.1 Reconozco los tipos de herramientas de corte que hay disponibles en el mercado industrial.	2.2 Sé cuáles son los ángulos que conforman la geometría de una herramienta de corte.	2.3 Reconozco los tipos de fluidos de corte que hay disponibles en el mercado industrial.	2.4 Sé qué función cumple el fluido de corte en el maquinado.	2.5 Puedo seleccionar la herramienta de corte apropiada para fabricar una pieza.	2.6 Puedo seleccionar el fluido de corte apropiado para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.
PROMEDIO	4	4	3	4	4	3
DESV. ESTÁNDAR	0,656	0,768	0,849	0,597	0,636	0,891
PROM. COMPETENCIA	4					
DESV. EST. COMPET	0,878					

Tabla 6-11: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Estimación Económica.

Medida	3.1 Puedo calcular el costo de llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	3.2 Puedo calcular el tiempo que toma llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	3.3 Puedo seleccionar los parámetros apropiados para lograr una fabricación económica.
PROMEDIO	3	4	4
DESV. ESTÁNDAR	0,805	0,805	0,686
PROM. COMPETENCIA	4		
DESV. EST. COMPET	0,788		

Tabla 6-12: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Selección de Nuevas Tecnologías.

Medida	4.1 Sé en su mayoría cuáles son los procesos no convencionales de fabricación por arranque de viruta.	4.2 Sé en su mayoría cuáles son las máquinas que permiten ejecutar procesos no convencionales de fabricación.	4.3 Puedo calcular los parámetros de operación para un proceso de fabricación no convencional, utilizando principios físicos.
PROMEDIO	4	4	3
DESV. ESTÁNDAR	0,952	0,896	0,980
PROM. COMPETENCIA	4		
DESV. EST. COMPET	0,999		

Tabla 6-13: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Competencia Planeación de Procesos.

Medida	5.1 Sé identificar qué secuencia de operaciones debe seguirse para fabricar cualquier pieza.	5.2 Puedo identificar todos los recursos necesarios para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	5.3 Puedo elaborar una carta tecnológica para fabricar cualquier pieza.
PROMEDIO	4	4	4
DESV. ESTÁNDAR	0,677	0,729	0,779
PROM. COMPETENCIA	4		
DESV. EST. COMPET	0,770		

Tabla 6-14: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo experimental. Habilidad Selección de Herramientas y Competencia Comunicativa.

Medida	6.1 Sé qué función cumplen los comandos del código ISO para programación CNC.	6.2 Puedo usar un programa de computador para fabricación.	6.3 Puedo programar con ayuda del computador la fabricación de cualquier pieza.	7.1 Puedo elaborar con todo detalle un anteproyecto que justifique resolver una situación de ingeniería.	7.2 Puedo exponer con detalle los resultados de mi proyecto.
PROMEDIO	4	4	4	4	4
DESV. ESTÁNDAR	0,927	0,719	0,917	0,626	0,616
PROM. COMPETENCIA	4			4	
DESV. EST. COMPET	0,870			0,661	

6.1.3 Implementación del proyecto de curso.

En la implementación del proyecto de curso, las variables más generales de desempeño que se midieron con los estudiantes fueron:

- **Calidad del producto:** Definido por los indicadores que evidencian que lo entregable corresponde a las características esperadas.
- **Contacto con empresas:** Definido por evidencias que sustentan búsqueda de información panorámica, establecimiento de contacto inicial y formal y recolección concreta de información en empresas que apliquen los temas en los cuales se enmarca su rol, bien sea como periodistas, como editores o como parte de la publicación y divulgación del magazín.

Cada variable se especifica en indicadores particulares de acuerdo al rol en mención, al producto asignado al rol y a la etapa en la que se encuentra el proyecto. Dichos indicadores, observados en conjunto, constituyen una rúbrica mediante la cual hay

evidencia tanto cuantitativa como cualitativa del desempeño en el proyecto. Un ejemplo de la aplicación de rúbrica para uno de los grupos se indica en las tablas 6-15 y 6-16:

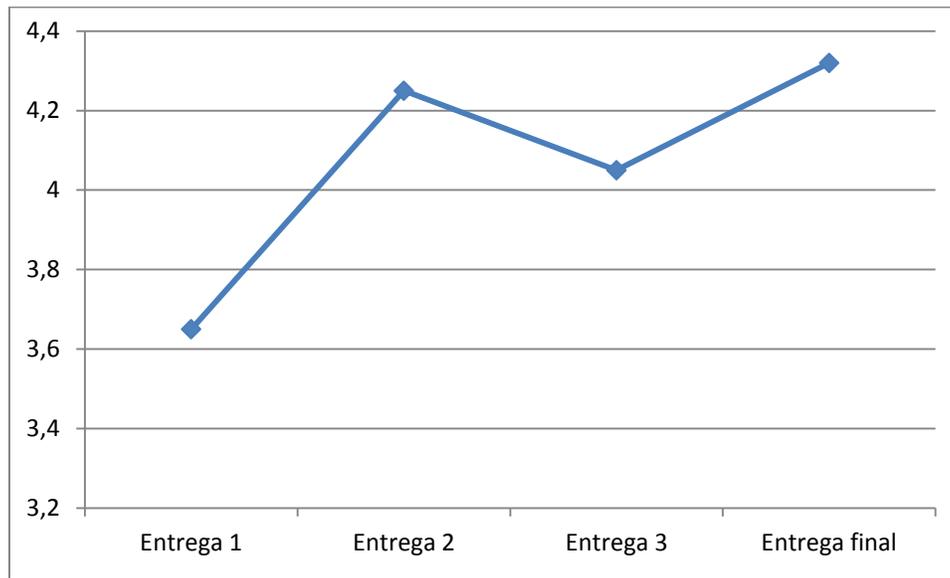
Tabla 6-15: Ejemplo de rúbrica diligenciada para un grupo del Comité Periodístico.

ENTREGA 2					
Grupo: Sebastián - David - Samuel	Contenidos del curso asociados: Nuevas tecnologías				
Fecha evaluación: Semana 6 – 7					
Competencias a evaluar: Comunicación -					
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
El estado del arte se refiere adecuadamente a los contenidos y trabajos en el área del artículo.			X		
Las referencias bibliográficas son suficientes y pertinentes.					X
Hay evidencia de información recolectada con empresas e instituciones.			X		
Avance		X			
NOTA	3,7				

Tabla 6-16: Ejemplo de observaciones hechas a la entrega de un grupo del Comité Periodístico.

OBSERVACIONES	
Entrega de artículos oportuna	Entrega de documentos no oportuna
Hicieron una presentación aparte que no estaba en la entrega de la carpeta, varios detalles con la citación deben mejorar.	
Referencias bastante actualizadas y reflejan tendencias de punta	
Retrosceso en términos de tardanza en procesamiento de info para estado del arte; para la fecha de entrega en la carpeta colgaron artículos solamente	

Un registro en el tiempo de la valoración por cada nivel de la variable de nota total, en cada etapa de entrega, para la investigación de caso único, arroja el resultado descrito en la figura 6-6, medido en promedio por cada entrega.

Figura 6-6: Valoración del portafolio en cada entrega – Resultados promedio.

Se observa que hay una fluctuación notable en la medida del desempeño general de los estudiantes a medida que transcurren las etapas del proyecto. Los resultados más altos se encontraron en principio para la segunda entrega, momento en el cual los estudiantes habían adquirido una conciencia propia mayor sobre la calidad esperada en los respectivos productos; así mismo, para ese momento era imprescindible haber entrado en contacto directo con las empresas, y esto favoreció la entrega de resultados con mayor nivel de significatividad. Posteriormente, se fortalecieron al final, luego de que en la tercera entrega se evidenciara una reducción en el desempeño, asociada sobre todo a la calidad de las primeras versiones de los artículos en el Comité Periodístico. Adicionalmente, varios de los grupos que arrancaron con desempeños por debajo de lo esperado aplicaron las sugerencias hechas en los espacios de retroalimentación para reforzar y complementar los productos.

6.1.3.1 Productos tangibles de la implementación: Magazín Fabricar en la web

Al llegar a la tercera entrega, como se recuerda, se solicitaba al Comité de Publicación que tuviera una versión beta funcional de la página web destinada a alojar el magazín. El sitio diseñado por los estudiantes de dicho comité se encuentra en la dirección <http://fabricar.16mb.com>. En la figura 6-7, se indica el resultado logrado como página de inicio. En ella, se aprecian las partes principales del magazín, y se observa que es posible

para cualquier usuario registrarse para recibir el magazín vía e-mail y acceder a funcionalidades como ver y hacer comentarios, participar del foro y descargar los artículos.

Figura 6-7: Página de inicio – Magazín Fabricar.



En la figura 6-8 se muestra uno de los artículos finales publicados por los estudiantes. En ella se aprecia igualmente, de manera parcial, el formato de presentación que fue finalmente diseñado por el Comité Editorial, luego de dos versiones previas de las que se vio la necesidad de efectuar cambios por sugerencia de los propios compañeros de curso pertenecientes a los demás comités. Este último formato pretende captar la atención a través de un aspecto gráfico llamativo, pero, que se corresponda a su vez con el diseño de la página web.

Figura 6-8: Ejemplo de artículo publicado en el Magazín Fabricar.

The screenshot shows the website 'FABRICAR' with the tagline 'El sitio de la fabricación en Colombia'. The navigation menu includes 'Inicio', 'Zonas', 'Magazine', and 'Foro'. The article title is 'Panorama del mercado de herramientas de corte especiales para aplicaciones específicas'. Below the title, there is a user rating of 4 stars out of 5, with a 'Valoración' button. The article is categorized as 'Panorama del mercado de herramientas de corte especiales' and was published on October 8, 2012, at 17:55. The author is David Alejandro Hernández C. and the article has 55 visits. The article content includes the title 'Panorama del Mercado de Herramientas de Corte Especiales para Aplicaciones Específicas' and a short paragraph: 'Las herramientas de corte especiales facilitan los procesos de maquinado para condiciones de trabajo extremas, y brindan solución a varios problemas involucrados con procesos generales de maquinado.' There are also small images of cutting tools.

De otra parte, en la figura 6-9 se muestra el mecanismo de coevaluación implementado en la página a través de los comentarios que los estudiantes y otros usuarios registrados hicieron, y en la figura 6-10 se muestra a uno de los estudiantes accediendo a la plataforma para efectuar el proceso de evaluación. Mediante este mecanismo los docentes y los integrantes del Comité Editorial pudieron emitir su concepto crítico sobre los artículos, destacar las fortalezas y señalar los aspectos a mejorar a partir de la tercera entrega; dichas observaciones se convirtieron en insumos para los grupos del Comité Periodístico con miras a la elaboración de la versión definitiva de cada artículo. Así mismo, se implementó un sistema de calificación numérica para cada artículo, en escala de 1 a 5, donde 1 es malo y 5 bueno; el promedio de calificación obtenido se representa en la parte superior del artículo en una escala gráfica de cinco estrellas.

Figura 6-9: Comentarios hechos a un artículo en particular dentro de la página web del magazín.

Comentarios  

1 2

#17 **Corin Sanchez**  16-11-2012 17:30   0
 tienen una muy buena introducción del artículo, ya que cautiva al lector sobre lo que se va a hablar, que hablen sobre cifras es muy importante ya que con estas reflejan la realidad e involucran al lector en esto. La primera gráfica podría ser mas pequeña para hacer aprovechamiento del espacio. EL análisis que realizaron en las encuestas que aplicaron, evidencia el conocimiento y la investigación en este campo. Los felicito pues tienen un muy buen artículo, les recomendaría, revisar el formato, pues no le cambiaron el encabezado de pagina, y en la pagina 8 el pie de pagina de la figura 14 e paso a la siguiente pagina y la figura 15 no aparece.
 Citar

#16 **Juan Sebastián Barrera**  15-11-2012 12:44   0
 La información presentada es bastante buena, habría que corregir cosas propias de la presentación, como los títulos de las figuras que quedan separados de las imágenes, y quitar las palabras clave. Me parece bastante interesante el análisis de la encuesta a consumidores realizada
 Citar

#15 **damvargasco**  14-11-2012 20:10   0
 El tema esta muy bien abordado pero a mi parecer veo el articulo un poco desordenado y no es muy llamativo, pero pues son errorsitos minimos porque el desarrollo esta muy bien
 Citar

#14 **santiago**  12-11-2012 19:44   0
 Gracias por la retroalimentación a los lectores. Los errores han sido corregidos por parte del equipo de trabajo y esperamos que esta versión sea del agrado de todos
 Citar

#13 **ksgordillot**  05-11-2012 18:45   0
 la información es pertinente, buen trabajo de investigación, algunos problemas de redacción, darle mas fluidez al estudio de mercado y al análisis de las tablas y gráficas en todo el articulo
 Citar

#12 **jemunozca**  03-11-2012 18:24   0
 Buen articulo, plantea información importante para quien desea conocer a fondo este tema. Hay bastante información pero es necesario reducir la extensión del articulo para no hacerlo aburrido para el lector.
 Citar

#11 **Fredy Humberto Leon Carlos**  03-11-2012 16:44   0
 Los primeros items del artículo poseen información que podría ser reducida para hacer el articulo más ameno, ya que el fuerte del articulo se encuentra en el análisis del mercado local.
 Citar

#10 **Javier Andrés Amaya Moreno**  29-10-2012 20:44   +1
 Muy bien explicadas las funciones de los fluidos de corte, pero se debe incluir una contextualización de los fluidos de corte. Revisar ortografía y redacción y hacer menos extenso el artículo. En general un buen articulo, coherente y completo pero demasiado extenso.
 Citar

Figura 6-10: Estudiante en proceso de coevaluación de sus compañeros de clase.



6.2 Resultados obtenidos en el grupo control (estudiantes de semestres anteriores)

En este apartado es importante reconocer que el grupo control tiene un significado diferente de acuerdo a cada prueba: en cuanto a los conocimientos relativos, corresponde al grupo de estudiantes que tomaron la asignatura en el semestre I de 2012, de los cuales hay evidencia en cuanto a las notas de talleres y parciales que evaluaban sus conocimientos en contenidos relacionados con las competencias, mientras que en cuanto a la percepción propia, resultó de una muestra no aleatoria, no seleccionada por medios estadísticos, sino recogida de manera voluntaria a través de convocatoria hecha por correo electrónico.

6.2.1 Autopercepción de habilidades relativas a las competencias específicas, prueba posterior

Este apartado (Tablas 6-17 a 6-22) detalla las respuestas que dieron los ex-estudiantes que presentaron la prueba como voluntarios (40 personas en total) mediante formulario de hoja de datos en Google; dichas respuestas se muestran de nuevo separadas por competencias y habilidades particulares.

Tabla 6-17: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Competencia Comprensión.

Medida	1.1 Sé en su mayoría cuáles son los procesos de fabricación que implican arranque de viruta.	1.2 Puedo calcular y relacionar los parámetros de corte de cualquier operación de maquinado.	1.3 Sé qué máquinas herramienta sirven para efectuar cualquier operación de maquinado.
PROMEDIO	4	3	4
DESV. ESTÁNDAR	0,88	1,01	0,92
PROM. COMPETENCIA	4		
DESV. EST. COMPET	0,99		

Tabla 6-18: Promedios obtenidos en el instrumento post- de auto percepción para grupo control. Competencia Selección de Insumos.

Medida	2.1 Reconozco los tipos de herramientas de corte que hay disponibles en el mercado industrial.	2.2 Sé cuáles son los ángulos que conforman la geometría de una herramienta de corte.	2.3 Reconozco los tipos de fluidos de corte que hay disponibles en el mercado industrial.	2.4 Sé qué función cumple el fluido de corte en el maquinado.	2.5 Puedo seleccionar la herramienta de corte apropiada para fabricar una pieza.	2.6 Puedo seleccionar el fluido de corte apropiado para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.
PROMEDIO	4	3	3	4	4	3
DESV. ESTÁNDAR	1,00	1,02	1,16	0,78	1,08	1,09
PROM. COMPETENCIA	3					
DESV. EST. COMPET	1,13					

Tabla 6-19: Promedios obtenidos en el instrumento post- de auto percepción para grupo control. Competencia Estimación Económica.

Medida	3.1 Puedo calcular el costo de llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	3.2 Puedo calcular el tiempo que toma llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	3.3 Puedo seleccionar los parámetros apropiados para lograr una fabricación económica.
PROMEDIO	2	3	3
DESV. ESTÁNDAR	1,05	1,12	1,01
PROM. COMPETENCIA	3		
DESV. EST. COMPET	1,09		

Tabla 6-20: Promedios obtenidos en el instrumento post- de auto percepción para grupo control. Competencia Selección de Nuevas Tecnologías.

Medida	4.1 Sé en su mayoría cuáles son los procesos no convencionales de fabricación por arranque de viruta.	4.2 Sé en su mayoría cuáles son las máquinas que permiten ejecutar procesos no convencionales de fabricación.	4.3 Puedo calcular los parámetros de operación para un proceso de fabricación no convencional, utilizando principios físicos.
PROMEDIO	3	3	3
DESV. ESTÁNDAR	1,02	1,04	1,14
PROM. COMPETENCIA	3		
DESV. EST. COMPET	1,07		

Tabla 6-21: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Competencia Planeación de Procesos.

Medida	5.1 Sé identificar qué secuencia de operaciones debe seguirse para fabricar cualquier pieza.	5.2 Puedo identificar todos los recursos necesarios para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.	5.3 Puedo elaborar una carta tecnológica para fabricar cualquier pieza.
PROMEDIO	4	4	4
DESV. ESTÁNDAR	1,01	0,99	1,20
PROM. COMPETENCIA	4		
DESV. EST. COMPET	1,07		

Tabla 6-22: Promedios obtenidos en el instrumento post- de autopercepción para grupo control. Habilidad Selección de Herramientas y Competencia Comunicativa.

Medida	6.1 Sé qué función cumplen los comandos del código ISO para programación CNC.	6.2 Puedo usar un programa de computador para fabricación.	6.3 Puedo programar con ayuda del computador la fabricación de cualquier pieza.	7.1 Puedo elaborar con todo detalle un anteproyecto que justifique resolver una situación de ingeniería.	7.2 Puedo exponer con detalle los resultados de mi proyecto.
PROMEDIO	3	4	4	4	4
DESV. ESTÁNDAR	1,21	1,05	1,07	0,98	0,98
PROM. COMPETENCIA	4			4	
DESV. EST. COMPET	1,13			0,98	

6.3 Estudio de resultados cualitativos sobre el desarrollo de habilidades comunicativas y de trabajo colaborativo

Esta sección describe, con medidas porcentuales de tendencia, los resultados de las encuestas hechas al final del proceso, para ofrecer un análisis predominantemente cualitativo del proyecto a partir de las opiniones emitidas por los participantes. Esto permite que se cubran no sólo los aspectos de heteroevaluación de forma cuantitativa, sino que también haya la posibilidad de que los estudiantes se autoevalúen y, a su vez, evalúen todo el proceso.

La encuesta aplicada al final del proyecto con la muestra de 78 estudiantes que participaron en todos los comités (solamente 6 estudiantes no diligenciaron este instrumento) arrojó los siguientes resultados para las cuestiones de nivel más general:

- a. La mayoría de los estudiantes (más del 75%) expresaron estar de acuerdo, en menor o mayor medida, con la afirmación de que a través del proyecto aprendieron a crear productos para comunicar los resultados de sus investigaciones (Figura 6-11).

Figura 6-11: Grado de acuerdo con: “Al desarrollar mi rol, aprendí a crear productos que me permitieron comunicar efectivamente los resultados de mi investigación”.



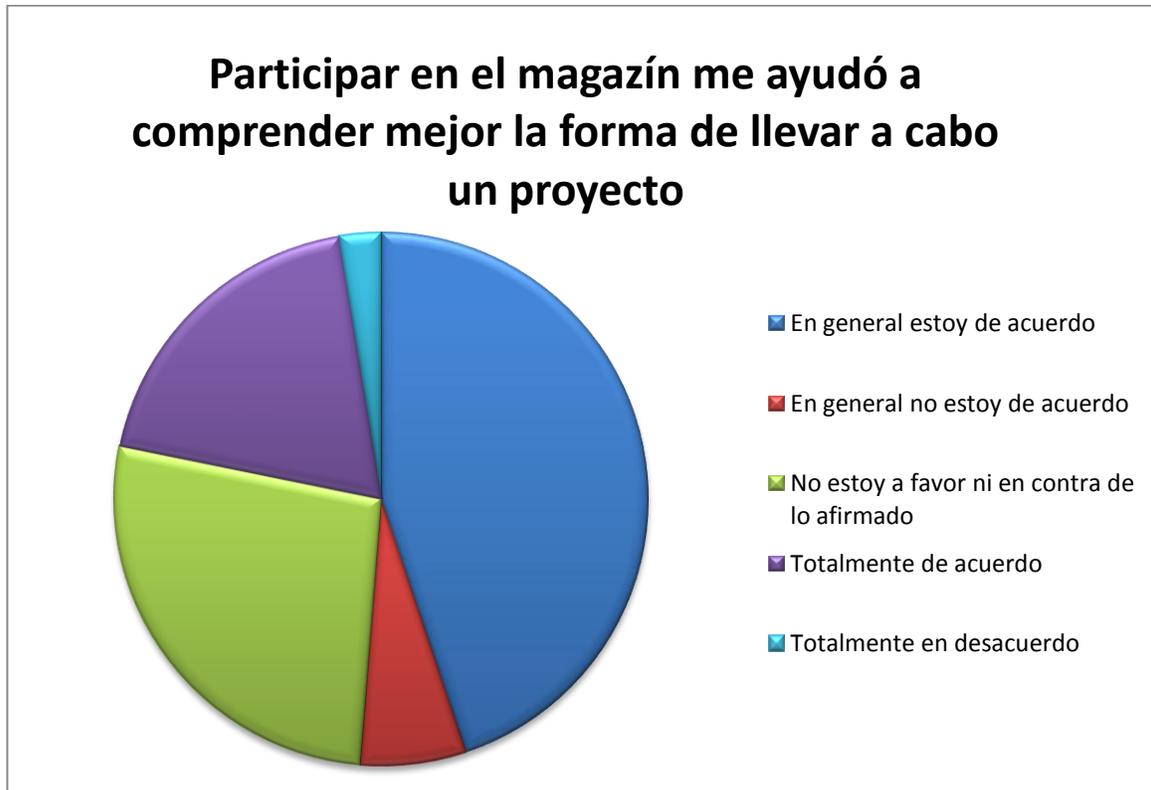
- b. Una importante proporción de los estudiantes (más del 70%) expresaron estar de acuerdo, en alguna medida, con la afirmación de que la participación en este tipo de proyecto les ayudó a usar habilidades que normalmente no emplean (Figura 6-12).

