

Desarrollo de proyectos colaborativos con la industria como estrategia de educación en ingeniería

Cristian Camilo Viáfara-Arango

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. cviafara@saber.uis.edu.co

Resumen— Este trabajo describe una estrategia educativa aplicada en el programa de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander, que consiste en desarrollar proyectos de colaborativos con la industria. En esta estrategia los estudiantes aplican los conocimientos teóricos impartidos en la universidad y contribuyen a la solución de problemas en las empresas de la región. Adicionalmente, se revisaron estrategias educativas similares que son actualmente aplicadas en diversas universidades en el país siguiendo un plan curricular o como estrategia de enseñanza y aprendizaje. Se hizo un análisis de las lecciones aprendidas a partir de la experiencia de la aplicación de la estrategia, junto con los desafíos a superar y las contribuciones que pueden dar las otras estrategias revisadas. La estrategia le permitió a los estudiantes adquirir competencias requeridas en el mundo laboral mediante la identificación, el análisis y la formulación de alternativas de solución a los problemas reales de ingeniería.

Palabras Clave— colaboración academia-industria; estrategia de enseñanza y aprendizaje; formación en investigación; aprendizaje centrado en el estudiante; aprendizaje basado en proyectos; aprendizaje basado en competencias.

Recibido: 20 de junio de 2019. Revisado: 11 de septiembre de 2019. Aceptado: 17 de octubre de 2019.

Development of collaborative projects with industry as an engineering educational strategy

Abstract— In this work an educational strategy applied in the Metallurgical Engineering Course at the Industrial University in Santander is described, which consisted in developing collaboration projects with industry. In this strategy students apply theoretical knowledge given by academy and contribute to the solution of problems present at the local companies. In addition, similar educational strategies were reviewed, which are currently applied in diverse universities in the country following a curricular plan or such as teaching and learning strategy. An analysis of learned lessons was made from the experience of the applied strategy, together with the identified challenges to overcome in the future and the possible contributions of the reviewed strategies. The strategy allowed students to achieve the required skills in the world of work by means of the identification, analysis and formulation of solution alternatives to the engineering real problems.

Keywords— academia industry collaboration; teaching and learning strategies; research-based learning; student-centered learning; project-based learning; skills-based learning.

1. Introducción

La educación en ingeniería actualmente enfrenta diversos desafíos como resultado de los rápidos cambios promovidos por el avance tecnológico y el acceso al conocimiento brindado por

el internet. Dentro de dichos desafíos se puede identificar el vínculo universidad - empresa como uno de los más importantes, teniendo en cuenta el papel de la primera en la formación de profesionales requeridos por la segunda. Adicionalmente, la industria requiere de una transferencia de conocimiento por parte de la academia, aprovechando las capacidades en investigación de la última. Por este motivo, dinamizar el vínculo universidad-industria constituye uno de los objetivos fundamentales de los gobiernos, junto con la siempre importante mejora continua de los procesos educativos.

El presente trabajo tiene como objetivos describir la aplicación de una estrategia educativa basada en el desarrollo de proyectos colaborativos con la industria y promover el vínculo academia - industria como un modo de generar un mayor compromiso de los estudiantes con su carrera y de dar visibilidad a los programas de Ingeniería en la sociedad [1].

Los objetivos específicos de este trabajo son: (a) presentar una base teórica de los conceptos de diferentes enfoques de enseñanza y su relación con la formación en investigación, la cual se aplica ampliamente en la estrategia educativa mencionada; (b) revisar las propuestas de enseñanza similares a la que se propone en este trabajo y que promueven la interacción de los estudiantes con la sociedad, sea con la industria o con sus comunidades; y (c) analizar las lecciones aprendidas a partir de la aplicación de la estrategia educativa en la UIS y los desafíos identificados para enfrentar en el futuro.

