

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: jdorjuelam@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].

Rolstadås [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 Rolstadås [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

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

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 ingeniería 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.

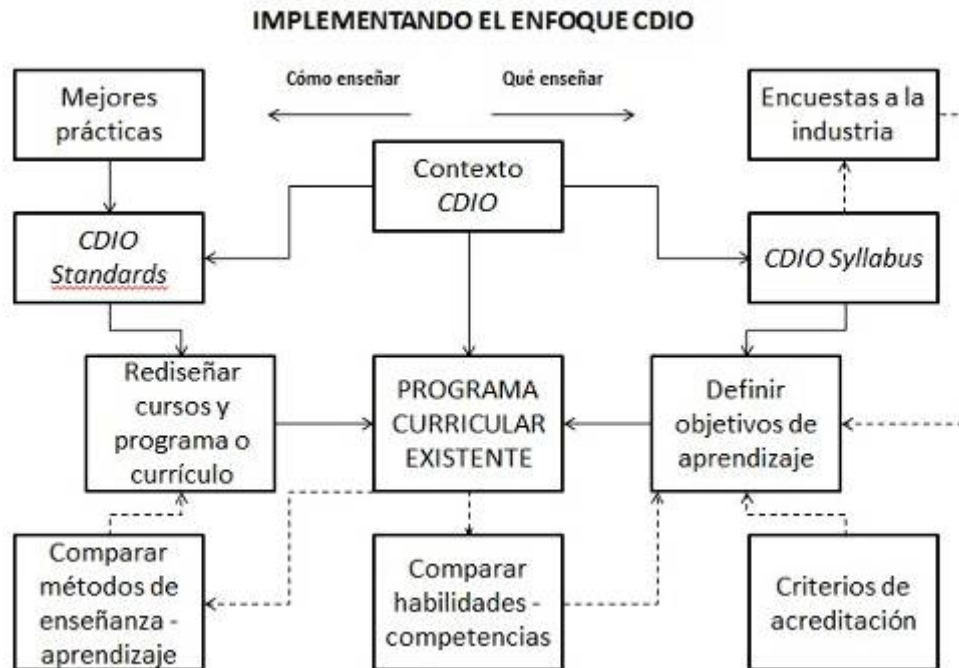


Fig. 1. Implementación del modelo CDIO. Adaptado de [33]

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

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

investigación y desarrollo virtual (Virtual I&D) [46]; de igual forma, en la universidad de Auckland, Nueva Zelanda [47] 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.* [7,48] 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* [49], 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 Ramírez *et al.* [50], 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 [51] 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 [52], 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 ingeniería 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 [53]. 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.

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 Vicerectoría 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/src/inicio/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/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=21514604>. 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/src/inicio/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.

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/ICAS2006/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_n13609762/.
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, USA. 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/66_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.rieoei.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, nº. 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, nº. 3, p. 271-276. [Consultado el: 30 de mayo de 2011]. Disponible en: <http://portal.jnu.edu.cn/publish/uploadFile/2970/eWebEditor/20100707013926905.pdf>. ISSN 0278-6125. DOI 10.1016/j.bbr.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, nº. 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=10.1.1.16.4609&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=1936&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.

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://mp.ra.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*. 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 Google FMS". En: *2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology [EMEIT]*. 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, nº. 3, p. 237-243. ISSN 0278-6125.
DOI 10.1016/S0278-6125(06)80013-0.