Figura 6-12: Grado de acuerdo con: “Participar en el magazín me ayudó a explorar actividades que normalmente no uso en mis estudios”.



- c. Cerca del 60% de los estudiantes indican estar de acuerdo, en alguna medida, con la afirmación de que participar en el magazín les ayudó a la comprensión de la forma en que se lleva a cabo un proyecto; no obstante, una cantidad importante de estudiantes (alrededor del 30%) no manifiesta ningún grado de apoyo a dicha afirmación (Figura 6-13).

Figura 6-13: Grado de acuerdo con: “Participar en el magazín me ayudó a comprender mejor la forma de llevar a cabo un proyecto”.



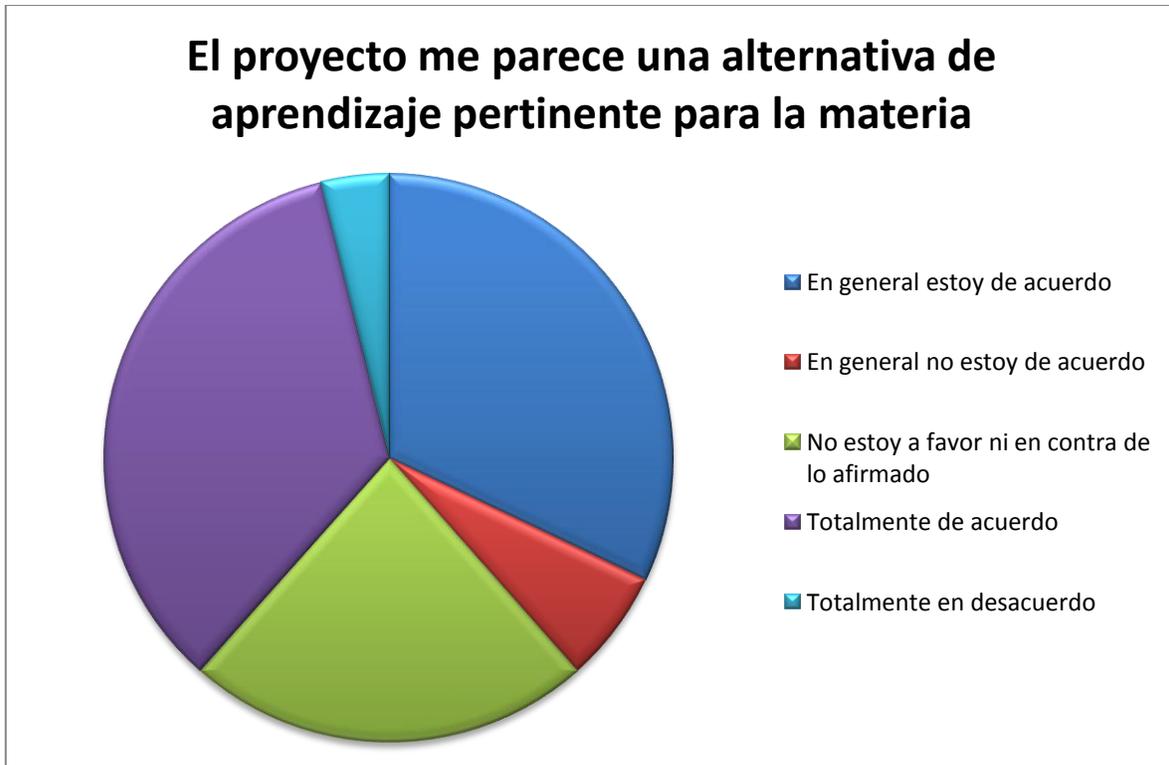
- d. Un poco más del 75% de los estudiantes expresaron algún grado de acuerdo, con la afirmación de que a través del magazín aprendieron a crear productos de mejor calidad para responder a los lineamientos de un proyecto (Figura 6-14).

Figura 6-14: Grado de acuerdo con: “He aprendido a elaborar mejores productos para responder a los lineamientos de un proyecto”.



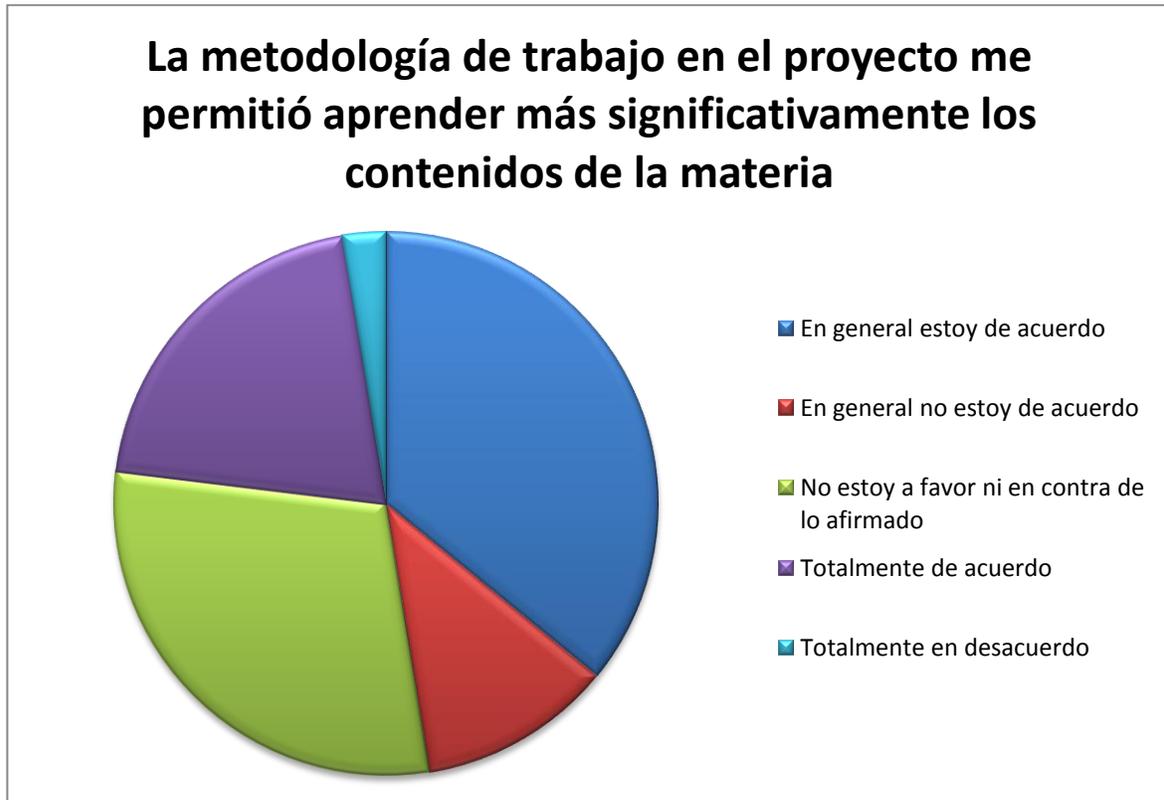
- e. Cerca del 65% de los estudiantes expresaron estar de acuerdo, en cierto punto, con la afirmación de que el proyecto es una alternativa pertinente de aprendizaje para la asignatura, aunque casi un 25% de los estudiantes no indicaron ningún grado de acuerdo o desacuerdo con dicha afirmación (Figura 6-15).

Figura 6-15: Grado de acuerdo con: “El proyecto me parece una alternativa de aprendizaje pertinente para la materia”.

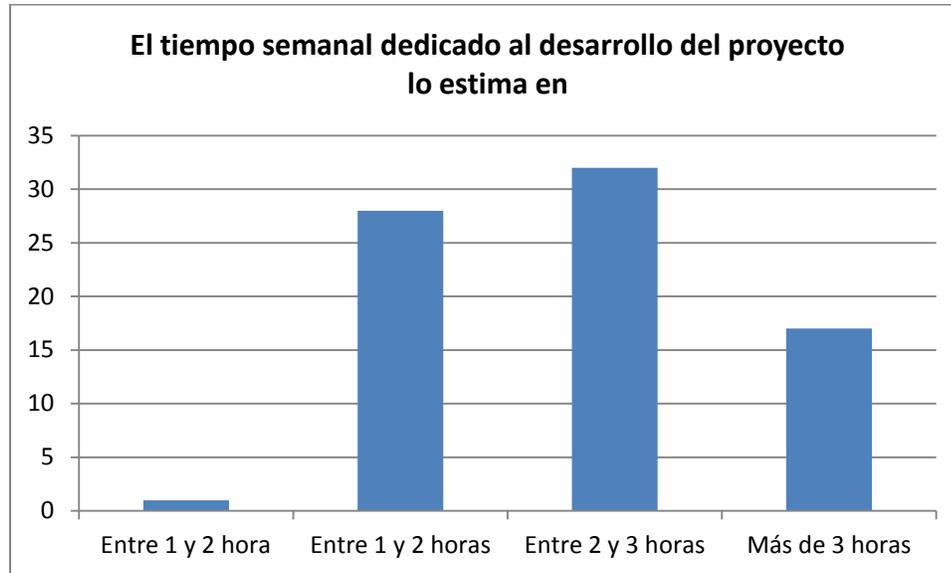


- f. Casi el 60% de los estudiantes expresaron estar de acuerdo, en menor o mayor medida, con la afirmación de que la metodología de trabajo por proyecto facilitó un aprendizaje significativo de los contenidos asociados a la materia, pero igualmente más del 25% de los estudiantes no manifestaron grado de acuerdo con dicha afirmación (Figura 6-16).

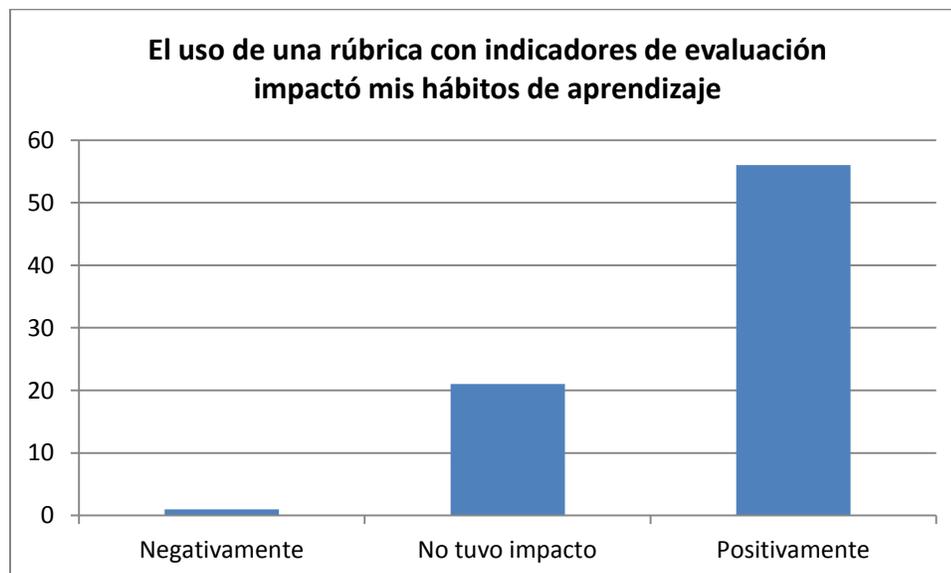
Figura 6-16: Grado de acuerdo con: “La metodología del proyecto me permitió aprender más significativamente los contenidos de la materia”.



g. Respecto al tiempo semanal destinado para desarrollar el proyecto, los estudiantes estiman en su mayoría que les tomó entre 1 y 3 horas (Figura 6-17).

Figura 6-17: Respuestas a: “El tiempo dedicado al desarrollo del proyecto lo estima en”.

- h. Los estudiantes consideran en su mayoría que el uso de una rúbrica como instrumento de evaluación afectó de manera positiva sus hábitos de aprendizaje (Figura 6-18).

Figura 6-18: Respuestas a: “El uso de una rúbrica con indicadores de evaluación impactó mis hábitos de aprendizaje”.

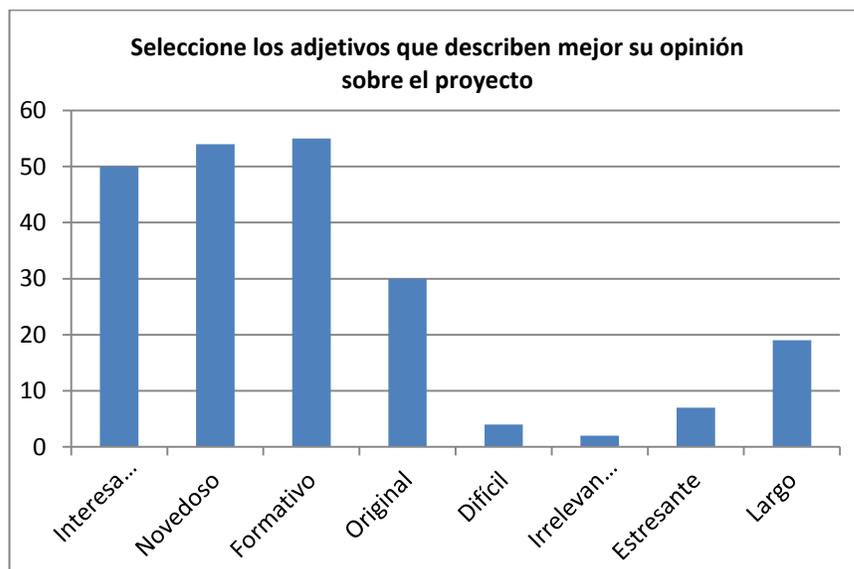
- i. Una amplia mayoría (aproximadamente el 70%) de los estudiantes recomiendan continuar con este tipo de proyectos en la asignatura (Figura 6-19).

Figura 6-19: Respuestas a: “¿Recomendaría continuar desarrollando este tipo de proyectos para la materia?”.



- j. Cuando se indagó a los estudiantes por los adjetivos que describieran con mayor propiedad su opinión sobre el proyecto, la mayoría contestaron que les parecía *interesante*, *novedoso* y *formativo*, si bien un cierto porcentaje lo consideró igualmente como *largo* (Figura 6-20).

Figura 6-20: Respuestas a: “Seleccione los adjetivos que describen mejor su opinión sobre el proyecto”.



6.4 Comparación de resultados

Mediante un estudio descriptivo y correlacional se pretende contrastar los resultados al inicio y al final del proyecto, además de los obtenidos por el grupo control y el grupo experimental. Se hace énfasis en los resultados dentro del grupo que participó en la intervención, ya que de él, fue posible obtener la mayor cantidad de datos e información de carácter estadístico. Así mismo, cabe indicar que por las características del diseño cuasi-experimental no es posible hacer una inferencia completa de tipo causal, sino que se espera hallar indicios que conduzcan a análisis preliminares teniendo en cuenta, de otra parte, que este tipo de estudio es pionero en la investigación a nivel del programa de Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

6.4.1 Comparación dentro del grupo experimental (inicio – final)

La figura 6-21 muestra las diferencias en la distribución de los resultados en el puntaje total obtenido por los estudiantes en la prueba de conocimientos asociados a las competencias. Los diagramas de caja que se muestran fueron logrados a través de un aplicativo particular en Microsoft Excel® 2007. La línea en negro que aparece dentro de la caja es la mediana, mientras que el pequeño cuadrado indica la posición de la media.

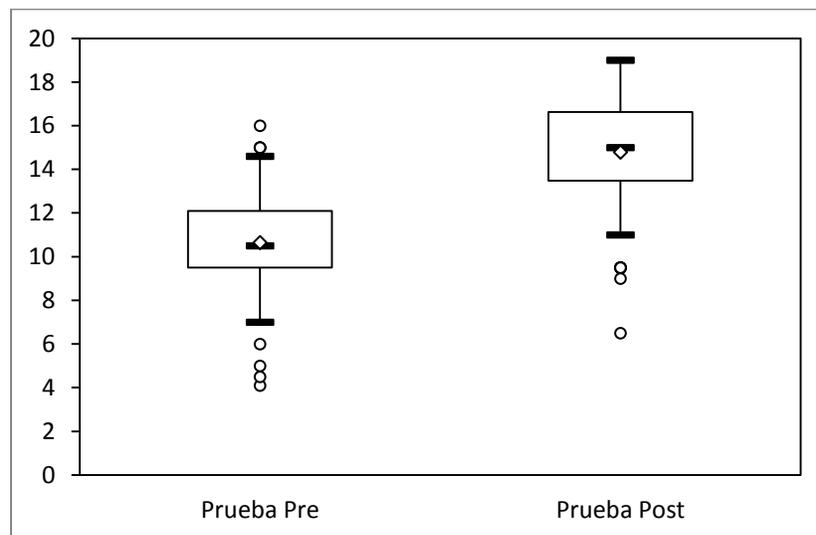
Evidentemente hay una diferencia global marcada en la media de desempeño posterior a la intervención con respecto al resultado que obtuvieron al ingresar al curso: la media en la prueba pre- fue de 10,6 puntos, mientras que en la prueba post- alcanzó los 14,8 puntos (teniendo en cuenta que el máximo puntaje posible es de 20 puntos).

Para verificar que esta diferencia es estadísticamente significativa, se procede a efectuar una prueba inferencial de diferencia de medias, que debe hacerse para dos muestras relacionadas, pues ambas distribuciones de datos se tomaron sobre la misma población. De otra parte, como se recuerda de la sección 6.1.2.1, en la prueba post- en particular los resultados no se distribuyeron de manera normal, razón por la que es necesario hacer una prueba no paramétrica; por las características de las medidas, se optó por implementar la prueba de Wilcoxon de los rangos con signo –su tratamiento matemático e implementación se fundamenta en Field, sección 15.4 [123] o Hinton, capítulo 8 [116]-

para dos muestras que están relacionadas. Se seleccionó este test estadístico, puesto que:

- La prueba fue aplicada sobre la misma población, aun cuando algunos estudiantes (entre tres y cinco) no presentaron ambas pruebas. Esto implica que las muestras recolectadas están relacionadas entre sí, y no son independientes.
- A pesar de que la cantidad de datos es estadísticamente grande, no por ello se puede hacer que los datos adopten una distribución normal, menos aún cuando las pruebas de normalidad aplicadas indican lo contrario. El no cumplimiento de este supuesto excluye la aplicación de otras pruebas más conocidas.

Figura 6-21: Distribución de puntajes totales en pruebas pre- y post- de conocimientos asociados a las competencias.

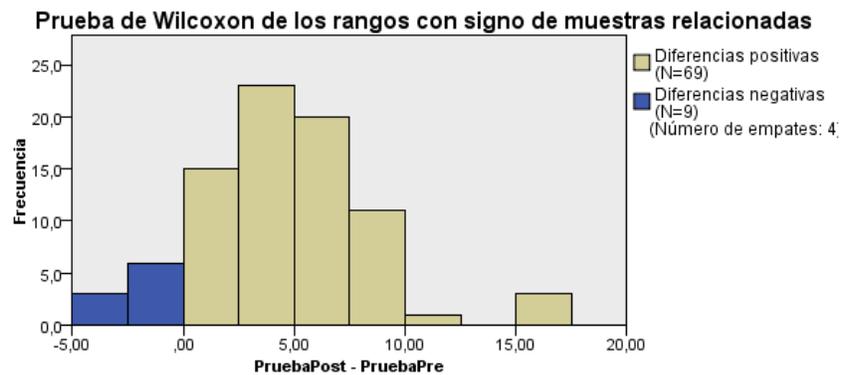


Esta prueba fue implementada en los computadores del Laboratorio de Psicometría, utilizando el software IBM SPSS Versión 20. Los resultados de la misma se indican en las figuras 6-22 y 6-23.

Cabe aclarar que el software SPSS maneja como valor de significancia (o valor alpha) 0,05 para las pruebas de hipótesis. De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la diferencia en los desempeños posteriores en relación con los previos a la intervención Proyecto de Clase son significativos para la población que se estudia, y de

esta manera, es posible pensar preliminarmente que dicha intervención y lo hecho en el curso generaron un cambio en el desempeño de los estudiantes. Para confirmar esto, es necesario efectuar análisis adicionales que se detallan en las secciones subsiguientes (Análisis de regresión).

Figura 6-22: Descripción de resultados al aplicar la prueba Wilcoxon para los puntajes en prueba pre- y post- de conocimientos.



N total	82
Probar estadística	2.927,500
Error típico	200,700
Estadística de prueba estandarizada	6,911
Sig. asintótica (prueba de dos caras)	,000

Figura 6-23: Validación prueba de hipótesis al aplicar la prueba Wilcoxon para los puntajes en prueba pre- y post- de conocimientos.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre PruebaPre y PruebaPost es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo de muestras relacionadas	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

6.4.2 Comparación entre los grupos de control y experimental (final – final)

Para esta etapa de análisis, se toma en primera instancia como medida directa la diferencia observada en la percepción de habilidades que se encuentra entre el grupo control de voluntarios y el grupo experimental en la fase post-. Como se observa en las secciones 6.1.2.2 y 6.2.1, existen diferencias igualmente marcadas entre ambos desempeños, lo cual es un indicio de influencia del proyecto, que deberá ser confirmado a través de otras técnicas.

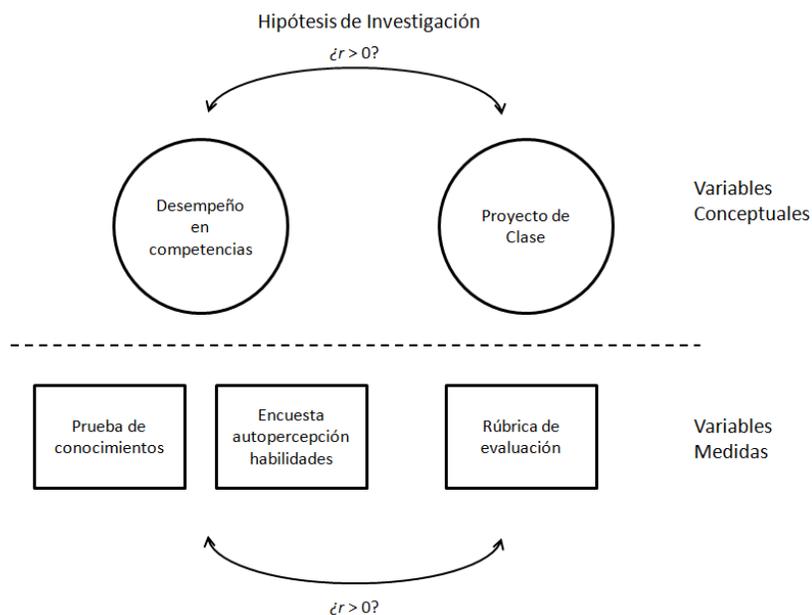
6.5 Análisis de la influencia de otras variables mediante regresión

Para complementar los resultados obtenidos previamente, dado que el arreglo cuasi-experimental implementado sólo permite analizar algunos datos dentro del grupo experimental, es necesario acudir a otras opciones para determinar si la diferencia encontrada en los resultados de desempeño es atribuible por completo a la intervención del proyecto o si hay influencia de otros factores. El objetivo es encontrar una medida de dicha influencia, y para ello autores como Stangor [124] expresan que a través del Coeficiente de Correlación r se puede verificar la relación que hay entre variables definidas como *conceptuales* (es decir, establecidas de manera abstracta), a través de los números que las representan, que se denominan *variables medidas*. Esta idea se puede aclarar gráficamente; en la Figura 6-24 se indica cómo aplicarla para dos de las variables de interés en este proyecto: el desempeño en competencias y la intervención Proyecto de Clase. Cook y Campbell, en su estudio sobre cuasi-experimentación [125], así como Huitema [126], describen varias técnicas para analizar la influencia de covariables aplicando diversas técnicas de regresión. En el caso de variables categóricas, también es posible encontrar trabajos como el de Devore [127], sobre Modelos de regresión múltiple con predictores. Igualmente, Freund y Wilson [128] describen métodos asociados.