2. Cambio de paradigma en la educación en ingeniería

Los programas de ingeniería en Colombia contemplan en su mayoría la aplicación de conceptos y herramientas aprendidos solamente al final del currículo con asignaturas como el trabajo de grado o la práctica empresarial. Sin embargo, se ha mostrado que mucho antes los estudiantes están listos para contribuir a la solución de problemas en la industria [2]. Lo anterior permite contextualizar el conocimiento adquirido y darle mayor sentido, haciendo más significativo el aprendizaje de los estudiantes.

En Colombia la educación pública en ingeniería ha estado enfocada principalmente en la enseñanza de fundamentos teóricos [3], mientras que a la práctica aplicada no se le ha dado la misma importancia. Sin embargo, el avance de la tecnología

Cómo citar este artículo: Viáfara-Arango, C.C., Desarrollo de proyectos colaborativos con la industria como estrategia de educación en ingeniería. Educación en Ingeniería, 15(29), pp. 1-12, Agosto 2019 - Febrero 2020.

y de la era digital han hecho este abordaje poco apropiado para los profesionales de siglo 21, como consecuencia de la facilidad de acceso al conocimiento que se tiene con el internet. Por lo tanto, se requiere la aplicación de aproximaciones alternativas de enseñanza que permitan a los estudiantes tener un desempeño óptimo en la ingeniería del futuro.

2.1. Aproximaciones alternativas de enseñanza para la educación en ingeniería

La educación tradicional ha tenido como principal protagonista al profesor mientras los alumnos juegan un papel secundario o pasivo. La mayoría de las aproximaciones que buscan optimizar y hacer más eficientes los procesos de enseñanza-aprendizaje intentan revertir esta dinámica. En otras palabras, estas aproximaciones propenden por un papel activo del estudiante, mientras el profesor se ofrece como guía. Precisamente el aprendizaje activo es una aproximación que busca hacer más eficiente el aprendizaje del alumno mediante metodologías donde este participa activamente tanto desde el punto de vista intelectual como físico [4]. Este último aspecto con respecto a que el estudiante no esté solamente sentado observando y escuchando al profesor, como usualmente sucede en la educación tradicional. Dicho de otra manera, se busca que el estudiante sea el principal responsable de su proceso de aprendizaje [5]. Un ejemplo de metodología en donde el estudiante ejerce un aprendizaje activo lo constituye la aplicación de la ingeniería inversa, que consiste en estudiar un producto o proceso de ingeniería para conocer detalles de su diseño, construcción y operación [6]. La aplicación de la ingeniería inversa constituye una forma muy apropiada en que los estudiantes interactúan con la realidad. Aquí cabe mencionar que las estrategias que promueven una educación considerando el contexto social obtienen una mayor contribución en el aprendizaje significativo del estudiante, tal y como lo indicó la teoría del constructivismo [7]. También vale afirmar que el aprendizaje activo está estrechamente relacionado con el enfoque del aprendizaje centrado en el estudiante, en donde se promueve un aprendizaje autónomo [3,8] y un desarrollo de competencias de pensamiento requeridas en ingeniería [9].

Otra aproximación que ha ganado difusión y adeptos en las últimas décadas es la del aprendizaje basado en competencias. En este enfoque la importancia que se le daba a la enseñanza de contenidos ha perdido su valor para dársele a las habilidades que son demandadas por el mercado laboral. Con esto no se quiere decir que el contenido no sea importante, sólo que es más relevante que los alumnos tengan la capacidad de aprender a aprender, con lo cual pueden adquirir el conocimiento que requieran. Un ejemplo de lo anterior lo constituye la definición y evaluación de las habilidades que debe tener un ingeniero al finalizar su formación por parte de la ABET [10] (Accreditation Board for Engineering and Technology), que es una de las principales instituciones de acreditación de programas de ingeniería en el mundo. Lo anterior permite que el sistema de acreditación sea el enlace y asegure que los ingenieros puedan satisfacer las necesidades de la industria, como lo promueve la enseñanza basada en competencias [11,12]. Entre las metodologías que ayudan este tipo de formación se encuentran

los aprendizajes basados en problemas y en proyectos [8], los cuales a su vez permiten desarrollar un aprendizaje activo y centrado en el estudiante [3,8,13].