El asunto estriba en la complejidad de medir y controlar otras variables que son posibles intervinientes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, más aún por el tipo de cuasi-experimento pre-post con grupo experimental. Para efectos de esta investigación, se

piensa -entre las múltiples posibilidades- que las variables que pueden ser directamente influyentes en el proceso son la participación de los estudiantes en las clases teóricas y en las prácticas de laboratorio, toda vez que son actividades en las cuales está implícito el desarrollo de elementos propios de las competencias ya definidas.

Figura 6-24: Variables Conceptuales y Medidas en el estudio de correlación. Adaptado de [124].



Ninguna de estas variables es fácil de ser cuantificada. En este sentido, se tomarán como referentes algunos modelos asociados a la evaluación del impacto [129]. La alternativa tomada para este caso es utilizar el registro de desempeño asociado a la comprensión de los conceptos y procedimientos básicos; para el efecto se toma la nota promedio que alcanzaron los estudiantes en las previas que se realizaron al finalizar cada clase teórica, así como en los correspondientes informes de laboratorio. Un primer análisis dentro del grupo experimental estará constituido por el arreglo de variables que plantea la Tabla 6-23. Aquí **X** denota la variable “Nota promedio en las clases teóricas”, mientras que **Y** representa el desempeño en competencias, cuyo valor se obtiene de aplicar la siguiente expresión:

$$Y = 0,5*(\text{Puntaje total normalizado Prueba de Conocimientos}) + 0,5*(\text{Puntaje total autoevaluación})$$

El puntaje total normalizado en la prueba de conocimientos se determina por lo siguiente: hay 23 preguntas en total en dicha autoevaluación, cada una de ellas que otorga puntaje en escala de 1 a 5. Por tanto, el puntaje mínimo total en ella es de 23 y el máximo posible es de 115, lo que da un rango de 92; entonces, por proporción directa se transforma el puntaje en la prueba de conocimiento (que va de 0 a 20) para que sea equiparable al puntaje arrojado por la autoevaluación.

Para asociar estas variables, se toma la convención de que un par ordenado (**X**, **Y**) le corresponde a cada estudiante.

Tabla 6-23: Promedios obtenidos en los componentes de desempeño en competencias y clases teóricas para una muestra del grupo experimental.

GRUPO EXPERIMENTAL	Clases teóricas	Competencias
Nombres y Apellidos	X	Y
Alberto Becerra Díaz	4,42	49
Alejandro González Moreno	4,11	51
Alirio Jiménez Franco	4,26	51,5

En esa misma línea, se tomará la variable **Z**, que indica la nota definitiva obtenida en el Proyecto de Clase, manteniendo **Y** como la variable asociada al desempeño en competencias. Nuevamente, en la Tabla 6-24 se plantea una muestra de algunos pares de datos de acuerdo con los estudiantes que participaron:

Tabla 6-24: Promedios obtenidos en los componentes de desempeño en competencias y Proyecto de Clase para una muestra del grupo experimental.

GRUPO EXPERIMENTAL	Proyecto de Clase	Competencias
Nombres y Apellidos	Z	Y
Alberto Becerra Díaz	4,1	49
Alejandro González Moreno	4,2	51
Alirio Jiménez Franco	4,3	51,5

Las figuras 6-25 y 6-26 muestran las nubes de puntos que indican la distribución de datos correspondientes a las variables anteriores. Se empleó nuevamente en este análisis Microsoft Excel® 2007.

Figura 6-25: Distribución para el análisis de correlación entre la variable de Proyecto de Clase y el desempeño en conocimientos asociados a las competencias.

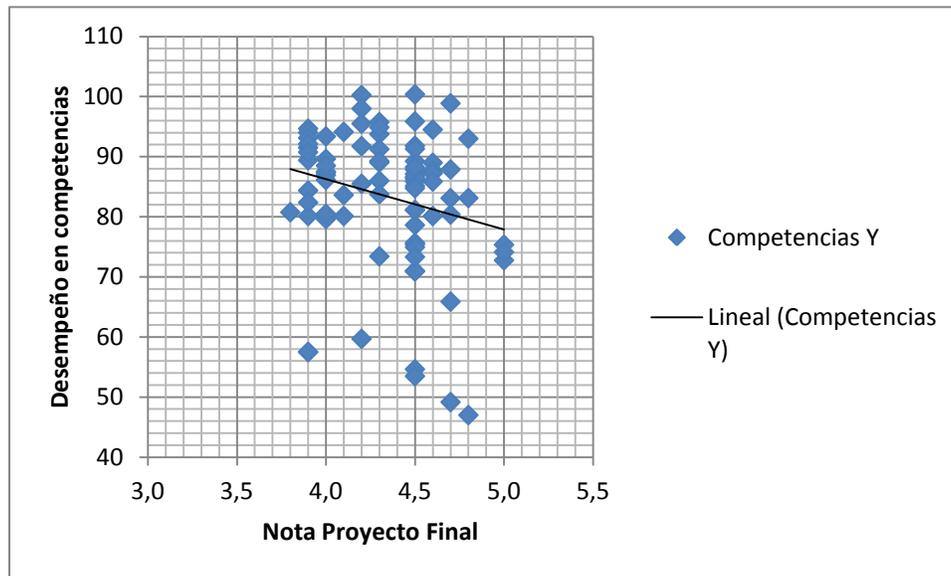
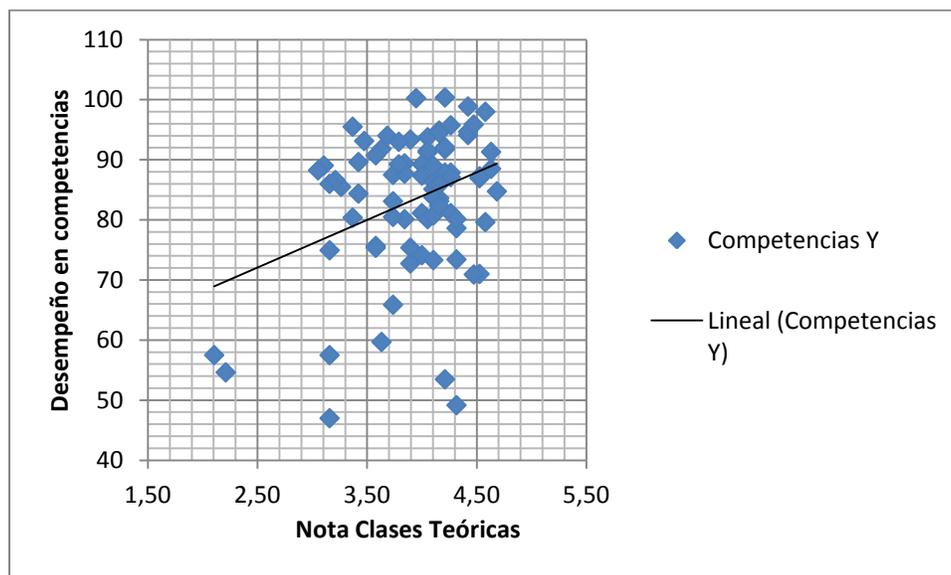


Figura 6-26: Distribución para el análisis de correlación entre la variable de Notas en clases teóricas y el desempeño en conocimientos asociados a las competencias.



Para llevar a cabo el análisis estadístico de regresión, se contó con la asesoría del economista Cristian Cardona¹⁸, vinculado al DANE y con experiencia en la implementación de modelos de regresión múltiple para medir el impacto en políticas públicas. Se empleó el software STATA en su versión 11, el cual arrojó los resultados que se indican en las figuras 6-27 y 6-28.

Figura 6-27: Coeficientes de correlación entre el proyecto de clase y el desempeño medido en competencias.

```
. reg y z
```

Source	SS	df	MS			
Model	544.219811	1	544.219811	Number of obs =	82	
Residual	10350.7152	80	129.383939	F(1, 80) =	4.21	
Total	10894.935	81	134.50537	Prob > F =	0.0435	
				R-squared =	0.0500	
				Adj R-squared =	0.0381	
				Root MSE =	11.375	

y	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
z	-8.407548	4.09942	-2.05	0.044	-16.56565	-.2494431
_cons	119.9066	17.84175	6.72	0.000	84.40033	155.4128

Figura 6-28: Coeficientes de correlación entre las clases teóricas y el desempeño medido en competencias.

```
. reg y x
```

Source	SS	df	MS			
Model	1429.41313	1	1429.41313	Number of obs =	82	
Residual	9465.52183	80	118.319023	F(1, 80) =	12.08	
Total	10894.935	81	134.50537	Prob > F =	0.0008	
				R-squared =	0.1312	
				Adj R-squared =	0.1203	
				Root MSE =	10.877	

y	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
x	8.283067	2.383085	3.48	0.001	3.540576	13.02556
_cons	50.60284	9.513646	5.32	0.000	31.67008	69.5356

Como se aprecia, la variable Proyecto de Grado correlaciona con el desempeño medido en competencias en un valor r^2 de 0,05. Paralelamente, la variable de Clases Teóricas correlaciona bajo la medida $r^2 = 0,13$. En principio, este último dato indicaría que no existe un alto grado de correlación entre las variables mencionadas, con lo que puede haber evidencia de que no solamente las clases teóricas tienen un alto grado de incidencia en los resultados observados. De manera que, siendo el Proyecto de Clase la única

¹⁸ cacardonam@dane.gov.co

condición que varió en la implementación entre un grupo y otro, es posible indicar que hay evidencia de un mejor desempeño que está asociado a las actividades del proyecto.

Como un análisis adicional, se efectuó un estudio de correlación para comparar el efecto que tuvo el proyecto sobre el grupo experimental, en comparación con el grupo control que no participó de la misma intervención. En ese caso, como se recuerda, para ambos grupos se midió de manera post- el desempeño en competencias a través de la Autoevaluación. Para esto, se define un nuevo modelo de regresión mediante la expresión

$$Y = b_0 + b_1d + b_2Au$$

donde **Y** es la nota definitiva alcanzada por los estudiantes al final del curso, **d** es una variable tipo *dummy* que toma el valor 1 si el estudiante participó del proyecto y 0 si no lo hizo, y **Au** es el valor que alcanzó cada estudiante en la autoevaluación, mientras que b_0 , b_1 y b_2 son constantes para ajustar el modelo; en este caso, se busca comparar el valor arrojado para b_2 al cambiar **d** de 0 a 1; el mayor valor de b_2 indicará a su vez un mayor impacto en el desempeño.

Aplicando este modelo en STATA, se obtuvieron los siguientes resultados en el módulo de regresión múltiple:

Figura 6-29: Coeficientes de correlación entre la participación en proyecto y el desempeño medido en competencias por autoevaluación – Grupo Experimental.

```
. reg y d au
```

Source	SS	df	MS			
Model	.63383842	2	.31691921	Number of obs = 123		
Residual	24.1610044	120	.201341703	F(2, 120) = 1.57		
Total	24.7948428	122	.203236416	Prob > F = 0.2115		
				R-squared = 0.0256		
				Adj R-squared = 0.0093		
				Root MSE = .44871		

y	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
d	.0715385	.0905177	0.79	0.431	-.1076803	.2507573
au	.0041171	.0032803	1.26	0.212	-.0023778	.0106119
_cons	3.58425	.2649024	13.53	0.000	3.059762	4.108738

El resultado indica que el mayor coeficiente b_2 (de un 7,15%) se aplica al grupo que participó en el proyecto; de esta manera, se puede evidenciar que la intervención Proyecto de Curso tuvo un impacto beneficioso, mayor que el que tendría si no se realiza en el curso, resultado altamente significativo y que corrobora la diferencia descriptiva hallada en el desempeño entre el grupo control y el grupo experimental.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Dentro del grupo experimental, se observó que en general hay una variación importante de los resultados promedio en el desempeño respecto a prácticamente todas las competencias construidas, resultado especialmente notable en los estudiantes pertenecientes al Comité Periodístico. Esto indica -en principio- que las intervenciones efectuadas en el curso provocaron mejoras en los desempeños esperados.

Las medidas de desempeño recogidas en el grupo control, en cuanto a la percepción propia de habilidades, difieren de aquellas correspondientes al grupo experimental, lo cual es un indicio de que la intervención modificó en alguna forma el proceso de enseñanza – aprendizaje favoreciendo el desarrollo de varias competencias, en especial aquellas correspondientes a la comprensión de los procesos de maquinado, la selección de insumos específicos y la planeación de procesos. Este resultado se ve confirmado por el análisis de influencia mediante regresión.

El desarrollo de este tipo de actividad basada en ABP generó en los estudiantes un ambiente de aprendizaje que, en concepto de la mayoría, es interesante y formativo; así mismo, por parte de los estudiantes se recomienda continuar implementando este tipo de actividades en la materia, por la experiencia adquirida. Esto indica que la actividad generó un impacto positivo en los estudiantes, al ser medido cualitativamente.

Se observó que la actividad requirió un importante tiempo de trabajo por parte de los estudiantes (de acuerdo con las encuestas, la gran mayoría de ellos estimaron la dedicación semanal en más de dos horas), en comparación con el número teórico de horas dedicadas a trabajo extraclase que están contempladas en el mecanismo de créditos de la materia (tres), lo cual, con un estudio más detallado, podría llegar a explicar algunas variaciones encontradas en la variable de conocimientos asociados a las

competencias, pues implica que ellos han estado expuestos a una mayor cantidad de actividades autónomas para reforzar los aprendizajes adquiridos. El análisis cualitativo de los resultados indica a su vez que, evidentemente, hay diferencia entre los aspectos de calidad planeados inicialmente y los evidenciados a través de la implementación final del curso.

La metodología se presentó adecuada para el desarrollo inicial de otras habilidades, de tipo comunicativo y de trabajo colaborativo y en proyectos, con lo cual se verifica que este tipo de actividades cumple en lo global con los propósitos del Aprendizaje basado en proyectos (ABP). Así mismo, se encuentra que la estructura y forma de evaluación del proyecto permitieron obtener un subproducto (magazín) de calidad apreciable, con un gran potencial de ser mejorado y difundido en el ámbito industrial ya que ofrece información pertinente y construida a partir del trabajo realizado durante la asignatura por los mismos estudiantes, con soporte teórico y referencias bibliográficas de peso suficiente.

7.2 Aportes del proyecto de tesis

- Se ha buscado no solamente plantear una actividad didáctica para ser desarrollada en el aula, sino que además se ha implementado una metodología de medición del desempeño alcanzado por los estudiantes a la luz de la intervención realizada, y además se ha efectuado una validación estadística de resultados a partir de las herramientas ofrecidas por la psicometría, con lo cual se distingue de otros trabajos de ayudas didácticas que hacen parte de tesis de pregrado antecedentes a este proyecto.
- Se ha contribuido con un método de diseño curricular en competencias que puede contribuir al fortalecimiento de los programas curriculares de pregrado en ingeniería para la Universidad Nacional de Colombia.

7.3 Recomendaciones para trabajo futuro

- La implementación de una prueba de conocimientos generales con base en competencias es un ejercicio novedoso, que se hace por primera vez para el curso

y, de acuerdo con lo indagado, para cualquier asignatura de la carrera que pretenda desarrollar competencias específicas en el pregrado en ingeniería mecánica de la Universidad Nacional. Por ser un trabajo pionero, el instrumento es susceptible de ser sometido a un proceso de validación externa más robusto y de aplicarle un análisis estadístico ítem por ítem, quizá desde la perspectiva de la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI), para determinar ajustes y modificaciones que permitan establecerla como generalizable a cualquier grupo de estudiantes, es decir, que en verdad se constituya en una herramienta de diagnóstico o predicción del nivel de conocimientos que tiene cualquier estudiante que toma la materia en el contexto de la carrera.

- Un proceso similar de ajuste se recomienda a la encuesta de autoevaluación, con el fin de que le permita al estudiante desarrollar el ejercicio de medirse con base en indicadores que le resulten fácilmente valorables, para así recabar información más cercana al contexto. Así mismo, es conveniente medir los niveles de motivación intrínseca y extrínseca con la que ingresan los estudiantes al curso, para identificar algunos rasgos descriptivos y tratar de establecer algún grado de correlación.
- La logística del curso no permitió efectuar una separación intragrupo en subgrupos de control y experimental, para fortalecer los resultados obtenidos de la investigación de caso único. Se recuerda que este tipo de investigación puede extenderse a otros tipos de intervenciones más allá de los Proyectos de Curso, así que para estudios posteriores se puede implementar el desarrollo de otras actividades experienciales y de aprendizaje activo midiendo lo que sucede en el mismo grupo global de estudiantes pero siendo sólo algunos participantes de la experiencia, mientras otros sean para el control; esto permitiría establecer diferencias internas -que en la presente investigación no fueron detectadas- y su posible influencia en la variable de interés.
- A un nivel más amplio en la estructura curricular de la carrera, se sugiere fuertemente efectuar un estudio actualizado y periódico de necesidades, requerimientos y especificaciones del perfil profesional para el futuro ingeniero mecánico, como un insumo que permita determinar estrategias de diseño curricular en el marco de formación por competencias, que le permita tener un

desempeño futuro acorde con las tendencias cambiantes del contexto, y que además se derive en una dinámica de mejores resultados que se encuentra inherente al desarrollo de las pruebas SABER Pro.

Bibliografía

A continuación se efectúa el listado de las referencias bibliográficas de acuerdo con su orden de aparición.

- [1] A. Rolstadas, "Global education in manufacturing," in *Advanced Manufacturing. An ICT and Systems Perspective*, Taylor & Francis, 2007, pp. 229–238.
- [2] B. W. Choi, "Growth Engines and Key Technologies for Manufacturing Innovation: An IMS Perspective," in *Smart Manufacturing Application, 2008. ICSMA 2008. International Conference on*, 2008, pp. 48–52.
- [3] G. Bengu and W. Swart, "A computer-aided, total quality approach to manufacturing education in engineering," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 39, pp. 415–422 ST – A computer-aided, total quality appr, 1996.
- [4] I. Hunt, D. O'Sullivan, A. Rolstadas, M. Horan, and L. Precup, "Survey of manufacturing curricula from around the world," *Production Planning & Control*, vol. 15, pp. 71–79 ST – Survey of manufacturing curricula from, Dec. 2004.
- [5] B. L. E. Gómez and J. R. E. Gutierrez, "Rediseño Curricular por Competencias: Un Reto que Asumió el Programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la UAC."
- [6] G. L. Giraldo and G. A. Urrego Giraldo, "Construcción de currículos de ingeniería basados en problemas y orientados a la formación integral," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 9, no. 16, pp. 71–89, 2011.
- [7] L. E. Mayorga Moncada, "Ayudas didácticas para la calificación del procedimiento de soldadura, del soldador y del operador de soldadura, de acuerdo a los códigos: Api 1104, ASME sección IX, AWS D1.1 y D1.4," Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica, 1998.
- [8] J. L. Pinzón Gutiérrez, "Ayudas didácticas para un curso de moldes," Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica, 1992.

- [9] D. Ary, L. C. Jacobs, A. Razavieh, and C. H. P. Chris Sorensen, *Introduction to Research in Education*. Cengage Learning, 2009.
- [10] V. M. Niño Rojas, *Metodología de la investigación: diseño y ejecución*. Ediciones de la U, 2011.
- [11] J. Fraenkel and N. Wallen, *How to Design and Evaluate Research in Education*. McGraw-Hill Companies, Incorporated, 2008.
- [12] I. Montero and O. L. García, "A guide for naming research studies in Psychology," *International Journal of Clinical and Health Psychology*, vol. 7, no. 3, pp. 847–862, 2007.
- [13] S. N. Hesse-Biber, *Mixed Methods Research*. Guilford Publications, 2010.
- [14] M. Borrego, E. P. Douglas, and C. T. Amelink, "Quantitative, qualitative, and mixed research methods in engineering education," *Journal of Engineering Education*, vol. 98, no. 1, pp. 53–66, 2009.
- [15] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, 2008.
- [16] G. E. P. Box, J. S. Hunter, and W. G. Hunter, *Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery*. Wiley-Interscience, 2005.
- [17] C. F. J. Wu and M. S. Hamada, *Experiments: Planning, Analysis, and Optimization*. Wiley, 2011.
- [18] L. Cohen, L. Manion, K. Morrison, and K. R. B. Morrison, *Research Methods Education*. Taylor & Francis Group, 2007.
- [19] D. H. McBurney and D. H. M. B. Theresa L. White, *Research Methods*. Cengage Learning, 2009.
- [20] S. L. Jackson, *Research Methods: A Modular Approach*. Cengage Learning, 2010.
- [21] D. Scott and R. Usher, *Researching Education: Data, methods and theory in educational enquiry*. Bloomsbury, 2011.
- [22] J. Schreiber and K. Asner-Self, *Educational Research*. John Wiley & Sons, 2010.
- [23] L. J. Shuman, M. Besterfield-Sacre, and J. McGourty, "The ABET 'Professional Skills'—Can they be taught? Can they be assessed?," *Journal of Engineering Education*, vol. 94, no. 1, pp. 41–55, 2005.
- [24] M. D. Rodríguez, D. A. Mena, and C. M. Rubio, "Competencias que pueden Desarrollarse en la Asignatura de Mecánica en el Currículo de Ingeniería," *Formación universitaria*, vol. 4, no. 4, pp. 3–12, 2011.

- [25] D. E. G. Briggs, *Ciencia e ingeniería en la formación de ingenieros para el siglo XXI: fundamentos, estrategias y casos*. ACOFI, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, 2008.
- [26] A. Méndez and X. Roegiers, "Terminología pedagógica específica al enfoque por competencias: el concepto de competencia," *memoria de DEA en Ciencias de la Educación, Facultad de Educación, Universidad Católica de Lovaina*, 2005.
- [27] F. E. Weinert, "Concept of competence: A conceptual clarification.," *Definition and selection key competencies*, pp. 45–65, 2001.
- [28] T. Moreno Olivos, "Competencias en educación superior: un alto en el camino para revisar la ruta de viaje," *Perfiles educativos*, vol. 31, no. 124, pp. 69–92, 2009.
- [29] A. De Zan, L. A. Paipa Galeano, and C. Parra Moreno, "Las competencias: base para la internacionalización de la educación superior," *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 6, no. 11, pp. 44–54, 2011.
- [30] P. Beneitone, P. T. A. Latina, R. te Groningen, and U. de Deusto, *Reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina: informe final Proyecto Tuning América Latina : 2004-2007*. Universidad de Deusto, 2007.
- [31] A. J. Elliot and C. S. Dweck, *Handbook of Competence and Motivation*. Guilford Press, 2005, p. 704.
- [32] A. J. Elliot and C. S. Dweck, *Handbook of Competence and Motivation*. Guilford Press, 2005, p. 704.
- [33] J. Sandberg, "Understanding human competence at work: An interpretative approach.," *Academy of management journal*, vol. 43, no. 1, pp. 9–25, 2000.
- [34] M. D. Rodríguez, D. A. Mena, and C. M. Rubio, "Competencias que pueden Desarrollarse en la Asignatura de Mecánica en el Currículo de Ingeniería," *Formación universitaria*, vol. 4, no. 4, pp. 3–12, 2011.
- [35] S. T. Tobón, *Competencias, calidad y educación superior*. Cooperativa Editorial Magisterio, 2006.
- [36] S. T. Tobón, J. H. P. Prieto, and J. A. G. Fraile, *Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias*. Perason Educación de México, 2010.
- [37] S. Tobón, *Formación basada en competencias: pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. Ecoe, 2006.
- [38] K. F. Berggren, D. Brodeur, E. F. Crawley, I. Ingemarsson, W. T. G. Litant, J. Malmqvist, and S. Östlund, "CDIO: An international initiative for reforming engineering education," *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 2, no. 1, pp. 49–52, 2003.

- [39] E. Crawley, J. Malmqvist, S. Ostlund, and D. Brodeur, *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*. Springer, 2010.
- [40] G. U. Villegas, "Reseña bibliográfica: Rethinking Engineering Education. The CDIO approach.," *Sistemas & Telemática*, vol. 9, no. 16, pp. 91–92, 2011.
- [41] E. F. Crawley, "The CDIO Syllabus," *A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education*, 2001.
- [42] S. Bell, "Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future," *The Clearing House*, vol. 83, no. 2, pp. 39–43, Jan. 2010.
- [43] J. Thomas, "A review of research on project-based learning," *San Rafael, CA: Autodesk Foundation*. Retrieved April, 2000.
- [44] A. C. Mettas and C. C. Constantinou, "The technology fair: a project-based learning approach for enhancing problem solving skills and interest in design and technology education," *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 18, no. 1, pp. 79–100, 2008.
- [45] D. Mioduser and N. Betzer, "The contribution of Project-based-learning to high-achievers' acquisition of technological knowledge and skills," *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 18, no. 1, pp. 59–77, 2008.
- [46] M. J. Prince and R. M. Felder, "Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases," *JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION-WASHINGTON-*, vol. 95, no. 2, p. 123, 2006.
- [47] M. Prince and R. Felder, "The many faces of inductive teaching and learning," *Journal of College Science Teaching*, vol. 36, no. 5, p. 14, 2007.
- [48] R. M. Felder and R. Brent, "The ABC'S of engineering education: ABET, Bloom's taxonomy, cooperative learning, and so on," in *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 2004, p. 1.
- [49] B. Bin and H. Abdul, "Competency Based Assessment (CBA) of Engineering Students ' Product Development via Project-Based Learning (PjBL) Process," vol. 2, no. 4, pp. 221–230, 2011.
- [50] S. Tornimbeni, E. Pérez, F. Olaz, N. C. de Kohan, A. Fernández, and M. Cupani, *Introducción a la psicometría*. Paidós, 2008.
- [51] J. M. Fernández, *Introducción a la Teoría de Respuesta a Los ítems*. Pirámide, 1997, p. 250.
- [52] A. Rolstadas and B. Moseng, "Global education in manufacturing–Gem," in *V CIRP International Manufacturing Education Conference, CIMEC*, 2002.

-
- [53] D. O'Sullivan, A. Rolstadås, and E. Filos, "Global education in manufacturing strategy," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 22, no. 5, pp. 663–674, 2011.
- [54] E. Crawley, D. Brodeur, and D. Soderholm, "The Education of Future Aeronautical Engineers: Conceiving, Designing, Implementing and Operating," *Journal of Science Education and Technology*, vol. 17, pp. 138–151 ST – The Education of Future Aeronautical, 2008.
- [55] S. Fenster, "Why Aren't Colleges and Universities Preparing the Workforce of Tomorrow?," *University Business*, vol. 8, pp. 100–100 ST – Why Aren't Colleges and Universities, 2005.
- [56] W. H. Eimaraghy, H. A. Eimaraghy, and S. of M. Engineers, *Manufacturing Research and Education Curricula Driven by Industry/student Needs*. Society of Manufacturing Engineers, 1998.
- [57] K. D. Stephan and S. Vedaraman, "Globalizing manufacturing engineering education," *Technology and Society Magazine, IEEE*, vol. 24, pp. 16–22 ST – Globalizing manufacturing engineering , 2005.
- [58] J. A. Simone, "Papel de la educación técnico-profesional en el mejoramiento de las capacidades de los trabajadores del sector moderno ante los procesos económicos actuales y los nuevos desarrollos tecnológicos," *Revista iberoamericana de educación*, no. 2, p. 5, 1993.
- [59] H. Vessuri, "Desafíos de la educación superior en relación con la formación y la investigación ante los procesos económicos actuales y los nuevos desarrollos tecnológicos," *Revista Iberoamericana de Educación*, no. 2, p. 7, 1993.
- [60] J. Peters, "Manufacturing in Mechanical Engineering Education in Developing Countries," *European Journal of Engineering Education*, vol. 14, pp. 135–139 ST – Manufacturing in Mechanical Engineer, Dec. 1989.
- [61] R. M. Felder and L. K. Silverman, "Learning and teaching styles in engineering education," *Engineering education*, vol. 78, no. 7, pp. 674–681, 1988.
- [62] J. E. Mills and D. F. Treagust, "Engineering education—Is problem-based or project-based learning the answer?," *Australasian Journal of Engineering Education*, vol. 3, pp. 2–16, 2003.
- [63] R. M. Felder and R. Brent, "Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria," *JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION- ...*, vol. 92, no. 1, pp. 7–26, 2003.
- [64] R. H. Todd, W. E. Red, S. P. Magleby, and S. Coe, "Manufacturing: a strategic opportunity for engineering education," *JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION-WASHINGTON-*, vol. 90, no. 3, pp. 397–406, 2001.

-
- [65] W. Daniel, "Evolving innovation in manufacturing engineering education," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 24, p. i ST – Evolving innovation in manufacturing engin, 2005.
- [66] S. Jiang and X. Qi, "Exploration of Enhancing Students' Professional Ability and Innovation Ability with Manufacturing Knowledge," *Energy Procedia*, vol. 13, pp. 2432–2437, 2011.
- [67] S. G. Lee and W. N. P. Hung, "Manufacturing engineering education in Singapore," *Journal of Mant (fiTcturing Systems)*, vol. 24, no. 3, 2005.
- [68] F. J. Lino and T. P. Duarte, "Research skills enhancement in future mechanical engineers," in *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011 IEEE*, 2011, pp. 1088–1095.
- [69] Z. Liang, H. Deng, and J. Tao, "Teaching Examples and Pedagogy of Mechanical Manufacture based on the CDIO-Based Teaching Method," *Procedia Engineering*, vol. 15, pp. 4084–4088, 2011.
- [70] M. E. Ssemakula, "A hands-on approach to teaching manufacturing processes," in *Frontiers in Education Conference, 2001. 31st Annual*, 2001, vol. 1, pp. TIC–10–14 vol.1 ST – A hands–on approach to teach.
- [71] A. A. Chowdhury and A. M. Mazid, "Computer integrated manufacturing education to mechanical engineering students: teaching, research and practice," in *Industrial Technology, 2009. ICIT 2009. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 1–5.
- [72] D. Fisher and R. Hofmann, "CNC machining plastic injection mold plates in the classroom," in *Frontiers In Education Conference-Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports, 2007. FIE'07. 37th Annual*, 2007, p. S2A–12.
- [73] N. Fang, "AC 2009-284 : A PROJECT-BASED ACTIVE AND COOPERATIVE LEARNING A Project-Based Active and Cooperative Learning Approach to Improving Manufacturing Engineering Education," *Learning*, 2009.
- [74] F. P. Miller, A. F. Vandome, and M. B. John, *Likert Scale*. VDM Verlag Dr. Mueller e.K., 2010.
- [75] Z. Ziliang and A. Donaldson, "Work in progress — project-based learning in manufacturing process," in *Frontiers in Education Conference (FIE), 2010 IEEE*, 2010, pp. T1J–1–T1J–2 ST – Work in progress — projec.
- [76] D. C. Pereira, D. del Rio Vilas, N. R. Monteil, R. R. Prado, and A. L. Rodriguez, "A project-based teaching experience for simulation and optimization education," in *Next Generation Web Services Practices (NWeSP), 2011 7th International Conference on*, 2011, pp. 436–440.

-
- [77] E. Babulak, "Invited Paper: Next Generation of Applied Internet Technologies in E-manufacturing," in *Computer Modelling and Simulation, 2009. UKSIM'09. 11th International Conference on*, 2009, pp. 386–390.
- [78] H. Kraebber and J. Lehman, "Use of educational technology in manufacturing engineering and technology education," in *Frontiers in Education Conference, 2009. FIE'09. 39th IEEE*, 2009, pp. 1–6.
- [79] N. Ale Ebrahim, S. Ahmed, A. Rashid, S. Hanim, and Z. Taha, "Virtual R&D Teams: A potential growth of education-industry collaboration," 2010.
- [80] M. G. McCarthy, "Effective teaching of complex manufacturing topics to undergraduate engineers utilizing a novel, broadly based, interactive virtual company," in *117th ASEE Annual Conference & Exposition*, 2010.
- [81] J. Min, Z. Han-Wei, and L. Chia-Wan, "Development of an interactive e-learning system to improve manufacturing technology education," in *Advanced Learning Technologies, 2005. ICALT 2005. Fifth IEEE International Conference on*, 2005, pp. 359–360 ST – Development of an interactive e-lear.
- [82] C. C. Liu and M. Jou, "Development of an e-learning system for manufacturing technology education," *International Journal of Knowledge and Learning*, vol. 4, no. 4, pp. 370–382, 2008.
- [83] B. Sorin-loan, B. P. Dan, and B. L. Dana, "Modern Methods of Education, Research and Design Used in Mechanical Engineering."
- [84] F. J. Ramírez, R. Domingo, and M. A. Sebastián, "Deep drawing tool for e-learning: A didactic approach for manufacturing engineering education," in *Education Engineering (EDUCON), 2010 IEEE*, 2010, pp. 1857–1866.
- [85] N. Fang, G. A. Stewardson, and M. M. Lubke, "Work in progress-An innovative instructional model for improving manufacturing engineering education," in *Frontiers In Education Conference-Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports, 2007. FIE'07. 37th Annual*, 2007, p. S4D–19.
- [86] X. Huang, "A mechatronics educational laboratory platform for manufacturing automation based on Googol FMS," in *Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conference on*, 2011, vol. 1, pp. 389–392.
- [87] M. Balazinski and A. Przybylo, "Teaching manufacturing processes using computer animation," *Journal of manufacturing system*, vol. 24, no. 3, pp. 237–243, Jan. 2005.
- [88] D. Waldorf, S. E. Alptekin, and R. Bjurman, "Plotting a Bright Future for Manufacturing Education: Results of a Brainstorming Session," *Industrial and Manufacturing Engineering*, p. 4, 2006.

- [89] C. Villarroel G and C. Herrera S, "Sobre la posibilidad de aplicar la metodología orientada al proyecto, en la enseñanza de la ingeniería de la Universidad de Tarapacá-Chile," *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá*, vol. 12, no. 2, pp. 74–83, 2004.
- [90] S. Ramírez Echeverri and C. A. Rodríguez Arroyave, "Modelo de cursos interactivos para ingeniería con apoyo de una plataforma bimodal," *Revista Universidad Eafit*, vol. 43.
- [91] G. González-Rey, A. García-Toll, J. Wellesley-Bourke-Funcasta, and M. E. García-Domínguez, "El proyecto de curso en la formación de competencias profesionales en estudiantes de ingeniería mecánica," *Ingeniería Mecánica*, vol. 14, no. 2, pp. 119–128, 2011.
- [92] A. Farías, "CONFECCIÓN DE UN SYLLABUS, POR COMPETENCIAS PARA INGENIERÍA MECÁNICA. CASO: MODULO, PROCESOS DE MECANIZADO."
- [93] D. C. Quesada Estrada, H. González, M. S. I. L. Wilfredo, and P. Ochoa, "KinMTool: Una Herramienta Multimedia para la enseñanza de máquinas herramienta.," *Ciencias Holguín*, vol. 14, no. 2, 2010.
- [94] R. Gil, *La ingeniería en el 3er milenio: una reseña de los nuevos paradigmas*. Buenos Aires, Argentina: ANI - Academia Nacional de Ingeniería, 2009.
- [95] C. de Moura Castro, A. E. Verdisco, and I.-A. D. Bank, *Cómo Mejorar la Educación: Ideas Latinoamericanas y Resultados Asiáticos*. Inter-American Development Bank, 2004.
- [96] D. Arturo and O. Carranza, "ENFOQUES HIPERMEDIALES PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE SOFTWARE EDUCATIVO EN," vol. 11, no. 1, pp. 49–67, 1998.
- [97] M. A. Hidalgo, J. D. Cardona, F. A. Rojas, and E. Mec, "Diseño de un Entorno Virtual para la Enseñanza de Procesos de Mecanizado."
- [98] A. A. Ávila, P. D. E. G. F. Serrano, and P. D. O. Gualdrón, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO INTERACTIVO MULTIMEDIA PARA EL APRENDIZAJE DE LOS PROCESOS CAM EN UN."
- [99] A. Guzmán Dubois, "Software para planeación de procesos de mecanizado por el método generativo," 2002.
- [100] B. Payne, "Industry Perceptions of Entry Level Skills for Manufacturing," *Technology Interface Journal*, vol. 10, no. 1, p. 7, 2009.
- [101] K. W. Stier, "A preliminary manufacturing competencies study of small and medium-sized manufacturers in Illinois," *Journal of Industrial Technology*, vol. 22, no. 2, 2006.

- [102] R. M. Felder and R. Brent, "Active learning: An introduction," *ASQ Higher Education Brief*, vol. 2, no. 4, pp. 1–5, 2009.
- [103] S. H. Pee and H. Leong, "Implementing project based learning using CDIO concepts," in *1st annual CDIO conference. Queen's university, canada*, 2005.
- [104] D. Missingham, "The integration of professional communication skills into engineering education," 2006.
- [105] J. D. Ford and L. A. Riley, "Integrating communication and engineering education: A look at curricula, courses, and support systems," *JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION-WASHINGTON-*, vol. 92, no. 4, pp. 325–328, 2003.
- [106] A. Cabrera-González, "Tareas para la comunicación del futuro profesional: una experiencia pedagógica," *Ingeniería Mecánica*, vol. 15, no. 2, pp. 134–146, 2012.
- [107] E. Heidy Zambrano, Andrade, "El portafolio, estrategia didáctica para desarrollar la escritura académica en estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira.," *Legenda*, vol. 15, no. 13, pp. 288–293, 2011.
- [108] J. A. Reynolds, C. Thaiss, W. Katkin, and R. J. Thompson, "Writing-to-Learn in Undergraduate Science Education: A Community-Based, Conceptually Driven Approach," *CBE-Life Sciences Education*, vol. 11, no. 1, pp. 17–25, 2012.
- [109] B. Daniell, R. Figliola, D. Moline, and A. Young, "Learning To Write : Experiences with Technical Writing Pedagogy Within a Mechanical Engineering Curriculum," *Proceedings of the 2003 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 2003.
- [110] C. S. Kalman, *Successful Science and Engineering Teaching: Theoretical and Learning Perspectives*. Springer, 2008.
- [111] K. Koeppen, J. Hartig, E. Klieme, and D. Leutner, "Current Issues in Competence Modeling and Assessment," *Zeitschrift für Psychologie / Journal of Psychology*, vol. 216, no. 2, pp. 61–73, Jan. 2008.
- [112] D. R. Sadler, "Making competent judgments of competence," in *Modeling and measurement of competencies in higher education*, 2011, no. February, pp. 1–4.
- [113] M. T. Siniscalco, "Questionnaire design." p. 85, 2005.
- [114] L. M. Crocker and J. Algina, *Introduction to Classical and Modern Test Theory*. Cengage Learning, 2006.
- [115] N. L. Leech, K. C. Barrett, and G. G. A. Morgan, *SPSS for Intermediate Statistics: Use and Interpretation*. Lawrence Erlbaum Associates, 2008.
- [116] P. R. Hinton, *SPSS Explained*. Routledge, 2004.

- [117] B. M. Moskal, "Scoring Rubrics : What , When and How ?," *Practical Assessment, Research & Evaluation*, vol. 7, no. 3, pp. 1–7, 2007.
- [118] M. Allen, "Developing and using rubrics for assessing, grading and improving student learning," pp. 1–16, 2008.
- [119] D. A. Zambrano, "Utilización de proyectos y portafolio para una asignatura de Ingeniería electromecánica," vol. 2, no. 1.
- [120] G. R. Turcios, "Metodología para desarrollar portafolios de cursos, y su aplicación.," p. 233, 2009.
- [121] D. S. Moore and W. I. Notz, *Statistics: Concepts and Controversies*. Macmillan Higher Education, 2012.
- [122] S. L. Jackson, *Research Methods and Statistics: A Critical Thinking Approach*. Cengage Learning, 2011.
- [123] A. Field, *Discovering Statistics Using SPSS*. SAGE Publications, 2009.
- [124] C. Stangor, *Research Methods for the Behavioral Sciences*. Wadsworth Cengage Learning, 2010, p. 442.
- [125] T. D. Cook and D. T. Campbell, *Quasi-experimentation: design & analysis issues for field settings*. Rand McNally College, 1979, p. 405.
- [126] B. Huitema, *The Analysis of Covariance and Alternatives: Statistical Methods for Experiments, Quasi-Experiments, and Single-Case Studies*. Wiley, 2011.
- [127] J. L. Devore, *Probabilidad Y Estadística, Para Ingeniería Y Ciencias*. Cengage Learning Latin America, 2008, p. 710.
- [128] R. J. Freund and W. J. Wilson, *Statistical Methods*. Elsevier Science, 2003.
- [129] R. Bernal and X. Peña, *Guía práctica para la evaluación de impacto*. Universidad de los Andes, Facultad de Economía, Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico, 2011.

Anexo A: Malla curricular teórica

Dominio	Competencia	Implementación curricular			
Comprensión	Comprende los distintos tipos de procesos de maquinado que se ejecutan en la actualidad, para aplicarlos en los contextos adecuados.	Semana 1			
		Metas – Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
		<ul style="list-style-type: none"> Tener un panorama histórico de la evolución que han tenido los procesos de maquinado. Establecer el significado y el propósito de maquinar metales. Reconocer los procesos de fabricación por arranque de viruta. Distinguir y clasificar adecuadamente los procesos de maquinado. 	Introducción a los procesos de maquinado	Presentación de clase magistral.	Preguntas conceptuales resueltas.
Contextualización		Semana 2			
		Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
		<ul style="list-style-type: none"> Describir los principios operativos básicos de las máquinas herramientas Reconocer los movimientos relativos entre la pieza de trabajo y la herramienta en cada operación. Utilizar las ecuaciones apropiadas para calcular los parámetros de corte propios de cada proceso. 	Operaciones y Tecnología del maquinado	Presentación de clase magistral. Resolución de problemas que implican cálculo de parámetros.	Preguntas conceptuales resueltas. Situación problema resuelta con cálculo de parámetros de corte para distintas operaciones.

Dominio			
Aplicación – Administración			
Competencia			
Selecciona los insumos apropiados (herramientas, fluidos) para llevar a cabo las operaciones de corte dentro del proceso de maquinado, con base en fundamentos técnicos.			
Implementación curricular			
Semana 3			
Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
<ul style="list-style-type: none"> Diferenciar los ángulos de salida y de flanco. Demostrar y definir (mediante geometría descriptiva) la geometría de la herramienta. Comprender los sistemas de clasificación para la geometría de la herramienta y hacer conversiones entre ellos. Comprender los mecanismos de formación de viruta y su clasificación. Entender la necesidad y función de los rompevirutas. Seleccionar adecuadamente los parámetros de corte para usar con herramientas con rompevirutas. 	Geometría de herramientas de corte	Presentación de clase magistral.	Preguntas conceptuales resueltas. Sugerencia: <i>Maqueta o plano</i> con diseño geométrico para herramienta de corte.
Semana 4			
Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
<ul style="list-style-type: none"> Tener una visión histórica del desarrollo de los materiales para herramientas. Diferenciar las propiedades y aplicación de los diferentes materiales para herramientas. Evaluar el efecto de la temperatura en el material de la herramienta y de la pieza de trabajo. Describir las características y aplicaciones de los materiales para herramientas más comunes. Entender la importancia de la tecnología y clasificación de recubrimientos en materiales para herramientas. 	Materiales para herramientas de corte	Presentación de clase magistral.	Preguntas conceptuales resueltas.
Semana 5			
Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
<ul style="list-style-type: none"> Comprender el concepto general de maquinabilidad. Aplicar los criterios de selección para una herramienta de corte (geometría, material, parámetros de corte) dentro de una operación de maquinado dada. 	Selección de herramientas de corte	Presentación de clase magistral. Modelación práctica de selección de herramientas.	Preguntas conceptuales resueltas. Taller con situación problema resuelta de selección de herramientas.
Semana 6			
Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
<ul style="list-style-type: none"> Entender la influencia de los diferentes componentes del proceso en el calor generado. Identificar las posibles maneras de controlar la temperatura de corte. Identificar los propósitos de la aplicación de fluidos de corte. Comprender las principales propiedades de los diferentes tipos de fluidos para una adecuada selección. Saber seleccionar el método de aplicación más conveniente. Tener una visión amplia del efecto medio-ambiental del uso de fluidos de corte. 	Fluidos de corte	Presentación de clase magistral. Modelación práctica de selección de fluidos.	Preguntas conceptuales resueltas. Taller con situación problema resuelta de selección de fluidos de corte.
Semana 7			
Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
<ul style="list-style-type: none"> Comprender de manera general el concepto de calidad superficial y su importancia funcional. Reconocer los parámetros superficiales que se pueden medir y controlar. Determinar la calidad de la superficie a obtener de acuerdo con la operación de maquinado. Identificar los factores (esfuerzos residuales, microestructura) que influyen en la integridad superficial del maquinado. 	Ingeniería de superficies maquinadas	Presentación de clase magistral.	Preguntas conceptuales resueltas.