El aprendizaje basado en problemas no solo es una metodología sino también un enfoque curricular que fue diseñado para facilitar el aprendizaje contextualizado y significativo por medio de problemas de la vida real [13]. Esta estrategia interviene directamente en la capacidad identificar, formular y resolver problemas de ingeniería por parte de los estudiantes, que es una de las principales habilidades del ejercicio de ingeniería [10]. Durante la aplicación de esta metodología frecuentemente se hace necesario utilizar la ingeniería inversa, por lo que de nuevo se destaca la relación con el aprendizaje activo y la adquisición de competencias requeridas en las empresas [6]. Dentro de las habilidades que promueve esta aproximación educativa está la capacidad de trabajo en equipo, la resolución de problemas y el liderazgo [14].

Una metodología equivalente al aprendizaje basado en problemas es aquel basado en proyectos, el cual puede verse como una versión extensa del primero [15] y es muy pertinente dado el trabajo por proyectos en el ejercicio de la profesión [2]. De nuevo, esta aproximación puede verse desde un punto de vista curricular, así como una estrategia didáctica. En esta metodología se utiliza el instrumento del proyecto como sistema mediante el cual los estudiantes pretenden alcanzar unos objetivos, llevando a cabo un proceso metodológico y alcanzando unos resultados. O sea, los estudiantes aplican la metodología del diseño en ingeniería para resolver problemas [15]. Esta estrategia también se relaciona con el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y creativo, además del trabajo en equipo, la capacidad de análisis y síntesis de información, entre otras [15]. Algunos autores han asociado con esta estrategia algunos principios fundamentales del aprendizaje como la orientación por problemas, la organización por proyectos, la integración de la teoría y la práctica, el trabajo en equipo, la interdisciplinariedad, entre otros [16].

Los aprendizajes basados en problemas y proyectos también pueden ser relacionados con algunas capacidades de la formación en investigación, teniendo en cuenta la importancia de la búsqueda, el análisis y la síntesis de información necesaria para el desarrollo de un proyecto o la solución de un problema. Dicho de otra manera, la formación en investigación constituye un aspecto transversal en las aproximaciones y metodologías de enseñanza revisadas, tal como se representa en la Fig. 1.

2.2. Formación en investigación

En el contexto nacional la formación en investigación en pregrado ha estado tradicionalmente limitada a los laboratorios prácticos de las asignaturas y a los trabajos de grado. Lo anterior hace que, de manera general, la formación en investigación de los estudiantes comience al final de su carrera. Sin embargo, algunos profesores intentan involucrar los estudiantes desde los primeros semestres a los semilleros y grupos de investigación. De esta forma, cabe explicar por qué se ha recomendado que un aprendizaje basado en investigación debe ser la norma en la formación de pregrado [17].



Figura 1. Relación entre las aproximaciones de enseñanza alternativas y la formación en investigación.

Fuente: El autor

Un primer resultado de la presencia de los profesores investigadores en las universidades es la formación en investigación más temprana que comienzan a recibir los alumnos de ingeniería se ha visto reflejado en algunas experiencias particulares en el país [18]. Este inicio temprano hace que luego los estudiantes lleguen a realizar trabajos de grado de alta calidad, acompañados por publicaciones internacionales. Además, gracias a dicha formación temprana, los alumnos comienzan a estar involucrados en proyectos de colaboración con empresas antes de llevar a cabo sus trabajos de grado. Esto le permite a los estudiantes contextualizar su ejercicio profesional al conocer problemas reales al comienzo de su proceso formativo [18].