Dominio	Competencia	Implementación curricular			
Aplicación	Elabora presupuestos y estimaciones de orden económico relativas a los procesos de maquinado,	Semana 8			
		Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
		<ul style="list-style-type: none"> Establecer cómo fallan las herramientas de corte. Ilustrar los aspectos geométricos del desgaste. Definir y evaluar la vida de la herramienta. Determinar y utilizar la ecuación de vida de la herramienta. 	Fallas, desgaste y vida de la herramienta	Presentación de clase magistral. Modelación práctica de cálculo de vida para una herramienta de corte.	Preguntas conceptuales resueltas. Taller con situación problema resuelta sobre vida de una herramienta.
Administración	teniendo en cuenta la situación a resolver y las condiciones técnicas (de herramienta, secuencia de operaciones, mano de obra, etc.)	Semana 9			
		Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
		<ul style="list-style-type: none"> Comprender la necesidad de estimar los tiempos de mecanizado y la forma de evaluarlos en cada operación. Comprender las expresiones para el cálculo de los costos de mecanizado. Utilizar las ecuaciones para determinar costos con base en las condiciones más económicas. 	Condiciones económicas del maquinado	Presentación de clase magistral.	Preguntas conceptuales resueltas. Entrega parcial de proyecto.

Dominio	Competencia	Implementación curricular			
Planeación	Diseña la secuencia de procesos pertinente para la fabricación de una o varias piezas, considerando la disponibilidad de máquinas herramienta y las operaciones posibles.	Semana 15			
Resolución		Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
		<ul style="list-style-type: none"> Reconocer los contextos en los que es necesario planear procesos de maquinado. Entender los criterios y el procedimiento para planear una secuencia de operaciones. Comprender el principio funcional y el diseño de sujeciones y soportes y su influencia en la logística. Diseñar una carta tecnológica completa para la fabricación de una pieza mediante maquinado. 	Planeación de procesos de mecanizado	Presentación de clase magistral. Modelación práctica de elaboración de una carta tecnológica completa.	Preguntas conceptuales resueltas. Carta tecnológica.

Dominio	Competencia	Implementación curricular			
Comunicación	Comunica de manera clara y efectiva el resultado de aplicar sus conocimientos en la solución de un problema de ingeniería.	<i>Semana 16</i>			
		Metas - Objetivos	Contenido	Acciones del docente	Productos a evaluar
		<ul style="list-style-type: none"> Revisar y evaluar los resultados obtenidos de la aplicación práctica de todos los conceptos y procedimientos tratados en el curso. 	Proyecto final	Retroalimentación de productos entregados por el estudiante.	Entrega final de proyecto (Informe de actividades, Artículo de investigación)

Anexo B: Objetivos de aprendizaje propuestos en función del CDIO Syllabus

Competencia	Metas – Objetivos	Nivel de CDIO Syllabus correspondiente
Comprende los distintos tipos de procesos de maquinado que se ejecutan en la actualidad, para aplicarlos en los contextos adecuados.	<ul style="list-style-type: none"> Tener un panorama histórico de la evolución que han tenido los procesos de maquinado. Establecer el significado y el propósito de maquinar metales. Reconocer los procesos de fabricación por arranque de viruta. Distinguir y clasificar adecuadamente los procesos de maquinado. 	1. RAZONAMIENTO Y CONOCIMIENTO TÉCNICO 1.2 Conocimiento fundamental nuclear de ingeniería. 2. ATRIBUTOS Y HABILIDADES PERSONALES Y PROFESIONALES 2.1. Razonamiento de ingeniería y resolución de problemas. 2.3. Pensamiento sistémico. 3. HABILIDADES INTERPERSONALES 3.2 Comunicaciones. 4. SISTEMAS CDIO EN EL CONTEXTO EMPRESARIAL Y SOCIAL 4.2 Contexto empresarial y de negocios.
	<ul style="list-style-type: none"> Describir los principios operativos básicos de las máquinas herramientas. Reconocer los movimientos relativos entre la pieza de trabajo y la herramienta en cada operación. Utilizar las ecuaciones apropiadas para calcular los parámetros de corte propios de cada proceso. 	

Competencia	Metas – Objetivos	Nivel de CDIO Syllabus correspondiente
Elabora presupuestos y estimaciones de orden económico relativas a los procesos de maquinado, teniendo en cuenta la situación a resolver y las condiciones técnicas (de herramienta, secuencia de operaciones, mano de obra, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Establecer cómo fallan las herramientas de corte. Ilustrar los aspectos geométricos del desgaste. Definir y evaluar la vida de la herramienta. Determinar y utilizar la ecuación de vida de la herramienta. 	1. RAZONAMIENTO Y CONOCIMIENTO TÉCNICO 1.2 Conocimiento fundamental nuclear de ingeniería. 2. ATRIBUTOS Y HABILIDADES PERSONALES Y PROFESIONALES 2.1. Razonamiento de ingeniería y resolución de problemas. 2.3. Pensamiento sistémico. 3. HABILIDADES INTERPERSONALES 3.2 Comunicaciones. 4. SISTEMAS CDIO EN EL CONTEXTO EMPRESARIAL Y SOCIAL 4.2 Contexto empresarial y de negocios.
	<ul style="list-style-type: none"> Comprender la necesidad de estimar los tiempos de mecanizado y la forma de evaluarlos en cada operación. Comprender las expresiones para el cálculo de los costos de mecanizado. Utilizar las ecuaciones para determinar costos con base en las condiciones más económicas. 	

Competencia	Metas – Objetivos	Nivel de CDIO Syllabus correspondiente
<p>Selecciona los insumos apropiados (herramientas, fluidos) para llevar a cabo las operaciones de corte dentro del proceso de maquinado, con base en fundamentos técnicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciar los ángulos de salida y de flanco. • Demostrar y definir (mediante geometría descriptiva) la geometría de la herramienta. • Comprender los sistemas de clasificación para la geometría de la herramienta y hacer conversiones entre ellos. • Comprender los mecanismos de formación de viruta y su clasificación. • Entender la necesidad y función de los rompevirutas. • Seleccionar adecuadamente los parámetros de corte para usar con herramientas con rompevirutas. 	<p>1. RAZONAMIENTO Y CONOCIMIENTO TÉCNICO 1.2 Conocimiento fundamental nuclear de ingeniería. 2. ATRIBUTOS Y HABILIDADES PERSONALES Y PROFESIONALES 2.1. Razonamiento de ingeniería y resolución de problemas. 2.3. Pensamiento sistémico. 3. HABILIDADES INTERPERSONALES 3.2 Comunicaciones. 4. SISTEMAS CDIO EN EL CONTEXTO EMPRESARIAL Y SOCIAL 4.2 Contexto empresarial y de negocios.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender la necesidad de estimar los tiempos de mecanizado y la forma de evaluarlos en cada operación. • Comprender las expresiones para el cálculo de los costos de mecanizado. • Utilizar las ecuaciones para determinar costos con base en las condiciones más económicas. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender el concepto general de maquinabilidad. • Aplicar los criterios de selección para una herramienta de corte (geometría, material, parámetros de corte) dentro de una operación de maquinado dada. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Entender la influencia de los diferentes componentes del proceso en el calor generado. • Identificar las posibles maneras de controlar la temperatura de corte. • Identificar los propósitos de la aplicación de fluidos de corte. • Comprender las principales propiedades de los diferentes tipos de fluidos para una adecuada selección. • Saber seleccionar el método de aplicación más conveniente. • Tener una visión amplia del efecto medio-ambiental del uso de fluidos de corte. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender de manera general el concepto de calidad superficial y su importancia funcional. • Reconocer los parámetros superficiales que se pueden medir y controlar. • Determinar la calidad de la superficie a obtener de acuerdo con la operación de maquinado. • Identificar los factores (esfuerzos residuales, microestructura) que influyen en la integridad superficial del maquinado. 	

Competencia	Metas – Objetivos	Nivel de CDIO Syllabus correspondiente
Selecciona las máquinas y condiciones de proceso idóneas para la implementación en planta de tecnologías de mecanizado convencionales y nuevas.	<ul style="list-style-type: none"> Establecer el propósito de uso y el principio funcional del fresado Describir la cinemática y dinámica del fresado. Comprender los parámetros de diseño y programación para una operación de fresado asistida por computador. Reconocer la aplicación del fresado en la generación de geometrías especiales. 	1. RAZONAMIENTO Y CONOCIMIENTO TÉCNICO 1.2 Conocimiento fundamental nuclear de ingeniería. 2. ATRIBUTOS Y HABILIDADES PERSONALES Y PROFESIONALES 2.1. Razonamiento de ingeniería y resolución de problemas. 2.3. Pensamiento sistémico. 3. HABILIDADES INTERPERSONALES 3.2 Comunicaciones. 4. SISTEMAS CDIO EN EL CONTEXTO EMPRESARIAL Y SOCIAL 4.2 Contexto empresarial y de negocios.
	<ul style="list-style-type: none"> Identificar las características de los procesos no convencionales de maquinado. Reconocer los distintos tipos de tecnologías no convencionales de mecanizado. 	

Competencia	Metas – Objetivos	Nivel de CDIO Syllabus correspondiente
Diseña la secuencia de procesos pertinente para la fabricación de una o varias piezas, considerando la disponibilidad de máquinas herramienta y las operaciones posibles.	<ul style="list-style-type: none"> Reconocer los contextos en los que es necesario planear procesos de maquinado. Entender los criterios y el procedimiento para planear una secuencia de operaciones. Comprender el principio funcional y el diseño de sujeciones y soportes y su influencia en la logística. Diseñar una carta tecnológica completa para la fabricación de una pieza mediante maquinado. 	1. RAZONAMIENTO Y CONOCIMIENTO TÉCNICO 1.2 Conocimiento fundamental nuclear de ingeniería. 2. ATRIBUTOS Y HABILIDADES PERSONALES Y PROFESIONALES 2.1. Razonamiento de ingeniería y resolución de problemas. 2.3. Pensamiento sistémico. 3. HABILIDADES INTERPERSONALES 3.2 Comunicaciones. 4. SISTEMAS CDIO EN EL CONTEXTO EMPRESARIAL Y SOCIAL 4.2 Contexto empresarial y de negocios.

Competencia	Metas – Objetivos	Nivel de CDIO Syllabus correspondiente
Comunica de manera clara y efectiva el resultado de aplicar sus conocimientos en la solución de un problema de ingeniería.	<ul style="list-style-type: none"> Revisar y evaluar los resultados obtenidos de la aplicación práctica de todos los conceptos y procedimientos tratados en el curso. 	1. RAZONAMIENTO Y CONOCIMIENTO TÉCNICO 1.2 Conocimiento fundamental nuclear de ingeniería. 2. ATRIBUTOS Y HABILIDADES PERSONALES Y PROFESIONALES 2.1. Razonamiento de ingeniería y resolución de problemas. 2.3. Pensamiento sistémico. 3. HABILIDADES INTERPERSONALES 3.2 Comunicaciones. 4. SISTEMAS CDIO EN EL CONTEXTO EMPRESARIAL Y SOCIAL 4.2 Contexto empresarial y de negocios.

Anexo C: Prueba de conocimientos asociados a las competencias definidas de maquinado

PRUEBA PROCESOS DE MANUFACTURA II – 2012

CONOCIMIENTOS GENERALES EN COMPETENCIAS PARA PROCESOS DE MAQUINADO.

NOMBRE:

CÓDIGO:

Por favor, rellene completamente la respuesta correcta en la tabla de respuestas final según sea el caso y de acuerdo con el tipo de pregunta. Al final, relacione las preguntas que le parecieron más fáciles y más difíciles. Tiempo para completar la prueba: 30 minutos.

Comprensión de procesos de maquinado

1. Se define avance como:

- El movimiento de penetración que determina la velocidad de corte.
- El movimiento de la herramienta que determina el volumen removido de material.
- El desplazamiento fundamental de la pieza de trabajo respecto a la herramienta.
- El desplazamiento relativo de la herramienta respecto a la pieza.

2. Una operación de desbaste involucra una de estas combinaciones de parámetros:

- Baja velocidad de corte, avance y profundidad de corte.
- Alta velocidad de corte, bajos avance y profundidad de corte.
- Baja velocidad de corte, altos avance y profundidad de corte.
- Alta velocidad de corte, avance y profundidad de corte.

3. El trabajo con altas velocidades de corte en torneado se utiliza para:

- Operaciones de desbaste.
- Operaciones de acabado.
- Operaciones con grandes avances.
- Operaciones con grandes profundidades de corte.

4. En un torno, una herramienta *izquierda* generalmente:

- Efectúa el corte hacia la copa.
- Efectúa el corte hacia el eje de la pieza.
- Efectúa el corte alejándose de la copa.
- Efectúa el corte alejándose del eje de la pieza.

5. En una operación de fresado frontal, el eje de la herramienta de corte:

- Se desplaza de forma perpendicular a la pieza.
- Se desplaza de forma paralela a la pieza.
- Se desplaza de forma concéntrica a la pieza.
- Se desplaza de forma tangencial a la pieza.

Selección de insumos bajo condiciones específicas.

6. ¿Qué pasa si el radio de punta de una herramienta de corte es demasiado grande?

- El acabado de la pieza tiende a parecerse al de un laminado.
- Aumenta la vibración en la pieza de trabajo.
- Se gana más masa en la pieza de trabajo.
- Se desprende viruta más gruesa.

7. ¿Qué condición de las siguientes podría evidenciar que la herramienta de corte está sin filo?

- a. Se afecta notablemente la temperatura de la pieza.
 - b. La viruta desprendida no se fragmenta.
 - c. Aumenta excesivamente la rugosidad de la superficie maquinada.
 - d. La viruta desprendida no cambia de forma.
8. Los ángulos que determinan la geometría de la herramienta de corte influyen principalmente en:
- a. El avance.
 - b. La cantidad de fluido de corte que se debe utilizar.
 - c. La velocidad de corte.
 - d. Las fuerzas de corte.

9. Para el material de una herramienta de corte, se requiere:

- a. Alta rigidez y resistencia a la deformación y baja fricción con el material de la pieza de trabajo a la temperatura del proceso.
- b. Buena afinidad química con el material de trabajo, con el fin de reducir el desgaste.
- c. Alta capacidad de deformación y de soportar esfuerzo, y baja tenacidad de fractura a la temperatura de proceso.
- d. Buena resiliencia y bajo módulo de elasticidad, para prevenir el colapso del filo.

Elaboración de presupuestos y estimaciones

Para esta competencia, las preguntas tendrán tres opciones de respuesta con una sola correcta.

10. En una operación de desbaste en cilindrado, para un material determinado se disminuye el costo de su elaboración:

- a. Aumentando la velocidad de rotación de la pieza.
- b. Incrementando la velocidad de avance.
- c. Utilizando la mayor profundidad de corte posible.

11. Matemáticamente hablando, la optimización de cualquier proceso de maquinado implica seguir los siguientes pasos:

- a. Formular una función objetivo, definir las restricciones y aplicar la mejor técnica de optimización.
- b. Definir la variable a optimizar, definir los valores iniciales y finales que toma y aplicar la técnica de optimización acorde.
- c. Seleccionar el mejor material, seleccionar la mejor herramienta y calcular los parámetros

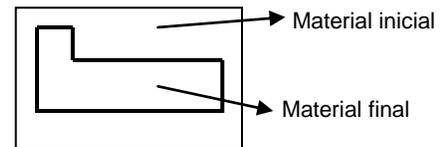
de corte asociados a la combinación de ambos.

Selección e implementación de nuevas tecnologías

12. Se desea efectuar el corte de ciertos productos hechos de harina de trigo en una empresa comercializadora de dulces. Un proceso novedoso, adecuado para ello, es:

- a. Corte por maquinado químico.
- b. Corte mediante láser.
- c. Corte mediante chorro de agua.
- d. Corte mediante ultrasonido.

13. Una empresa desarrolla el corte de platinas cuya geometría exterior final es en forma de L, tal como se muestra en la figura.



Para ello emplean una fresadora universal. El gerente de la empresa desea aumentar masivamente la cantidad de unidades fabricadas minimizando el costo, por lo cual piensa adquirir una nueva máquina. Como profesional del área, usted aconsejaría adquirir:

- a. Una máquina de electroerosionado por hilo.
- b. Un centro de mecanizado.
- c. Una fresadora de control numérico computarizado.
- d. Una máquina de corte por rayo láser.

Planeación de procesos

Para esta competencia, las preguntas tendrán tres opciones de respuesta con crédito parcial. Es decir, cada opción tiene un puntaje determinado, y una de las opciones dará el máximo puntaje. Seleccione aquella opción que considere de mayor valor.

14. Un colega ingeniero requiere fabricar por maquinado una pieza en serie; usted le recomienda:

- a. Buscar en una fuente fiable de información (Handbook, base de datos, etc.) una pieza de geometría similar para la que se haya desarrollado una secuencia de fabricación y adaptarla a la nueva pieza, dado que la secuencia encontrada es factible.
- b. Encargar el trabajo a un técnico experto, reconocido por haber fabricado piezas como la requerida, para que defina los

parámetros de trabajo y lo entregue a tiempo.

- c. Reconocer las distintas geometrías de la pieza, saber qué tipo de máquinas pueden generarlas, definir una secuencia para trabajar en esas máquinas y hacer pruebas para verificar si los parámetros de la secuencia son los adecuados.

15. ¿Qué se debe hacer para calcular cuánto tiempo toma fabricar una pieza?

- a. Efectuar una serie de maquinados de ensayo para una velocidad de corte dada, tomar tiempos y promediarlos, agregando un factor de seguridad.
- b. Simular el proceso completamente en un programa CAM y verificar el tiempo que el programa arroja.
- c. Analizar las operaciones requeridas, calcular el tiempo de maquinado de cada una, agregar tiempo de alistamiento y montaje e incrementar en un factor de seguridad.

Programación CNC – CAM

16. Se va a modificar un programa de fabricación CNC obtenido mediante software CAM para que se incremente el avance de 100 a 250 mm/min. Por tanto, se debe cambiar:

- a. El número que le sigue a la letra S.
- b. El número que le sigue a la letra F.
- c. El número que corresponde a la condición inicial G90.
- d. El número que corresponde a la condición inicial M30.

17. En una máquina CNC un operario necesita fabricar una pieza de geometría compleja, por lo que se requiere trabajar en coordenadas incrementales. Esto implica:

- a. Configurar la máquina en modo rápido.
- b. Configurar la máquina en modo de avance seco.
- c. Configurar la máquina para que trabaje el programa con el código G91.
- d. Configurar la máquina para que trabaje el programa con el código G90.

18. Un programador está trabajando en coordenadas absolutas. La máquina tiene límites verticales en 5 mm por encima y por debajo del cero de máquina.

Por error, escribe “Z -3.5” en vez de “Z 3.5”. Al momento de ejecutar el programa:

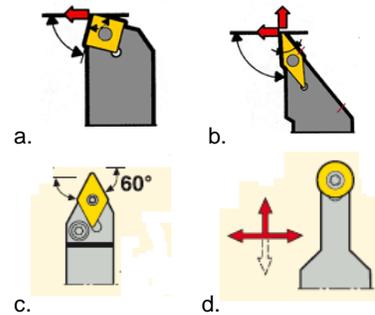
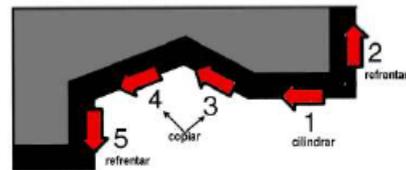
- a. La herramienta vuelve al cero de máquina y deja de ejecutarse.
- b. La herramienta se enciende 3.5 mm por debajo del plano de trabajo, en vez de hacerlo por encima de dicho plano.
- c. Al llegar a la posición “Z -3.5”, la herramienta se detiene y arroja una alarma.
- d. La herramienta se desplazará 3.5 mm por debajo del cero de pieza, en vez de desplazarse a 3.5 mm por encima del cero.

Selección práctica de herramientas de corte

19. Para un ingeniero que planea la adquisición de recursos en una empresa de mecanizado, si requiere seleccionar una herramienta de corte, los datos mínimos de entrada, sin los cuales no puede seleccionar la herramienta, son:

- a. Las dimensiones finales de la pieza y de la herramienta.
- b. La velocidad de corte y el avance.
- c. Las tolerancias dimensionales y geométricas y el valor de rugosidad media.
- d. El material a maquinar, el tipo de operación y las condiciones de corte (tipo de máquina, cantidad de fluido de corte, etc.).

20. En la siguiente figura, se necesita ejecutar la secuencia de operaciones de corte 3 – 4, que deben quedar con radios mínimos de redondeo en los vértices. La herramienta pertinente para ello es:



Anexo D: Publicaciones surgidas del trabajo de tesis



Ingeniería Mecánica. Vol. 16. No. 1, enero-abril, 2013, p. 59-71

ISSN 1815-5944

Artículo de Revisión

Actualidad y perspectivas en la enseñanza del área de manufactura a estudiantes de ingeniería

Current and future perspectives in teaching manufacturing area to engineering students

Juan David Orjuela-Méndez, José Manuel Arroyo-Osorio, Rodolfo Rodríguez-Baracaldo

Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería - Sede Bogotá. Bogotá. Colombia

Correo electrónico: idorjuelam@unal.edu.co

Recibido: 16 de junio de 2012

Aceptado: 25 de octubre de 2012

Resumen

Este trabajo es una revisión sobre los desafíos que se presentan en la formación de ingenieros para desempeñarse en manufactura y las propuestas de tipo curricular y didáctico para enfrentar los desafíos detectados. Se decanta que la industria de manufactura contemporánea está sometida a una dinámica de transformación paulatinamente más rápida para satisfacer las demandas locales y globales. Varios investigadores plantean que esta dinámica se debe reflejar también en la educación en ingeniería e indican la necesidad inaplazable de integrar el conocimiento práctico en el currículo. Se evidencia también una rápida expansión e influencia de las tecnologías de la información y comunicaciones en los procesos educativos y son puestos en consideración los nuevos estilos de aprendizaje de los jóvenes y su influencia en las prácticas utilizadas en el aula. Finalmente, se reportan varios enfoques estructurados para evaluar, ajustar y rediseñar las acciones de formación, entre otras, el aprendizaje por proyectos.

Palabras claves: ingeniería, procesos de manufactura, enseñanza, aprendizaje, enfoques estructurados.

Abstract

This paper is a review of the challenges presented in the training of engineers to work in the manufacturing industry and the proposals of curricular and didactic kind to address the challenges identified. It is remarkable that the modern manufacturing industry is under a dynamic transformation gradually faster to meet the local and global demands. Several researchers have suggested that this dynamic should be reflected also in engineering education and indicate the urgent need to integrate practical knowledge into the curriculum. Also is found a rapid expansion and influence of information and communication technologies in education and are put into consideration the new learning styles of young people and their influence on classroom practices. Finally, are reported several structured approaches to evaluate, adjust and redesign the training actions, among others, project based learning.

Key words: engineering, manufacturing processes, teaching, learning, structured approaches.

Introducción

La manufactura puede ser, sin duda, un componente estratégico de la economía de un país. Este sector, lleno de actividades desafiantes que influyen en la productividad y competitividad, está íntimamente conectado a las radicalmente nuevas formas de circulación de productos y servicios en el planeta (globalización, negocios digitales, en línea y en tiempo real), y con ello, a la generación de riqueza material y valor agregado social. El presente artículo se ha realizado con el propósito de entender el contexto actual y las necesidades específicas para desarrollar la enseñanza del área de manufactura a estudiantes de ingeniería.

La industria de fabricación está pasando por un proceso de cambios que se han acelerado en los últimos años. En medio de un ambiente de aguda competencia a nivel global, los fabricantes seguirán gestionando la manufactura de sus productos donde vean las condiciones más favorables en términos de costos, tiempo y calidad. Actualmente, las fluctuaciones y dinámicas en el mercado implican, con más fuerza, diseños novedosos y diferentes, así como la disminución en los tamaños de los lotes de producción, lo que conlleva a su vez la necesidad de diseñar y fabricar con mínimos retrasos [1]. Todo lo anterior produce consecuencias evidentes en términos de los requerimientos de formación de los ingenieros que gestionarán los diferentes sistemas de manufactura.

La industria de manufactura contemporánea debe transformarse permanentemente para lograr sostenibilidad y competitividad [2]. También está sometida a dinámicas que requieren de ella altos niveles de flexibilidad y una adecuada capacidad de interpretar lo que sucede en su ambiente, así como la habilidad de planear y llevar a cabo distintas estrategias de fabricación [3]. Para alcanzar estos objetivos, deben apropiarse los nuevos conocimientos obtenidos en los procesos de investigación y desarrollo a todo nivel, que incluyen las innovaciones en la enseñanza de la ingeniería de manufactura, así como las estrategias exitosas que utilizan los encargados del manejo y puesta en marcha de las tecnologías de fabricación en la industria. Dentro de estos, los profesionales en diferentes especialidades de ingeniería, como mecánica, industrial, eléctrica, electrónica e informática son generalmente los encargados de proporcionar las competencias en ingeniería de manufactura a las empresas en áreas como la mecánica, la investigación de operaciones, la fabricación, la cibernética, la electrónica, etc. [1].

Rolstadás [1, 4, 5], indica en sus estudios sobre educación global que el dominio de la manufactura es de orientación práctica. Las nuevas soluciones y mejoras se encuentran a menudo mediante la experimentación en la práctica. En eso difiere de otras áreas, donde en general la teoría y el *know-how* son las fuerzas dominantes y, a menudo, son fuente de innovaciones. Entonces, para formar ingenieros de fabricación, es esencial que este conocimiento práctico se vea integrado en el currículo y esto, al parecer, no sucede actualmente, pues de acuerdo con lo encontrado por Rolstadás [1], los programas profesionales existentes en Manufactura tienden a poner mayor énfasis en la teoría. De lo anterior se infiere la necesidad de evaluar, y en últimas, rediseñar, las estrategias didácticas para formar ingenieros en las áreas relacionadas con la industria de manufactura en general.

De esto último se infiere la necesidad de una nueva concepción curricular en la que se evidencien las estrategias didácticas requeridas para formar ingenieros en las áreas relacionadas con la industria de manufactura en general. En Estados Unidos [6] y en Asia Oriental [7], por ejemplo, ya se han dado pasos significativos y se reseñarán varios de ellos. Son, en cambio, relativamente pocos (en comparación con los estudios mundiales reportados) los esfuerzos divulgados en los países de América Latina, de los cuales se incluyen algunos ejemplos [8-12] que están, sin embargo, más orientados a competencias generales que a las necesidades específicas de la formación en manufactura. Otros pocos estudios reconocen los logros alcanzados en regiones desarrolladas y sus implicaciones para Latinoamérica [13].

Desafíos para formar ingenieros de manufactura

Como una consecuencia natural de los cambios que se han generado en las tendencias de la industria de producción, a nivel global se ha observado la necesidad, por parte no solamente de la academia, sino de los líderes en la industria y de los entes gubernamentales de los países, de reformular los atributos profesionales y personales esperados por parte de los futuros ingenieros; esta afirmación se concluye de los resultados publicados en distintas partes del mundo, varios de los cuales se presentan en esta sección.

Dentro del gran número de procesos de manufactura disponibles actualmente, los procesos de fabricación por arranque de viruta son todavía muy utilizados para la realización de todo tipo de productos. En comparación con otras tecnologías, el proceso de mecanizado se caracteriza por su alta calidad de superficie y por su precisión. Actualmente alrededor del 70% de todas las máquinas dedicadas a la producción son

Juan David Orjuela-Méndez, José Manuel Arroyo-Osorio, Rodolfo Rodríguez-Baracaldo

máquinas herramientas para ejecutar procesos de maquinado, de ahí su gran importancia en la industria de manufactura [14] y la necesidad de formar profesionales con competencias específicas para gestionar sistemas de fabricación que utilicen mecanizado.

Choi [15] destaca el rol fundamental que tiene la educación de los futuros ingenieros de manufactura, no solamente para mantener las fortalezas en el contexto de la fabricación dentro de su estado actual, sino para permitir la adquisición de nuevas capacidades y habilidades de frente a desafíos y tecnologías emergentes. Este proceso implica, de acuerdo con lo discernido por Crawley et al. [16], analizar permanentemente las mejoras introducidas en el ámbito de la educación en ingeniería.

G. Bengu y W. Swart [17] mencionaban en su momento que la educación en manufactura no estaba acorde con los avances recientes de la industria, y que para mejorarla, era necesario cambiar no solamente el enfoque de enseñanza – aprendizaje, sino incorporar nuevas herramientas y tecnologías que promuevan el aprendizaje efectivo y que faciliten el mejoramiento continuo. Para los países en desarrollo, es aún más cierta esta observación, teniendo en cuenta que estas naciones deben superar la brecha simultáneamente en industria y en educación.

Una reflexión de notable interés la aporta S. Fenster [18], quien en su artículo de opinión frente a la pregunta de por qué las instituciones de educación superior no están formando la fuerza de trabajo acorde a las necesidades contemporáneas, indica que, al menos en parte, la culpa es de las escuelas universitarias de ingeniería que no están preparando a los jóvenes para las oportunidades de desempeño profesional que estarán abiertas para ellos. El autor señala que las escuelas de ingeniería siguen preparando a los graduados sin un adecuado reconocimiento de las oportunidades que existen ni de las posibles opciones profesionales que sus egresados seguirán. S. Fenster [18], reseña también algunas de las habilidades en las que falta enfatizar en la formación de ingenieros, con base en un estudio adelantado por la *Society of Manufacturing Engineers* (SME).

W. ElMaraghy y H. ElMaraghy [19] señalan que la educación en manufactura está viviendo el mayor cambio real en las últimas décadas, puesto que las instituciones se esfuerzan por preparar mejor a los graduados de ingeniería para actuar en la dinámica economía industrial a nivel global. Esto se lleva a cabo a menudo con grandes limitaciones en los presupuestos, requiriéndose entonces enfoques nuevos e innovadores a nivel educativo, en los cuales tanto los recursos como los requisitos de la industria se combinen para generar programas que satisfagan las necesidades formativas de los estudiantes. Así mismo, autores como K. Stephan y V. Sriraman [20], afirman que cualquier sistema de educación que ignore la realidad en la que se encuentran las compañías multinacionales, cadenas de suministro globales y los mercados internacionales se debe percibir como “anticuada y provincial”. Cabe resaltar, dentro de la misma línea, el resultado reseñado por I. Hunt et al. [21] en un estudio dentro del marco de la iniciativa IMS (*Intelligent Manufacturing Systems*), que indica la necesidad de un cambio radical en el sistema educativo para los profesionales de la fabricación. Así mismo, identificó la necesidad de un plan de estudios de aplicación global y bien definido en la industria manufacturera que pudiera mejorar significativamente las capacidades de los ingenieros.

J. A. de Simone [22] indicaba en su momento que, en síntesis, las estrategias curriculares y metodológicas en la educación técnico-profesional deberían, entre otros aspectos, considerar (o elaborar) currículos flexibles para adaptarse rápidamente a los cambios del sistema productivo, así como ofrecer planteamientos e interrogantes determinados mediante la investigación participativa sobre las necesidades del sistema productivo en relación con la tecnología, los tipos de productos, los mercados y otros factores. H. Vessuri [23] concluye que una serie de cambios deben ser incluidos en una estrategia de modernización y desarrollo dinámico del sector educativo para asegurar su eficacia, entre ellos, el replanteo de las relaciones entre pregrado y posgrado, acompañando la transformación institucional en términos de una gestión universitaria más moderna, el establecimiento de carreras cortas, medianas y largas, así como la redefinición de las relaciones entre carreras, profesiones, investigación y educación continua. Ambos, de Simone [22] y Vessuri [23], reconocen la importancia de incorporar estrategias de aprendizaje que respondan a la necesidad de las empresas manufactureras de contar con el recurso humano idóneo, con conocimiento de elementos prácticos que contribuyan al mejoramiento y optimización de los procesos de fabricación. Es pertinente aquí retomar, como ilustración de la problemática enunciada, las palabras de Peters [24]: “La educación en diseño y manufactura ha sido siempre un desafío, la irrupción de la electrónica y las técnicas informáticas en los sistemas de manufactura no aliviaron el problema. La industria manufacturera en general no se limita a las prácticas tradicionales y está dispuesta permanentemente a utilizar las más recientes adquisiciones de la ciencia y la tecnología, siempre y cuando demuestren ser fiables y rentables”.

Influencia de los estilos de aprendizaje de los jóvenes

Entre las iniciativas que han buscado identificar las tendencias pedagógicas adecuadas para el desarrollo de competencias en los futuros ingenieros está el trabajo pionero desarrollado por R. Felder y L. Silverman [25], en el cual se explora la respuesta a tres preguntas: ¿Qué aspectos del estilo de aprendizaje son particularmente relevantes (o significativos) en la educación en ingeniería?, ¿Cuáles estilos de aprendizaje prefieren los estudiantes y de ellos cuáles se ven favorecidos por los estilos de enseñanza de la mayoría de docentes?, ¿Qué se puede hacer para llegar a los estudiantes cuyos estilos de aprendizaje no son trabajados por los métodos habituales de enseñanza de la ingeniería?. De acuerdo con las conclusiones obtenidas por los autores, se afirma que los estilos de aprendizaje de la mayoría de los estudiantes de ingeniería y los estilos de enseñanza correspondientes a la mayoría de sus profesores son incompatibles en varias dimensiones.

Los autores mencionados [25] afirman que la mayoría de los jóvenes contemporáneos son visuales, sensoriales, inductivos y activos; además, algunos de los estudiantes más creativos abordan el aprendizaje de manera global, mientras que la educación en ingeniería es primordialmente de carácter auditivo, abstracto (en sentido intuitivo), deductivo, pasivo, y secuencial. Estas diferencias conducen a los estudiantes a pobres desempeños, así como ocasionan la frustración de sus profesores, y una pérdida para la sociedad de muchos ingenieros potencialmente excelentes. De otra parte, se menciona que a pesar de que hay una amplia diversidad de estilos con los cuales los alumnos aprenden, incluir un número relativamente pequeño de las técnicas en una clase tradicional debería ser suficiente para satisfacer las necesidades de la mayoría (o incluso la totalidad) de los estudiantes en cualquier clase; para ello, los autores sugieren un conjunto de técnicas específicas a ser aplicadas.

En el trabajo de J. Mills y D. Treagust [26] se discute la aplicación de dos estilos de aprendizaje predominantes en la educación en ingeniería (aprendizaje basado en problemas vs. basado en proyectos), examinando algunas diferencias entre ellos y algunos ejemplos de uso. Los autores mencionan que, a pesar de los desafíos que impone el mundo actual, el modelo predominante de la enseñanza de la ingeniería sigue siendo similar al practicado en la década de 1950 "tiza y charla", con grupos de clase de tamaño considerable, sobre todo en las disciplinas de los primeros años de estudio. Afirman estos autores que los avances en los enfoques de aprendizaje centrados en el estudiante, como el basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos, han tenido relativamente poco impacto en la educación tradicional en ingeniería. Afirman también, que se ha demostrado que dentro de la academia y en el ejercicio de la ingeniería están más arraigados los conceptos de proyectos que los conceptos de aprendizaje basado en problemas. Parece, pues, probable que el aprendizaje basado en proyectos sea más fácilmente adoptable por los programas universitarios de Ingeniería que el aprendizaje basado en problemas.

Aspectos de diseño curricular y didáctico

En las secciones anteriores se ha presentado el contexto de formación y desempeño profesional al que se ve enfrentado el futuro ingeniero de fabricación, cabe examinar ahora las posibilidades de reforma e intervención en términos de los aspectos curriculares (es decir, referentes al plan de estudios, contenidos y evaluación) y las estrategias didácticas (es decir, las acciones llevadas a cabo directamente en el aula por parte del docente) que se han propuesto para atender a las necesidades planteadas.

Sobre diseño curricular en general es importante tener en cuenta que hay múltiples concepciones de currículo enunciadas por diferentes autores, al respecto Scott [27] reseña que es posible hablar del currículo como un conjunto de objetivos del comportamiento, según lo propuesto por Popham, o como un proceso, de acuerdo a la visión de Stenhouse. La concepción orientada a la verificación de objetivos, corresponde más cercanamente al concepto de la formación por competencias. Particularmente en relación con el diseño curricular basado en competencias y aplicado a la enseñanza de la ingeniería, es importante el reporte de R. Felder y R. Brent [28], en el que los autores proponen un método para salvar la brecha existente al tratar de dotar a los estudiantes de ingeniería con las habilidades y actitudes enumeradas en los *Engineering Criteria 2000* formulados por el ABET (*Accreditation Board for Engineering and Technology*). Para ello se propone, por ejemplo, la descripción general del proceso de acreditación y se aclaran el conjunto de términos asociados a este proceso (objetivos, resultados, indicadores de resultados, etc.), también proporciona orientación sobre la formulación de objetivos de aprendizaje del programa y métodos de evaluación, lo cual incluye identificar y describir las técnicas de instrucción que deberían preparar efectivamente a los estudiantes para lograr las cualidades enunciadas por ABET al momento de graduarse. El fin último es

Juan David Orjuela-Méndez, José Manuel Arroyo-Osorio, Rodolfo Rodríguez-Baracaldo

proveer una estrategia que permita integrar las actividades propias de un curso al momento de diseñar un programa educativo que satisfaga los requerimientos de los criterios ABET.

En cuanto a la didáctica de los procesos de manufactura, R. Todd *et al.* [29] se preguntan si la urgencia (entendida en el sentido de la necesidad) que han tenido las empresas industriales de superar los enfoques tradicionales inerciales en la organización y diseño de procesos de manufactura se ha propagado a los sistemas de educación en que se forman los ingenieros que actúan en estas industrias. En el caso que estos autores estudiaron, observan que, en los criterios incluidos dentro de los estándares ABET se ofrece una mayor flexibilidad a los programas tradicionales y se fomenta la innovación en el currículo del programa, concluyendo que esta flexibilidad y apertura a la innovación parecen proporcionar oportunidades para expandir los contenidos en Manufactura de muchos programas de ingeniería. En este mismo sentido se manifiesta D. Waldorf [30], al mencionar que la ingeniería de Manufactura, como disciplina, debe evolucionar rápidamente para satisfacer las necesidades de la industria y, por tanto, los educadores en esta área deben hacer que evolucionen los sistemas y el currículo utilizados para preparar a las siguientes generaciones de ingenieros.

Una discusión interesante en torno a la reforma curricular en manufactura la proporcionan Jiang y Qi [31]; quienes describen algunos mecanismos para elevar la calidad de la enseñanza práctica, en términos de refinar los contenidos asociados al diseño y fabricación de maquinaria. Su discusión parte, entre otros hechos, de que han observado cómo los estudiantes no son capaces de desarrollar ciertas tareas correspondientes a diseño y manufactura una vez se encuentran desempeñándose en la industria. Estos autores indican como una posible explicación a este fenómeno la disminución en el tiempo de enseñanza, tanto total como especializada. En este panorama proponen como modelo de enseñanza el del profesor como guía y el estudiante como actor auto-determinante en el diseño de actividades prácticas para desarrollar en ellos las capacidades de expresarse, construir modelos, analizar, resolver y discutir problemas de ingeniería, innovar en el diseño de sistemas de máquinas y elementos, y la posibilidad de cooperar mediante el trabajo en equipo. Para ello estos investigadores han integrado actividades tales como simulación y programación de procesos de control numérico, manufactura y ensamble.

Como referente importante, resulta de interés ver que en Singapur, que es un país con una economía altamente influenciada por la manufactura, se han adelantado varios estudios a nivel de diseño curricular efectuados bajo el esquema de un estudio de mercado sobre las necesidades de la industria. Específicamente, S.G. Lee y W.N.P. Hung [32] concluyen que un internado de 24 semanas de prácticas formales en empresas, dentro del currículo en la Universidad de Nanyang, ha permitido que los estudiantes de manufactura puedan combinar el conocimiento del aula con la práctica real de la industria.

El modelo CDIO, un enfoque estructurado

Dentro de los enfoques educativos planteados ante los retos mencionados en la sección anterior se destaca el modelo CDIO que significa *Conceive, Design, Implement and Operate* (concebir o crear, diseñar, implementar y operar) y que está específicamente orientado a trasladar al currículo las necesidades de formación en ingeniería. Estas actividades constituyen un ciclo que, de acuerdo con lo propuesto por los autores de esta metodología [33], debe constituirse en la espina dorsal de la formación de los futuros ingenieros. Es importante indicar que CDIO es una guía general, que cada institución debe implementar de acuerdo con sus características y la cultura universitaria particular.

En lo estructural, la implementación del modelo CDIO supone abordar dos aspectos fundamentales: qué enseñar y cómo enseñarlo. En relación con el currículo, es decir, qué enseñar, el modelo propone un plan de estudios: el *CDIO syllabus*. En relación con la didáctica e implementación (el cómo enseñar), se creó un cuerpo de lineamientos, los *CDIO standards*. Para tener una mirada general de ambos instrumentos, se presenta en la figura 1 un esquema que sintetiza los procesos a seguir.

Actualidad y perspectivas en la enseñanza del área de manufactura a estudiantes de ingeniería

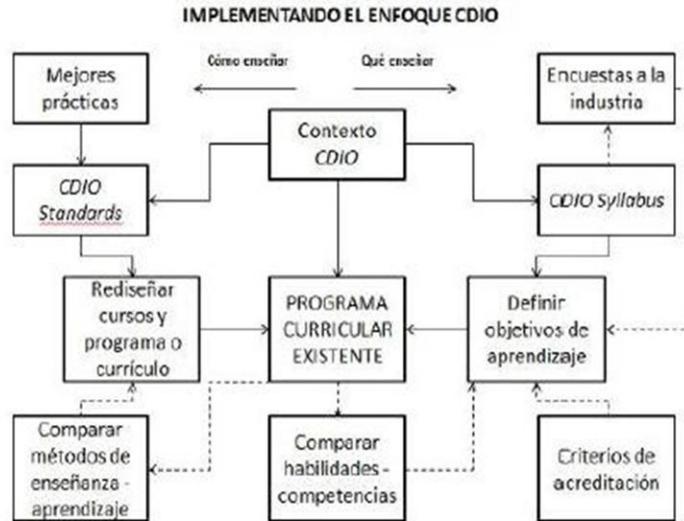


Fig. 1. Implementación del modelo CDIO. Adaptado de [33]

El enfoque CDIO fue implementado por F. Lino y T. Duarte [34], para reformular un curso de Maestría en cerámicas impartido en la Universidad de Porto, si bien el modelo principal utilizado fue la denominada "reformulación de Bologna". Los autores destacan los efectos favorables que tienen el empleo de la evaluación continua y la búsqueda de información permanente por parte de los estudiantes. También ha sido implementado en el ámbito del curso denominado Manufactura Mecánica desarrollado en varias universidades de China [35], y que cubre aspectos de ciencia de materiales, ingeniería mecánica y eléctrica, y teoría de control. Los autores describen, como ejemplo, la aplicación específica en un proyecto de maquinado para un eje con secciones de distintos diámetros. Concluyen que la práctica de enseñanza basada en CDIO promueve en los estudiantes mejores habilidades comprensivas y conduce a resultados muy positivos en términos de mejora y optimización del aprendizaje.

Estrategias basadas en desarrollo de proyectos

Un caso de aplicación de diseño curricular específico para procesos de mecanizado es el trabajo de M. Ssemakula [36], el cual describe un curso basado en prácticas de laboratorio bajo el enfoque *hands-on*. El curso proporciona una visión general para la comprensión del comportamiento en el mecanizado de los materiales de uso más frecuente, las técnicas básicas utilizadas en el procesamiento, la teoría científica que subyace en estos procesos, así como los criterios para la selección de los procesos adecuados. También incorpora una innovadora práctica de laboratorio, que consiste en proyectos de equipo que ayudan a los estudiantes a adquirir experiencia con determinados procesos de fabricación. Los proyectos comienzan con componentes simples que se pueden hacer en una sola máquina herramienta, y van progresando hacia la fabricación y montaje de un modelo de motor completamente funcional. El documento también discute la aplicación de las técnicas de aprendizaje colaborativo, utilizando herramientas de Internet para promover la interacción entre los miembros del equipo. En su discusión, el autor observa que hay varios estudiantes tentados a no participar completamente de las actividades del grupo, indicando que un elemento para evitar esto es incluir foros de discusión en línea, así como promover actividades desafiantes de aprendizaje colaborativo.