El avance descrito en la formación en investigación de los estudiantes constituye casos que pueden ser encontrados en diferentes instituciones del país, pero su existencia se basa en acciones individuales de algunos profesores investigadores y no porque esté establecido en las directrices políticas de las universidades. Para contrarrestar este comportamiento, se debe señalar que, en algunas universidades públicas extranjeras, como las brasileñas, algunos estudiantes de pregrado se involucran en proyectos de investigación desde su primer año de ingreso a la universidad. Lo anterior teniendo en cuenta que las competencias investigativas no se adquieren en una sola asignatura [18] y más bien se adquieren investigando [19]. En Brasil este hecho no obedece solo a la decisión de los profesores investigadores, sino también a políticas gubernamentales que proporcionan becas para estos investigadores aficionados.

Algunas investigadoras han resaltado la importancia de la formación en investigación no sólo por ser una función esencial de las universidades, sino también por ser inherente a la enseñanza y por servir como herramienta de aprendizaje profesional [2,20]. Teniendo en cuenta que varias de las etapas que configuran el proceso de investigación son también utilizadas por la metodología del diseño en ingeniería, se puede decir que las competencias desarrolladas en la formación en investigación también hacen parte de las competencias exigidas

en el ámbito profesional y definidas por ABET [10]:

- Capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- Capacidad para diseñar un sistema, un componente o un proceso para satisfacer las necesidades requeridas dentro de restricciones reales como las económicas, ambientales, sociales, políticas, éticas, salubres y seguras, posibles desde la manufactura y sostenibles.
- Capacidad para diseñar y llevar a cabo experimentos, como también para analizar e interpretar datos.
- Capacidad para aplicar los conocimientos de matemática, ciencia e ingeniería.
- Capacidad de trabajar en equipos multidisciplinares.
- Capacidad para comunicarse eficientemente (de forma oral y escrita).
- Capacidad para reconocer la necesidad de comprometerse a un proceso de aprendizaje de por vida.

Estas competencias explican por qué la formación en investigación ocupa un lugar fundamental en el proceso de educación en ingeniería [20]. Por otro lado, la búsqueda, el análisis y la síntesis de información o conocimiento científico constituye el alma del proceso de investigación y de la metodología de diseño en ingeniería [2]. Esta última competencia también puede ser vista como esencial en el desarrollo de la autonomía y el autoaprendizaje del estudiante, por lo que se reconoce otra función de la investigación en el aprendizaje activo y centrado en el estudiante.

La descripción que se acaba de dar permite vislumbrar cómo diversas aproximaciones y metodologías de enseñanza se relacionan entre sí y con la investigación, optimizando el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Las estrategias educativas que involucran la interacción con la sociedad como lo es la colaboración con empresas del sector industrial constituyen una excelente oportunidad para aplicar dichas aproximaciones educativas, como se podrá ver a continuación. Además, la colaboración entre universidades y empresas permite asegurar que las necesidades de la industria sean entendidas y posiblemente implementadas en el currículo [21].

2.3. *Proyectos involucrando la sociedad como estrategia educativa*

A nivel nacional se encuentran varias experiencias en las cuales los proyectos de colaboración con la sociedad, sea con el sector empresarial o con las comunidades, se utilizan como herramienta didáctica para impulsar el desarrollo de muchas de las competencias exigidas al ingeniero del siglo 21 y que involucran diversos enfoques educativos. En la Tabla 1 se resumen estas experiencias, destacando los programas de ingeniería y su modo de aplicación. Allí se puede notar que en la mayoría de los casos la aplicación de las estrategias se realiza en asignaturas diseñadas curricularmente para desarrollar proyectos o proyectos de grado, mientras que en pocos casos ocurre asignaturas particulares del pensum, posiblemente por la ausencia de las primeras. En la tabla se incluye la estrategia propuesta en este trabajo.