A nivel de sistemas completos, la Manufactura Integrada por Computador (CIM, por sus siglas en inglés), como tendencia reciente en el contexto industrial, ha sido objeto de investigación a nivel de currículo para ser integrada en los cursos tradicionales. Un ejemplo lo constituye el estudio realizado por Chowdhury y Mazid [37], en el cual se detallan los aspectos de diseño e implementación de un curso de CIM en la IUT (Universidad Islámica de tecnología, siglas en inglés), entre los que destacan los equipos empleados, los proyectos de curso llevados a cabo por los estudiantes y el desarrollo de cursos cortos que incorporan el tema. Los autores destacan que ha sido un desafío llevar a buen término la enseñanza de CIM, pero que de

Juan David Orjuela-Méndez, José Manuel Arroyo-Osorio, Rodolfo Rodríguez-Baracaldo

alguna manera se han visto resultados interesantes en las habilidades que adquieren los estudiantes, alcanzando parcialmente el objetivo planteado de proporcionar a la industria profesionales dotados con las competencias interdisciplinarias propias del ámbito de los sistemas CIM.

De otra parte, se observa la necesidad de desarrollar competencias específicas en maquinado, tales como el manejo adecuado de tecnologías de control numérico computarizado (CNC), en este sentido es destacable lo realizado por Fisher y Hofmann [38], quienes indican que muchas veces los estudiantes de ingeniería no están familiarizados con las máquinas que poseen este tipo de control, de manera que una vez están ejerciendo se les dificulta producir partes complejas en ellas. Con el objetivo de acercar al estudiante a dicha tecnología, los autores concibieron un curso de diseño y maquinado de moldes para inyección de plásticos a través de CNC. En este curso, los estudiantes llevaron a cabo proyectos de diseño e implementación de torneado y fresado mediante programación, así como el desarrollo de prototipos rápidos. En el trabajo se describe la metodología de evaluación para medir la efectividad didáctica de estos proyectos y los resultados indican que los estudiantes reconocieron fuertemente la importancia de incorporar este tipo de contenidos y habilidades en su formación.

Otro caso interesante de aplicación específica de aprendizaje activo y cooperativo en el ámbito de la manufactura se encuentra en el trabajo de N. Fang [39], en el cual se describe el resultado de implementar un enfoque de aprendizaje activo y cooperativo basado en proyectos (PB-ACL) que se ha desarrollado para hacer frente simultáneamente a cuatro brechas de competencias identificadas y que deben ser cerradas de cara a las necesidades de la industria de fabricación por los programas educativos actuales. Los vacíos de competencias identificados son: (a) conocimientos de procesos de fabricación específicos, (b) conocimiento general del negocio de manufactura, (c) comunicación oral y escrita, y (d) trabajo en equipo. Los autores desarrollaron un cuestionario tipo Likert [40,41] y otro abierto para evaluar los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

Con un enfoque similar, Z. Zhou y A. Donaldson [42], realizaron una investigación sobre la enseñanza de un curso de procesos de fabricación bajo el enfoque de aprendizaje basado en proyectos (PBL, sigla en inglés) a nivel de pregrado, con el fin de concentrarse en la reducción de la brecha entre lo que se ha enseñado en el aula y lo que se practica en la planta de fabricación. En lugar del enfoque tradicional (conferencia, lectura, tarea, examen), a cada estudiante se le pide que complete un proyecto durante el semestre en las áreas de procesos y materiales de fabricación. Para medir la efectividad de dicho enfoque, los autores condujeron encuestas orientadas a medir la incidencia futura de la metodología aplicada en el ejercicio profesional.

También cabe destacar la investigación conducida por Pereira *et al.* [43], quienes adelantaron la implementación de enseñanza basada en proyectos en el desarrollo de una línea de manufactura para laboratorio en el marco de un curso de simulación y optimización de procesos; para ello describen el arreglo experimental, la metodología de evaluación y los resultados obtenidos por los estudiantes durante el curso, especialmente en términos de lo que se gana en la simulación de líneas de producción y en la aplicación de conceptos específicos de optimización. Los autores indican las ventajas de este tipo de enseñanza, que involucra el trabajo con experiencias realistas para los estudiantes aumentando su motivación y desarrollando en ellos habilidades prácticas; no obstante indican que emplear estudios de caso basados en problemas reales de la industria consume tiempo y requiere un conocimiento muy profundo del contexto.

Impacto de las tecnologías de la información

En el área emergente de aplicación de las TIC (tecnologías de la información) a la educación en todos los ámbitos del área de manufactura, cabe señalar lo estudiado por Babulak [44], quien hace una reseña del desarrollo de nuevas tecnologías basadas en Internet, aplicadas a entornos y máquinas de fabricación por CNC, y quien igualmente señala las tendencias futuras en este sentido (e-manufacturing), todas orientadas hacia niveles cada vez mayores de miniaturización, velocidad de procesamiento de datos y accesibilidad. De otra parte, Kraebber y Lehman [45] llevaron a cabo un estudio mediante encuestas para determinar todas las herramientas denominadas por los autores como tecnologías educativas, que están siendo empleadas en el campo de la formación en ingeniería y tecnología de manufactura. Las más establecidas corresponden a elementos tradicionales como los procesadores de texto, correo electrónico, diapositivas y gráficas de presentación. No obstante, reportan igualmente un uso cada vez más generalizado de tecnologías emergentes (software CAD, de planeación de operaciones, ERP y MRP, entre otros) y uso colaborativo de internet. También se indica que los educadores esperan mayores niveles de incentivo para aplicar con más intensidad este tipo de herramientas. Así mismo, en Malasia se ha explorado el efecto de potenciar la integración entre la industria y la educación en manufactura a través de la implementación de centros de

Juan David Orjuela-Méndez, José Manuel Arroyo-Osorio, Rodolfo Rodríguez- Baracaldo

alguna manera se han visto resultados interesantes en las habilidades que adquieren los estudiantes, alcanzando parcialmente el objetivo planteado de proporcionar a la industria profesionales dotados con las competencias interdisciplinarias propias del ámbito de los sistemas CIM.

De otra parte, se observa la necesidad de desarrollar competencias específicas en maquinado, tales como el manejo adecuado de tecnologías de control numérico computarizado (CNC), en este sentido es destacable lo realizado por Fisher y Hofmann [38], quienes indican que muchas veces los estudiantes de ingeniería no están familiarizados con las máquinas que poseen este tipo de control, de manera que una vez están ejerciendo se les dificulta producir partes complejas en ellas. Con el objetivo de acercar al estudiante a dicha tecnología, los autores concibieron un curso de diseño y maquinado de moldes para inyección de plásticos a través de CNC. En este curso, los estudiantes llevaron a cabo proyectos de diseño e implementación de torneado y fresado mediante programación, así como el desarrollo de prototipos rápidos. En el trabajo se describe la metodología de evaluación para medir la efectividad didáctica de estos proyectos y los resultados indican que los estudiantes reconocieron fuertemente la importancia de incorporar este tipo de contenidos y habilidades en su formación.

Otro caso interesante de aplicación específica de aprendizaje activo y cooperativo en el ámbito de la manufactura se encuentra en el trabajo de N. Fang [39], en el cual se describe el resultado de implementar un enfoque de aprendizaje activo y cooperativo basado en proyectos (PB-ACL) que se ha desarrollado para hacer frente simultáneamente a cuatro brechas de competencias identificadas y que deben ser cerradas de cara a las necesidades de la industria de fabricación por los programas educativos actuales. Los vacíos de competencias identificados son: (a) conocimientos de procesos de fabricación específicos, (b) conocimiento general del negocio de manufactura, (c) comunicación oral y escrita, y (d) trabajo en equipo. Los autores desarrollaron un cuestionario tipo Likert [40,41] y otro abierto para evaluar los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

Con un enfoque similar, Z. Zhou y A. Donaldson [42], realizaron una investigación sobre la enseñanza de un curso de procesos de fabricación bajo el enfoque de aprendizaje basado en proyectos (PBL, sigla en inglés) a nivel de pregrado, con el fin de concentrarse en la reducción de la brecha entre lo que se ha enseñado en el aula y lo que se practica en la planta de fabricación. En lugar del enfoque tradicional (conferencia, lectura, tarea, examen), a cada estudiante se le pide que complete un proyecto durante el semestre en las áreas de procesos y materiales de fabricación. Para medir la efectividad de dicho enfoque, los autores condujeron encuestas orientadas a medir la incidencia futura de la metodología aplicada en el ejercicio profesional.

También cabe destacar la investigación conducida por Pereira *et al.* [43], quienes adelantaron la implementación de enseñanza basada en proyectos en el desarrollo de una línea de manufactura para laboratorio en el marco de un curso de simulación y optimización de procesos; para ello describen el arreglo experimental, la metodología de evaluación y los resultados obtenidos por los estudiantes durante el curso, especialmente en términos de lo que se gana en la simulación de líneas de producción y en la aplicación de conceptos específicos de optimización. Los autores indican las ventajas de este tipo de enseñanza, que involucra el trabajo con experiencias realistas para los estudiantes aumentando su motivación y desarrollando en ellos habilidades prácticas; no obstante indican que emplear estudios de caso basados en problemas reales de la industria consume tiempo y requiere un conocimiento muy profundo del contexto.

Impacto de las tecnologías de la información

En el área emergente de aplicación de las TIC (tecnologías de la información) a la educación en todos los ámbitos del área de manufactura, cabe señalar lo estudiado por Babulak [44], quien hace una reseña del desarrollo de nuevas tecnologías basadas en Internet, aplicadas a entornos y máquinas de fabricación por CNC, y quien igualmente señala las tendencias futuras en este sentido (e-manufacturing), todas orientadas hacia niveles cada vez mayores de miniaturización, velocidad de procesamiento de datos y accesibilidad. De otra parte, Kraebber y Lehman [45] llevaron a cabo un estudio mediante encuestas para determinar todas las herramientas denominadas por los autores como tecnologías educativas, que están siendo empleadas en el campo de la formación en ingeniería y tecnología de manufactura. Las más establecidas corresponden a elementos tradicionales como los procesadores de texto, correo electrónico, diapositivas y gráficas de presentación. No obstante, reportan igualmente un uso cada vez más generalizado de tecnologías emergentes (software CAD, de planeación de operaciones, ERP y MRP, entre otros) y uso colaborativo de internet. También se indica que los educadores esperan mayores niveles de incentivo para aplicar con más intensidad este tipo de herramientas. Así mismo, en Malasia se ha explorado el efecto de potenciar la integración entre la industria y la educación en manufactura a través de la implementación de centros de

Conclusiones

El contexto en el cual se deben desempeñar los ingenieros del futuro, las tendencias económicas, la evolución tecnológica acelerada por las tecnologías de la información y los resultados en investigación pedagógica aplicada, determinan la necesidad de efectuar cambios a nivel curricular y didáctico para la enseñanza de las áreas relacionadas con ingeniería de manufactura. Se observa que, por lo general, varias reformas en la enseñanza implementadas actualmente a nivel mundial se sustentan en las dinámicas que afectan a la industria; en varios países, se han elaborado propuestas formativas que tienen en cuenta las condiciones continuamente cambiantes del entorno industrial, específicamente la globalización de los mercados, la virtualización de los servicios, los requerimientos de sostenibilidad y la necesidad apremiante de elevada competitividad. De manera que se recomienda, como punto de partida, analizar a profundidad la situación en la que se encuentran las industrias latinoamericanas y los requerimientos que surgen de esta situación, con el fin de formular nuevos objetivos y estrategias de enseñanza y aprendizaje para nuestras facultades y cursos de manufactura en ingeniería.

Con respecto a la enseñanza de la ingeniería en general, se observa cómo se han implementado metodologías estructuradas de diseño curricular en las cuales se definen objetivos específicos de aprendizaje, alineados con la evaluación del desempeño y con el diseño de actividades didácticas, teniendo en cuenta los estilos de aprendizaje de los jóvenes de hoy y la forma como se adquieren las habilidades fundamentales en ingeniería. En el contexto de los países latinoamericanos y del Caribe, es imperativo tomar acciones conducentes a diseñar estrategias pedagógicas y didácticas que conduzcan a la formación de los ingenieros de manufactura que con apremio requieren nuestras economías e industrias. Los métodos estructurados orientados al contexto de la ingeniería (por ejemplo, la iniciativa CDIO) representan una interesante alternativa para rediseñar los cursos de tal forma que involucren al estudiante con la aplicación de los conceptos teóricos en la práctica, y que aprovechen sus estilos y disposiciones particulares para aprender en un entorno de trabajo interdisciplinar y con un enfoque activo como el aprendizaje basado en proyectos o el aprendizaje cooperativo.

Adicionalmente, cabe destacar que los estudiantes de ingeniería de nuestros tiempos tienen características particulares de aprendizaje que difieren de aquellas con las cuales se formaron los ingenieros de la pasada era industrial. Así mismo, las ya mencionadas condiciones del entorno actual en el que se desempeñan los ingenieros requieren del desarrollo de nuevas habilidades y competencias, quizá ignoradas en otros tiempos, como el trabajo en equipo, la comunicación (que incide en la capacidad de gestión organizacional) y la implementación adecuada de tecnologías novedosas para llevar a buen término los proyectos. En consecuencia se manifiesta la necesidad de involucrar, de manera más directa, a los estudiantes que se están formando en ingeniería de manufactura con entornos reales de su ejercicio profesional futuro, preferentemente a través del desarrollo de proyectos en aula. En cuanto a la didáctica de la enseñanza en manufactura, resulta fundamental la incorporación de las nuevas herramientas y tecnologías que brindan interactividad y capacidad de simulación en tiempo real, para profundizar en la comprensión de la teoría y los efectos en la labor práctica, en términos de planeación y control de la producción, y también para lograr que el futuro ingeniero se familiarice con la incorporación en plantas, empresas y talleres de nuevos procedimientos basados en tecnologías que se actualizan a cada instante, contribuyendo de esta forma a la competitividad, sostenibilidad y flexibilidad.

Por último, se debe estar en la capacidad de medir adecuadamente el desempeño y verificar si las nuevas estrategias generaron el impacto deseado. Queda entonces la motivación abierta a los profesores-ingenieros para desarrollar trabajo fructífero en la enseñanza de las áreas relacionadas con la ingeniería de manufactura.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia por la aprobación del proyecto "Innovación en procesos de Manufactura e Ingeniería de materiales IPMIM", con código 16008, a través del cual fue posible la realización de esta investigación.

Referencias

1. Rolstadås, A. y Moseng, B. "Global Education in Manufacturing – GEM". En: *CIRP International Manufacturing Education Conference CIMEC*, Enschede: Holanda, 2002, p. 1-13. [Consultado el: 19 de marzo de 2012]. Disponible en <http://www.sintef.no/static/tl/projects/gem/documents/CIMEC%20%20April%202002%20GEM%20IMS.pdf>
2. Jovane, F., Westkämper, E. y Williams, D. *The ManuFuture road: towards competitive and sustainable high-adding-value manufacturing*. Berlín: Springer, 2009. p. 89-90. 261 p. ISBN 978-3-540-77011-4.
3. de Treville, S., Bendahan, S. y Vanderhaeghe, A. "Manufacturing flexibility and performance: bridging the gap between theory and practice". *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. 2007, vol 19, nº. 4, p. 334-357. ISSN 0920-6299. DOI 10.1007/s10696-008-9040-1.
4. Rolstadås, A. "Global education in manufacturing". En: *Advanced Manufacturing - An ICT and Systems Perspective*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis, 2007. 319 p. p. 229-239. ISBN 978-0-415-42912-2.
5. O'Sullivan, D.; Rolstadås, A. y Filos, E. "Global education in manufacturing strategy". *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2011, vol 22, nº. 5, p. 663-674. ISSN 0956-5515. DOI 10.1007/s10845-009-0326-2.
6. Waldorf, D. y Bjurman, R. "Plotting a Bright Future for Manufacturing Education: Results of a Brainstorming Session". En: *Proceedings of the 2006 ASEE Conference "Advancing Scholarship in Engineering Education"*. Chicago, 2006. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: http://digitalcommons.calpoly.edu/ime_fac/4/. DOI 10.1.1.123.8254.
7. Jou, M., Zhang, H. W. y Lin, C. W. "Development of an interactive e-learning system to improve manufacturing technology education". En: *ICALT 2005 Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Washington, 2005, p. 359-360. [Consultado el: 30 de mayo de 2011]. Disponible en: <http://www.computer.org/csdl/proceedings/icalt/2005/2338/00/23380359-abs.html>. DOI 10.1109/ICALT.2005.121.
8. Gil, R. *La ingeniería en el 3er milenio: una reseña de los nuevos paradigmas*. Buenos Aires, Argentina: ANI – Academia Nacional de Ingeniería; 2010. 442 p.
9. Villarroel, C. y Herrera, C. "Sobre la posibilidad de aplicar la metodología orientada al proyecto, en la enseñanza de la ingeniería de la Universidad de Tarapacá-Chile". *Revista de Facultad de Ingeniería U.T.A.* 2004, vol 12, nº. 2, p. 74-83. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v12n2/art10.pdf>. ISSN 0717-1072.
10. Pérez Rodríguez, R., Quesada Estrada, A. M., Hernández González, L. W. et al. "KinMTool: Una Herramienta Multimedia para la enseñanza de máquinas herramienta". *Ciencias Holguín*. 2008, vol XIV, p. 1-11. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/srfinicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=181517958009>. ISSN 1027-2127.
11. Rodríguez Arroyave, C. A. y Ramírez Echeverri, S. "Modelo de cursos interactivos para ingeniería con apoyo de una plataforma bimodal". *Revista Universidad EAFIT*. 2007, vol 43, nº. 146, p. 33-46. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/srfinicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=21514804>. ISSN 0120-341X.
12. González Rey, G.; García Toll, A., Wellesley-Bourke Funcasta, J. et al. "El proyecto de curso en la formación de competencias profesionales en estudiantes de ingeniería mecánica". *Ingeniería Mecánica*. 2011, vol 14, nº. 2, p. 119-128. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/srfinicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=225117950004>. ISSN 1815-5944.
13. de Moura Castro, C. y Verdisco, A. E. *Cómo Mejorar la Educación: Ideas Latinoamericanas y Resultados Asiáticos*. Washington, DC, USA: Inter-American Development Bank. 2004. 232 p. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://www.iadb.org/document.cfm?id=419946>. ISBN 193100370X
14. Youssef, H. y El-Hofy, H. *Machining technology: machine tools and operations*. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2008, p. 1. 672 p. ISBN 978-1-4200-4339-6.
15. Byung-Wook, C. "Growth Engines and Key Technologies for Manufacturing Innovation: An IMS Perspective". En: *International Conference on Smart Manufacturing Application, ICSMA 2008*, Gyeonggi-do: Korea. 2008. p. 48 – 52. ISBN 978-89-962150-0-4.

Juan David Orjuela-Méndez, José Manuel Arroyo-Osorio, Rodolfo Rodríguez-Baracaldo

16. Crawley, E., Brodeur, D. y Soderholm, D. "The Education of Future Aeronautical Engineers: Conceiving, Designing, Implementing and Operating". *Journal of Science Education and Technology*. 2008, vol 17, nº. 2, p.138-151. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE_CD1998-2010/ICAS2008/PAPERS/804.PDF. ISSN-1059-0145. DOI 10.1007/s10956-008-9088-4.
17. Bengu, G. y Swart, W. "A computer-aided, total quality approach to manufacturing education in engineering". *IEEE Transactions on Education*. 1996, vol 39, nº. 3, p. 415-422. ISSN 00189359. DOI 10.1109/13.538767.
18. Fenster, S. "Why Aren't Colleges and Universities Preparing the Workforce of Tomorrow?" *University Business*, 2005, vol 8, nº 4, p. 100. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: http://findarticles.com/p/articles/mi_m0LSH/is_4_8/ai_n13809782/.
19. ElMaraghy, W. y ElMaraghy, H. "Manufacturing Research and Education Curricula Driven by Industry/Student Needs". *Proceedings of the 1998 International Conference on Education in Manufacturing, Manufacturing Education for the 21st Century*, Michigan. 1998, p. 3 – 8.
20. Stephan, K. y Vedaraman, S. "Globalizing manufacturing engineering education". *Technology and Society Magazine, IEEE*. 2005, vol 24, nº. 3, p.16-22. ISSN 0278-0097. DOI: 10.1109/MTAS.2005.1507536.
21. Hunt, I.; O'Sullivan, D.; Rolstadas, A., et al. "Survey of manufacturing curricula from around the world". *Production Planning & Control*. 2004, vol 15, nº. 1, p. 71-79. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: http://www.cetim.org/projects/408/ICE2003/Training%20and%20Education/86_precup_horan_hunt_osullivan.pdf. ISSN 0953-7287. DOI 10.1080/09537280410001662583.
22. de Simone, J. A. "Papel de la educación técnico-profesional en el mejoramiento de las capacidades de los trabajadores del sector moderno ante los procesos económicos actuales y los nuevos desarrollos tecnológicos". *Revista Iberoamericana de Educación*. 1993, nº. 2. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: <http://www.riecei.org/oeivirt/rie02a04.htm>. ISSN 1681-5653-8.
23. Vessuri, H. M. C. "Desafíos de la educación superior en relación con la formación y la investigación ante los procesos económicos actuales y los nuevos desarrollos tecnológicos". *Revista Iberoamericana de Educación*. 1993, nº. 2. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: <http://www.oei.es/salactsi/vessuri.htm>. ISSN 1681-5653-8.
24. Peters, J. "Manufacturing in Mechanical Engineering Education in Developing Countries". *European Journal of Engineering Education*. 1989, vol 14, nº. 2, p. 135-139. ISSN 1069-4730. DOI: 10.1080/03043798908903347.
25. Felder, R. y Silverman, L. "Learning and Teaching Styles in Engineering Education". *Engineering Education*. 1988, vol 78, nº. 7, p. 674-681. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf>. ISSN 0949-149X.
26. Mills, J. y Treagust, D. "Engineering Education: is problem-based or project-based learning the answer?" *Australasian Journal of Engineering Education*. 2003. vol 11, núm. 1, p. 2-16. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: http://www.aeee.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf. ISSN 1324-5821.
27. Scott, D. *Critical essays on major curriculum theorists*. New York: Routledge, 2008. 176 p. ISBN 978-0-415-33984-1
28. Felder, R. y Brent, R. "Designing and Teaching Courses to Satisfy the ABET Engineering Criteria". *Journal of Engineering Education*. 2003, vol 92, nº. 1, p. 7-25. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: [http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/ABET_Paper_\(JEE\).pdf](http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/ABET_Paper_(JEE).pdf). ISSN 1069-4730.
29. Todd, R.; Red, W. E.; Magleby, S., et al. "Manufacturing: A Strategic Opportunity for Engineering Education". *Journal of Engineering Education*. 2001, vol 90, nº. 3, p. 397-405. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: <http://jee.org/2001/july/399.pdf>. ISSN 1069-4730
30. Waldorf, D.; Macedo, J. y Colvin, K. "Machine vision course for manufacturing engineering undergraduate students". *Journal of Manufacturing Systems*. 2005, vol 24, nº. 3, p. 256-265. ISSN 0278-6125. DOI: 10.1016/S0278-6125(06)80016-6