Una primera experiencia consiste en la metodología que se lleva a cabo en la asignatura de Materiales de Ingeniería ofrecida en los programas de ingeniería de la Universidad

Tecnológica de Bolívar [22]. En esta metodología se mezclan distintas aproximaciones educativas mencionadas con anterioridad a través del desarrollo de proyectos de curso, en los cuales los estudiantes visitan empresas para descubrir problemáticas reales que luego se transforman en problemas docentes. Dentro de las aproximaciones educativas utilizadas, se citan el aprendizaje activo, el basado en problemas, el basado en proyectos y el basado en competencias. Entre todas las propuestas revisadas, esta constituye la propuesta más avanzada al menos desde el punto de vista sistemático y metodológico [22]. Una publicación adicional de los autores complementa la información sobre la estrategia, la cual incluye una etapa final en que se organiza un foro donde los estudiantes presentan los resultados obtenidos con la presencia de los ingenieros de las empresas [23].

Otra propuesta de características similares es la realizada en el programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Caldas, en donde se llevan a cabo proyectos de extensión con la industria láctea en asignaturas del pensum para mejorar la competitividad de este sector en la región y articulando varios actores de la cadena productiva hasta el mismo consumidor [24]. De nuevo, se indica que en estos proyectos se usa la estrategia de resolución de problemas junto con el aprendizaje basado en proyectos, además de potenciar competencias relacionadas con la creatividad, el pensamiento crítico, el compromiso social, entre otras. Lo más destacable de esta propuesta es que desde el plan de estudios se decidió por incluir la proyección social del programa, con lo cual se crearon asignaturas para articular la academia con la sociedad. De esta forma, los estudiantes contribuyen a la solución de problemáticas reales de un sector industrial e importante de la región.

Por otro lado, en la Escuela de Ingeniería de Antioquia también han incorporado como asignaturas los proyectos de ingeniería para asegurar la calidad y pertinencia en la formación de los ingenieros [2]. Estas asignaturas funcionan como proyectos integradores, donde los estudiantes aplican un aprendizaje activo y basado en proyectos junto con la investigación formativa para encontrar soluciones adecuadas a

problemas de la profesión. En esta propuesta se indica que esta metodología trasciende el carácter instructivo de la enseñanza mientras que permite potenciar el talento de los estudiantes al aprender con motivación durante la ejecución de los proyectos de ingeniería.

Otro ejemplo de la aplicación de proyectos integradores desde la planeación curricular se encuentra en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, donde tomaron como referencia el modelo Proyectos de Ingeniería en Servicio Comunitario (Engineering Projects In Community Service - EPICS) de la Universidad de Purdue [1]. Como su nombre lo indica, este trabajo tiene como fin desarrollar proyectos de ingeniería para servir la comunidad y de esa forma visibilizar la labor del ingeniero y al mismo tiempo fortalecer la formación de los estudiantes. De esta manera, se diseñó la asignatura Proyectos de Ingeniería Integrados a la Comunidad que está disponible para todos los programas de ingeniería, la cual cuenta con una metodología propia tomando como base el aprendizaje basado en problemas y en proyectos. En esta asignatura los estudiantes junto con los miembros de la comunidad trabajan en todas las etapas de un proyecto de ingeniería para resolver problemas, por lo cual el trabajo en equipo se destaca como una competencia a desarrollar. La estrategia busca complementar la formación de los estudiantes en investigación, en algunas de las competencias indicadas por ABET, en normativas de calidad, en lenguas extranjeras y en su espíritu emprendedor. Se destaca en este trabajo la adaptación de una experiencia extranjera al contexto local y regional a partir de las directrices curriculares.

Siguiendo con la misma línea, la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín también cuenta con 3 asignaturas de Seminario de Proyectos de Ingeniería, las cuales fueron recientemente reformadas para incluir aspectos metodológicos de los aprendizajes basado en problemas y en proyectos [25]. En dichas asignaturas existen diferentes tipos de proyectos, en donde se destacan los proyectos de desarrollo (comunitarios o sociales) o los proyectos industriales o de negocio, que brindan la oportunidad a los estudiantes de aplicar los conocimientos adquiridos en otras asignaturas. Hay que reconocer que en esta propuesta cada asignatura tiene una componente teórica para apoyar la ejecución del proyecto de ingeniería, como lo son los fundamentos de los métodos de formulación de proyectos y de diseño en ingeniería, la gerencia y la estructuración de proyectos, la evaluación financiera y ambiental, y el estudio de mercado.

En la UIS también se ha aplicado una estrategia para vincular a las empresas, aunque con proyectos de grado de los estudiantes de Ingeniería Industrial [26]. En este caso se buscaron prácticas para el desarrollo de los trabajos de grado, para lo cual se contactaron diversas agremiaciones empresariales y se obtuvo respuesta de la Asociación Colombiana de Industriales del Calzado (ACICAM) para que le brindaran soluciones a uno de sus problemas. El problema identificado fue que varias empresas habían adquirido un software para la planeación, la gestión y el almacenamiento de inventarios, pero con un bajo nivel de implementación debido a diversas causas. Se decidió entonces que los estudiantes mediante sus trabajos de grado proporcionarían un apoyo a muchas empresas del sector con la implementación del software. Este ejercicio permitió que los estudiantes

Tabla 1.
Información de las estrategias educativas y su modo de aplicación.

Universidad	Programa	Modo de aplicación
Universidad Tecnológica de Bolívar	Ingenierías	Proyecto de Aula (Materiales de Ingeniería)
Universidad de Caldas	Ingeniería de Alimentos	
Escuela de Ingeniería de Antioquia	Ingenierías	Asignaturas de Proyectos de Ingeniería
Universidad de Antioquia	Ingenierías	
Universidad Nacional de Colombia	Ingenierías	
Universidad Industrial de Santander	Ingeniería Industrial	Proyectos de Grado
Universidad Pontificia Javeriana	Ingeniería Civil	Asignatura de Proyecto de Ingeniería
Corporación Universitaria del Huila	Ingeniería Industrial	Asignatura de Proyecto de Grado
Universidad Industrial de Santander	Ingeniería Metalúrgica	Asignaturas de Ciencia e Ingeniería de Materiales

Fuente: El autor.

fortalecieron su formación en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ganaran experiencia con las dificultades que enfrentan las empresas al sistematizar sus procesos y al mismo tiempo contribuyeran al desarrollo de las empresas del sector del calzado.

Otra estrategia en la cual se potencia la participación de estudiantes en proyectos en la industria se está aplicando en el programa de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá [19]. En dicha estrategia los estudiantes cursan una asignatura llamada Proyecto Especial, en donde se intenta promover la capacidad de innovación para resolver problemas complejos. Para esto los estudiantes se vinculan a proyectos de investigación y desarrollan trabajos bajo la asesoría de un profesor investigador. Se ha encontrado que esta estrategia ha llevado a que los antiguos estudiantes, hoy en las empresas o en entidades del estado, busquen la posibilidad de satisfacer las necesidades de estas mediante el desarrollo de proyectos con aquellos grupos de investigación donde aprendieron a investigar. Se puede decir que la estrategia educativa ha servido como medio para acercar la academia con la industria y el estado mediante la implementación de proyectos conjuntos. Hay que resaltar en este caso cómo la iniciativa por mejorar la formación en investigación también permite dinamizar la relación de la universidad con la sociedad.

Finalmente, se debe mencionar un trabajo publicado recientemente donde estudiantes de último semestre en la carrera de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria del Huila resuelven problemas o necesidades del entorno regional por medio de un aprendizaje colaborativo [27]. En esta estrategia los estudiantes para definir sus trabajos de grado deben tomar como referencia la agenda productiva del departamento del Huila, así como los planes de gobierno municipales. El autor menciona que varias formas de aprendizaje son utilizadas en esta estrategia, como el aprendizaje significativo, colaborativo, el orientado a proyectos y el basado en problemas. Adicionalmente, se hace uso de la metodología de ingeniería, en donde se resalta la importancia de proponer soluciones que tengan en cuenta el contexto social, cultural, económico, ambiental y tecnológico de la región, como se establece en una de las competencias previstas por ABET [10]. En este trabajo se presentan algunos de los proyectos ejecutados por los estudiantes y los resultados obtenidos, donde se perciben las grandes contribuciones que pueden dar los estudiantes de ingeniería a la sociedad.