31. Jiang, S. y Qi, X. "Exploration of Enhancing Students' Professional Ability and Innovation Ability with Manufacturing Knowledge". *Energy Procedia*. 2011, vol 13, p. 2432-2437. ISSN 1876-6102. DOI:10.1016/j.egypro.2011.11.350.
32. Lee, S. y Hung, W. "Manufacturing engineering education in Singapore". *Journal of Manufacturing Systems*. 2005, vol 24, n°. 3, p. 271-276. [Consultado el: 30 de mayo de 2011]. Disponible en: <http://portal.jnu.edu.cn/publish/uploadFile/2970/eWebEditor/20100707013928905.pdf>. ISSN 0278-6125. DOI 10.1016/j.jbr.2011.03.031
33. Crawley, E.; Malmqvist, J., Östlund, S., et al. *Rethinking engineering education: the CDIO approach*. Berlín: Springer; 2007. 300 p. ISBN 978-0-387-38287-6.
34. Lino, F. J. y Duarte, T. P. "Research Skills Enhancement in Future Mechanical Engineers". *International Journal of Engineering Pedagogy [IJEP]*. 2005, Vol 1, n°. 1, p. 20-26. [Consultado el: 13 de octubre de 2011]. Disponible en: <http://paginas.fe.up.pt/~falves/1700.pdf>. ISSN 2192-4880. DOI 10.1109/EDUCON.2011.5773283.
35. Liang, Z.; Deng, H. y Tao, J. "Teaching Examples and Pedagogy of Mechanical Manufacture based on the CDIO-Based Teaching Method". *Procedia Engineering*. 2011, vol 15, p. 4084-4088. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/j.proeng.2011.08.766.
36. Ssemakula, M. "A hands-on approach to teaching manufacturing processes". En: *Frontiers in Education Conference*. Reno, Nevada, USA. 2001, vol 1, p. TIC – 10-14. [Consultado el: 30 de mayo de 2011]. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.16.4608&rep=rep1&type=pdf>. DOI 10.1109/FIE.2001.963841.
37. Chowdhury, A. y Mazid, A. "Computer Integrated Manufacturing education to Mechanical Engineering students: Teaching, research and practice". En: *IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2009*, Gippsland, Victoria, p. 1-5. DOI 10.1109/ICIT.2009.4939736.
38. Fisher, D. y Hofmann, R. "CNC machining plastic injection mold plates in the classroom". En: *37th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Milwaukee, 2007, p. S2A-12 - S2A-17. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://fie-conference.org/fie2007/papers/1160.pdf>. DOI 10.1109/FIE.2007.4417886.
39. Fang, N. "A Project-Based Active and Cooperative Learning Approach to Improving Manufacturing Engineering Education" *METEC Online Clearinghouse Database*. ASEE Annual Conference & Exposition, 2009. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: http://www.meteconline.org/view_abstract.php?id=1938&class_type=0.
40. Miller, F.; Vandome, A. y McBrewster, J. *Likert Scale*. Saarbrücken, Alemania: VDM Verlag Dr. Mueller e.K, 2010. 84 p. ISBN 978-6-1327-8860-3.
41. Ary, D.; Jacobs, L.; Razavieh, A., et al. *Introduction to Research in Education, 8 ed.* Wadsworth: Cengage Learning, 2009, p. 209-212. 669 p. ISBN 978-0-495-60122-7.
42. Zhou, Z. y Donaldson, A. "Work in progress - Project-based learning in manufacturing process". En: *IEEE Frontiers in Education Conference [FIE]*, Washington, 2010. [Consultado el: 30 de mayo de 2011]. Disponible en: <http://fie-conference.org/fie2010/papers/1410.pdf>. DOI 10.1109/FIE.2010.5673659.
43. Pereira, D.; del Rio Vilas, D., Rego Monteil, N. et al. "A project-based teaching experience for simulation and optimization education". En: *7th International Conference on Next Generation Web Services Practices [NWeSP]*. 2011, p. 436-440. DOI 10.1109/NWeSP.2011.6088219.
44. Babulak, E. "Invited Paper: Next Generation of Applied Internet Technologies in E-manufacturing". En: *UKSIM '09 11th International Conference on Computer Modelling and Simulation*. Cambridge, 2009, p 386-390. DOI 10.1109/UKSIM.2009.86.
45. Kraebber, H. y Lehman, J. "Use of educational technology in manufacturing engineering and technology education". En: *39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. San Antonio, Texas, 2009, p. 1-6. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: <http://fie2012.org/sites/fie2012.org/history/fie2009/papers/1178.pdf>. DOI 10.1109/FIE.2009.5350617.

Juan David Orjuela-Méndez, José Manuel Arroyo-Osorio, Rodolfo Rodríguez-Baracaldo

46. Ebrahim, N. A.; Ahmed, S.; Rashid S, H., et al. "Virtual R&D teams: A potential growth of education-industry collaboration". En: *2nd International Congress on Engineering Education (ICEED 2010)*. Kuala Lumpur. 2010. [Consultado el: 11 de febrero de 2012].
Disponible en: http://mpra.ub.uni-muenchen.de/27414/2/A_potential_growth_of_education-industry_collaboration.pdf.
DOI 10.1109/ICEED.2010.5940754.
47. McCarthy, M. "Effective teaching of complex manufacturing topics to undergraduate engineers utilizing a novel, broadly based, interactive virtual company". En: *117th ASEE Annual Conference & Exposition*. Louisville, Kentucky, 2010. [Consultado el: 13 de octubre de 2011].
Disponible en: <https://researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/16517>.
48. Liu, C. C. y Jou, M. "Development of an e-learning system for manufacturing technology education". *International Journal of Knowledge and Learning*. 2008, vol 4, núm. 4, p. 370-382. ISSN 1741-1009. DOI 10.1504/IJKL.2008.022057.
49. Borza S-I.; Brindasu, P. D. y Beju, L. D. "Modern Methods of Education, Research and Design Used in Mechanical Engineering". En: *Mechanical Engineering*. Croatia: Intechopen; 2012. 681 p. [Consultado el: 11 de febrero de 2012]. Disponible en: www.intechopen.com/download/pdf/35279. ISBN 978-953-51-0505-3.
50. Ramirez, F. J.; Domingo, R. y Sebastian, M. Á. "Deep drawing tool for e-learning: A didactic approach for manufacturing engineering education". En: *IEEE EDUCON Education Engineering 2010 – The Future of Global Learning Engineering Education*. Madrid, 2010. p. 1857-1866. DOI 10.1109/EDUCON.2010.5492429.
51. Fang, N.; Stewardson, G. y Lubke, M. "Work in progress - An innovative instructional model for improving manufacturing engineering education". En: *37th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. Milwaukee. 2007, p. S4D-19 - S4D-20. [Consultado el: 30 de mayo de 2011].
Disponible en: <http://www.fie-conference.org/fie2007/papers/1232.pdf>. DOI 10.1109/FIE.2007.4417932.
52. Huang, X. "A mechatronics educational laboratory platform for manufacturing automation based on Googol FMS". En: *2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology [EMEIT]*. Harbin, Heilongjiang, China. 2011, p. 389-392. DOI 10.1109/EMEIT.2011.6022959.
53. Balazinski, M. y Przybylo, A. "Teaching manufacturing processes using computer animation". *Journal of Manufacturing Systems*. 2005, vol 24, n.º. 3, p. 237-243. ISSN 0278-6125. DOI 10.1016/S0278-6125(06)80013-0.

VI Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica
y IV de Ingeniería Mecatrónica
IV Congreso Internacional de Materiales, Energía y Medio Ambiente
Bogotá, Colombia.
2, 3 y 4 de mayo del 2013



I

Análisis de los niveles de dificultad y discriminación en un diagnóstico de conocimientos para estudiantes de Procesos de Maquinado

Juan David Orjuela Méndez¹, José Manuel Arroyo Osorio², Rodolfo Rodríguez Baracaldo³,
Mauricio Gómez Pedraza⁴

^{1,2,4} Universidad Nacional de Colombia,
jdoruelam@unal.edu.co,
jmarroyoo@unal.edu.co,
rodriguezba@unal.edu.co

⁴ Universidad Católica de Colombia,
maqomez99@ucatolica.edu.co

RESUMEN

ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

Las exigencias del contexto académico y laboral a nivel local y global, así como los nuevos sistemas de evaluación censal y varios estudios llevados a cabo en el mundo, indican la necesidad de efectuar cambios en el diseño e implementación de metodologías en la enseñanza y aprendizaje de ingeniería [1], [2] y, específicamente, de los procesos de manufactura [3], [4], [5]. En la declaración de Bolonia y desde la perspectiva de autores como Tobón y colaboradores [6], [7] se recomienda abiertamente pasar de la enseñanza por contenidos a la formación por competencias. Para esto, en general es indispensable partir del rediseño de la evaluación para conocer en qué estado de saberes, habilidades y actitudes se encuentran los estudiantes con el fin de ajustar los diseños curriculares y didácticos a dichos estados.

En ingeniería y en otros campos disciplinares se han efectuado estudios que permiten determinar el nivel de conocimientos de los estudiantes antes de tomar determinados cursos, o bien como prueba de admisión para ingresar a un programa de educación superior. Por ejemplo, un análisis de los niveles de dificultad y discriminación en procesos formativos de Medicina fue llevado a cabo por Carrizosa Lee y colaboradores [8].

RESULTADOS PRINCIPALES

Se definió un constructo de competencias específicas fundamentales en Procesos de Maquinado a partir del análisis de contenido de diversos estudios, llevados a cabo principalmente en los Estados Unidos [9], [10] y algunos países de Latinoamérica [11], puesto que no se localizaron análisis similares en Colombia. A partir del constructo se diseñó un cuestionario de diagnóstico frente a los conocimientos generales que poseen los estudiantes de Procesos de Manufactura II (asignatura en la cual se trabajan en detalle las competencias mencionadas) antes de tomar formalmente los contenidos y actividades de la materia, que consiste de 20 preguntas de selección múltiple, distribuidas como se indica en la Tabla 1.



Tabla 1: Distribución de preguntas de acuerdo con las competencias previamente definidas para la materia

Competencia	Comprensión procesos de maquinado	Selección Insumos específicos	Elaboración de presupuestos	Selección nuevas tecnologías	Planeación de procesos	Programación CNC - CAM	Selección herram. de corte
Preguntas	1,2,3,4,5	6,7,8,9	10,11	12,13	14,15	16,17,18	19,20
N° Opciones y tipo de respuesta	4, una sola respuesta correcta				3, crédito parcial	4, una sola respuesta correcta	

Los resultados evidencian que, en general, los estudiantes ingresan a la asignatura con conocimientos relativamente sólidos en Selección de insumos en condiciones específicas, Planeación de procesos y Selección de Herramientas de corte (resultados probablemente atribuibles al trabajo en asignaturas previas como "Tecnología Mecánica Básica", en la que se enseñan Cartas Tecnológicas) y con aspectos por fortalecer en Selección de nuevas tecnologías en maquinado y Programación CAD – CAM. Adicionalmente, las preguntas que permitieron separar mejor a los estudiantes de alto desempeño de aquellos con bajo desempeño pertenecen, en su mayoría, a la competencia de Comprensión de procesos de maquinado; esto indicaría que la forma en que los estudiantes comprenden los conceptos básicos es el factor diferenciador, en vez de su grado de conocimiento en procedimientos o actitudes frente a los contextos en que aplican las enseñanzas, al menos en el ámbito de maquinado para el grupo de estudiantes analizado. La prueba en sí presenta un nivel de dificultad medio, así como una cierta capacidad adecuada de discriminación en lo global.

Palabras Clave: Índice de dificultad (Difficulty Index), Índice de Discriminación (Discriminatory Index), Educación en ingeniería (Engineering Education), Fabricación por maquinado (Machining).

Anexo E: Instrumento para la Autopercepción de habilidades asociadas a las competencias definidas de maquinado

PROCESOS DE MANUFACTURA II

MODELO AUTOEVALUACIÓN 2012 - II

Nombre:

Edad:

Semestre en curso:

Por favor, conteste esta evaluación con sinceridad. Este instrumento se ha diseñado para permitirle tomar conciencia propia sobre su estado actual de formación y competencia; una vez finalizado el curso, tendrá con esto criterios para medir su grado de avance, la pertinencia y la utilidad de lo que verá y trabajará durante el semestre.

Por cada indicador, marque la casilla que corresponda a su propia valoración sobre el mismo. Como guía, la escala de valoración es la siguiente:

- 1 Definitivamente no sé o no puedo hacerlo.
- 2 Quizá sé hacerlo, pero no estoy seguro y requiero ayuda.
- 3 Sé hacerlo de manera simple y sin ayuda.
- 4 Sé hacerlo con cierto dominio y sin ayuda.
- 5 Sé hacerlo de manera experta.

Competencia 1: Comprende los distintos tipos de procesos de maquinado que se ejecutan en la actualidad, para aplicarlos en los contextos adecuados.

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Sé en su mayoría cuáles son los procesos de fabricación que implican arranque de viruta.					
Puedo calcular y relacionar los parámetros de corte.					
Sé qué máquinas herramienta sirven para efectuar cualquier operación de maquinado.					

Competencia 2: Selecciona los insumos apropiados (herramientas, fluidos) para llevar a cabo las operaciones de corte dentro del proceso de maquinado, con base en fundamentos técnicos.

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Reconozco los tipos de herramientas de corte que hay disponibles en el mercado industrial.					
Sé cuáles son los ángulos que conforman la geometría de una herramienta de corte.					
Reconozco los tipos de fluidos de corte que hay disponibles en el mercado industrial.					
Sé qué función cumple el fluido de corte en el maquinado.					
Puedo seleccionar la herramienta de corte apropiada para fabricar una pieza.					
Puedo seleccionar el fluido de corte apropiado para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.					

Competencia 3: Elabora presupuestos y estimaciones de orden económico relativas a los procesos de maquinado, teniendo en cuenta la situación a resolver y las condiciones técnicas (de herramienta, secuencia de operaciones, mano de obra, etc.)

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Puedo calcular el costo de llevar a cabo cualquier operación de maquinado.					
Puedo calcular el tiempo que toma llevar a cabo cualquier operación de maquinado.					
Puedo seleccionar los parámetros apropiados para lograr una fabricación económica.					

Competencia 4: Selecciona las máquinas y condiciones de proceso idóneas para la implementación en planta de tecnologías de mecanizado convencionales y nuevas.

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Sé en su mayoría cuáles son los procesos no convencionales de fabricación por arranque de viruta.					
Sé en su mayoría cuáles son las máquinas que permiten ejecutar procesos no convencionales de fabricación.					
Puedo calcular los parámetros de operación para un proceso de fabricación no convencional, utilizando principios físicos.					

Competencia 5: Diseña la secuencia de procesos pertinente para la fabricación de una o varias piezas, considerando la disponibilidad de máquinas herramienta y las operaciones posibles.

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Sé identificar qué secuencia de operaciones debe seguirse para fabricar cualquier pieza.					
Puedo identificar todos los recursos necesarios para llevar a cabo cualquier operación de maquinado.					
Puedo elaborar una carta tecnológica para fabricar cualquier pieza.					

Habilidad particular 6: Desarrolla la secuencia de fabricación de una pieza en torno o fresa CNC - Programa la fabricación de una pieza mediante software CAM.

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Sé qué función cumplen los comandos del código ISO para programación CNC.					
Puedo usar un programa de computador para fabricación.					
Puedo programar con ayuda del computador la fabricación de cualquier pieza.					

Competencia particular 7: Comunica de manera clara y efectiva el resultado de aplicar sus conocimientos en la solución de un problema de ingeniería.

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Puedo elaborar con todo detalle un anteproyecto que justifique resolver una situación de ingeniería.					
Puedo exponer con detalle los resultados de mi proyecto.					

Anexo F: Rúbricas para la valoración de las entregas del Proyecto de Curso

COMITÉ PERIODÍSTICO

ENTREGA 1					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 3 - 4					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Las posibles secciones del artículo están claramente determinadas.					
Se describen todos los contenidos teóricos asociados al tema del artículo.					
Las referencias bibliográficas son suficientes y adecuadas.					
NOTA					

ENTREGA 2					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 6 – 7					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
El estado del arte se refiere adecuadamente a los contenidos y trabajos en el área del artículo.					
Las referencias bibliográficas son suficientes y pertinentes.					
Hay evidencia de información recolectada con empresas e instituciones.					
NOTA					

ENTREGA 3					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 10 – 11					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
La redacción del artículo permite entenderlo de manera global.					
El artículo tiene una extensión suficiente por cada sección.					
El artículo describe los hallazgos del estado de arte y las visitas.					
NOTA					

ENTREGA 4					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 15 – 16					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Se han implementado mejoras en redacción y forma del artículo.					
Las secciones están totalmente determinadas y completas en contenido.					
El artículo propone información y conclusiones relevantes.					
NOTA					

COMITÉ EDITORIAL

ENTREGA 1					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 3 - 4					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Los criterios de recepción para el artículo están claramente determinados.					
Se describen los detalles del estudio de mercado que definió los criterios de recepción.					
Hay evidencia de las visitas a otras revistas.					
NOTA					

ENTREGA 2					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 6 – 7					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Los criterios técnicos de evaluación están claramente determinados.					
Los criterios técnicos están soportados teóricamente.					
Hay evidencia de información recolectada para la selección de los evaluadores externos.					
NOTA					

ENTREGA 3					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 10 – 11					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Hay evidencia de que se aplicaron los criterios de recepción y evaluación a los artículos.					
Hay evidencia de calificación parcial hecha a los artículos.					
Hay evidencia de información recolectada sobre observaciones hechas por externos.					
NOTA					

ENTREGA 4					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 15 – 16					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Hay evidencia de seguimiento por parte del comité a los artículos revisados en la entrega previa.					
Hay evidencia de calificación final hecha a los artículos.					
Hay evidencia de calificación recolectada sobre observaciones hechas por externos.					
NOTA					

COMITÉ DE PUBLICACIÓN

ENTREGA 1					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 3 – 4					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Hay evidencia de información que sustenta la selección del software y del mecanismo de divulgación para la revista.					
Hay un prototipo electrónico (preliminar o funcional) de revista.					
Hay evidencia de visitas a otras revistas e instituciones.					
NOTA					

ENTREGA 2					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 6 – 7					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Hay documentos que muestran alternativas del aspecto gráfico que tendrá la revista.					
Hay evidencia de indagación hecha a los compañeros para seleccionar el aspecto final.					
Hay evidencia de indagación hecha a profesionales gráficos para seleccionar el aspecto final.					
NOTA					

ENTREGA 3					
Grupo:	Estudiantes:				
Fecha evaluación: Semana 10 – 11					
Competencias a evaluar: Comunicación -	Contenidos del curso asociados:				
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Hay evidencia de que la revista, en su versión beta, fue divulgada al interior de la universidad.					
Hay evidencia de manejo estadístico a las visitas y calificaciones hechas por pares.					
Hay evidencia de información recolectada sobre observaciones hechas por externos.					
NOTA					

ENTREGA 4					
Grupo:		Estudiantes:			
Fecha evaluación: Semana 15 – 16					
Competencias a evaluar: Comunicación -		Contenidos del curso asociados:			
Indicador a evaluar	Valor				
	1 (No lo cumple)	2 (Cumple deficiente)	3 (Cumple Aceptable)	4 (Cumple Adecuado)	5 (Cumple Destacado)
Hay evidencia de que la revista, en su versión definitiva, fue divulgada al interior y al exterior de la universidad.					
Hay evidencia de manejo estadístico hecho a visitas y a la calificación final emitida por pares, comités y externos.					
Hay evidencia de información recolectada y procesada sobre las observaciones hechas por externos.					
NOTA					

Anexo G: Encuesta para medición de habilidades comunicativas y de trabajo colaborativo.

ENCUESTA MEDICIÓN RESULTADOS PROYECTO FINAL PM-II 2012 – 03

Agradecemos su participación en el proyecto Magazín Fabricar y en esta encuesta. El presente cuestionario tiene como propósito medir de forma cualitativa la incidencia que tuvo el proyecto en su formación. Por favor, en donde corresponda conteste las preguntas teniendo en cuenta la siguiente clave de respuestas:

Frente a lo afirmado, usted estaría...

1. Totalmente en desacuerdo
2. En general no estoy de acuerdo
3. No estoy a favor ni en contra de lo afirmado
4. En general estoy de acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Preguntas generales

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
Al desarrollar mi rol en el proyecto aprendí a crear productos que me permitieron comunicar efectivamente los resultados de mi investigación					
Participar en el magazín me ayudó a explorar habilidades que normalmente no uso en mis estudios					
Participar en el magazín me ayudó a comprender mejor la forma de llevar a cabo un proyecto					
He aprendido a elaborar mejores productos para responder a los lineamientos de un proyecto					
El proyecto me parece una alternativa de aprendizaje pertinente para la materia					
La metodología de trabajo en el proyecto me permitió aprender más significativamente los contenidos de la materia					

El tiempo dedicado al desarrollo del proyecto lo estima en:

- a. Menos de 1 hora semanal
- b. Entre 1 y 2 horas a la semana
- c. Entre 2 y 3 horas a la semana.
- d. Más de 3 horas a la semana.

El uso de una rúbrica con indicadores de evaluación para valorar cada entrega del proyecto impactó mis hábitos de aprendizaje

1. Positivamente
2. Negativamente
3. No tuvo impacto

¿Recomendaría continuar desarrollando este tipo de proyectos para la materia? Sí _____ No _____

Seleccione los adjetivos que describen mejor su opinión sobre el proyecto:

Interesante
Difícil

Novedoso
Irrelevante

Formativo
Estresante

Original
Largo

Preguntas Comité Periodístico

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
El proyecto contribuyó a mejorar mi forma de comunicarme técnicamente					
A través del proyecto aprendí a escribir sobre aspectos técnicos					
El proyecto me permitió conocer acerca de las tendencias en la industria de maquinado actual en Bogotá y sus alrededores					
El proyecto me permitió entrar en contacto directo con empresas y conocer los procesos de maquinado con los que trabajan					

Preguntas Comité Editorial

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
El proyecto contribuyó a mejorar mi formación en evaluación del trabajo de otros ingenieros					
A través del proyecto aprendí aspectos específicos sobre criterios de escritura y evaluación de artículos en ingeniería.					
El proyecto me permitió entrar en contacto directo con revistas y empresas relacionadas, para conocer sus procesos de trabajo					

Preguntas Comité Publicación

Indicadores	Valor				
	1	2	3	4	5
El proyecto contribuyó a mejorar mi formación en el desarrollo de sitios web					
A través del proyecto aprendí aspectos específicos sobre gestión y publicación de documentos					
El proyecto me permitió entrar en contacto directo con profesionales y empresas de publicación y conocer sus procesos de trabajo					