2.4. Contexto nacional y regional

El programa de Ingeniería Metalúrgica de la UIS tiene como objetivo formar ingenieros metalúrgicos con conocimientos teóricos y prácticos relacionados con la extracción y la adaptación de los metales para su uso en la sociedad. El programa cuenta con aproximadamente 500 estudiantes, los cuales ingresan semestralmente en grupos de aproximadamente 60 alumnos. Debido al bajo reconocimiento que tiene esta ingeniería a nivel regional, y por consiguiente a su baja demanda, la mayoría de los estudiantes del programa no tienen en cuenta esta carrera como primera opción para ingresar a la universidad, sino que la seleccionan como una segunda opción. Lo anterior exige un esfuerzo por difundir la utilidad y la

importancia de la Ingeniería Metalúrgica en la sociedad, aparte de transmitir este mensaje a los estudiantes del programa.

La estructura curricular del programa de Ingeniería Metalúrgica está dividida en dos ciclos: el básico y el disciplinar. En el primer ciclo los estudiantes ven todas las asignaturas de matemáticas, física y química que requieren para las asignaturas del ciclo disciplinar. En este último los alumnos cursan las asignaturas relacionadas propiamente con la carrera. Sin embargo, hay que notar que se presenta una brecha entre las asignaturas de ambos ciclos, como resultado del carácter secuencial en que se dictan las asignaturas. Esta situación lleva a que el vínculo teoría-práctica se vea perjudicado y que durante las asignaturas del ciclo básico haya una falta de conocimiento sobre la utilidad de los conocimientos y su aplicación para resolver los problemas de ingeniería.

La situación descrita evidencia la necesidad de promover un compromiso de los alumnos con la carrera de la Ingeniería Metalúrgica, así como de proponer escenarios educativos donde se evidencie esa relación teoría – práctica y particularmente con el contexto industrial, por los motivos expresados previamente.

3. Proyectos colaborativos con la industria como estrategia de enseñanza

La estrategia que se presenta a continuación consistió en que los estudiantes desarrollen proyectos colaborativos con la industria utilizando instrumentos como la formación investigativa, el aprendizaje basado en problemas y en proyectos, los que a su vez inherentemente llevaban a tener enfoques como el aprendizaje activo, centrado en el estudiante y colaborativo. Algunos resultados de los proyectos se incluyen para conocer los tipos de problemas que se presentan en las empresas y cómo los estudiantes de Ingeniería Metalúrgica contribuyeron a su solución.

3.1. Metodología de la estrategia

La estrategia educativa se aplicó en varias asignaturas entre tercer y séptimo semestre del programa en los últimos 3 años. Las asignaturas fueron Ciencia de Materiales, Solidificación y Diagramas de Fase, Metalurgia Física y Metalurgia Mecánica. En todas las asignaturas se propuso un proyecto semestral, para el cual se propusieron 3 modalidades: investigación, emprendimiento y apoyo a la industria. En este último los estudiantes debían buscar una empresa con alguna problemática de ingeniería de materiales o de otras áreas de ingeniería y es la modalidad en que basa este trabajo. En la Fig. 2 se presentan las etapas que caracterizaron el desarrollo de los proyectos y que son descritas a continuación. Estas actividades fueron articuladas con un semillero de investigación dirigido por el docente, que contaba con reuniones semanales o quincenales.

I. Búsqueda de problemas en empresas

La selección de la modalidad de Apoyo a la Industria en los proyectos de los estudiantes estuvo fuertemente influenciada por la posibilidad de establecer el contacto con una empresa, fuera mediante la ayuda de familiares y amigos de los estudiantes o del empeño de estos en ir tocando puertas en

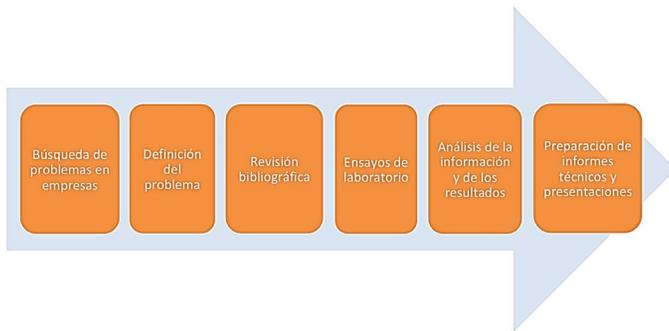


Figura 2. Etapas de desarrollo de los proyectos de colaboración con empresas. Fuente: El autor.

empresas para ver cuál le suministraba un problema. Sin embargo, en otros casos, algunos estudiantes que no encontraban problemas de empresas manifestaban su intención de trabajar en equipo con los estudiantes que sí los habían encontrado. Por otro lado, hubo casos en que la propia familia del estudiante tenía una empresa, por lo cual era de gran facilidad saber de alguna problemática e incluso visitar la empresa para ver conocer más detalles.

Para buscar problemas en empresas los estudiantes recibieron al inicio del semestre la directriz de solicitar a la empresa toda la información relevante sobre un problema que tuvieran con el fin de que los estudiantes les dieran alguna contribución al finalizar el semestre. A su vez, estos se comprometían con la empresa a entregar un informe técnico con los resultados de su trabajo. Durante las reuniones del semillero de investigación se hizo gran énfasis en la importancia del registro y almacenamiento físico y digital de la información dada por el personal de las empresas. Incluso, cuando era posible, se realizaron grabaciones de voz y se tomaron fotografías de los componentes, sistemas y procesos involucrados en las problemáticas.

Hay que mencionar el papel que tuvieron las empresas dependiendo de su apertura para que efectivamente comunicaran una problemática a los estudiantes e invirtieran tiempo en suministrar la información respectiva. Algunas de las empresas que tuvieron dicha apertura tenían, por otro lado, la intención de establecer contacto con la UIS. Este aspecto fue fundamental para que los estudiantes consiguieran las oportunidades de establecer proyectos semestrales. Incluso algunas de estas empresas proporcionaron más de un proyecto para que los estudiantes trabajaran.

II. Definición del problema

La definición del problema dependió de la información proporcionada por la empresa a los estudiantes. En algunos casos fue necesario realizar visitas a las empresas por parte del profesor y los estudiantes para establecer con mayor precisión la problemática. Además, las reuniones en el semillero de investigación permitieron tener un espacio adicional para la asesoría del profesor y de esta manera definir con mayor detalle, junto con otros estudiantes asistentes al semillero, el problema en cuestión. Dependiendo del problema analizado, se dieron instrucciones a los estudiantes para realizar una revisión bibliográfica, analizar la información colectada y eventualmente ejecutar caracterizaciones de materiales en

laboratorio. De la misma manera, se definieron los equipos de trabajo de acuerdo con el nivel de dificultad de cada problema. Los grupos de trabajo estuvieron conformados por entre 2 y 6 estudiantes. En los casos de problemas muy complejos, se contempló la idea de que el objetivo los estudiantes era proponer alternativas de solución a dichos problemas, teniendo en cuenta las limitaciones de tiempo y recursos para implementar la solución.

III. Revisión bibliográfica

Una vez los estudiantes contaban con la descripción del problema, la primera actividad asignada consistía en realizar una revisión bibliográfica sobre el tema del problema, para lo cual se listaban las temáticas que debían estudiarse. Algunas recomendaciones se dieron para dicha revisión, con objeto de darle importancia a utilizar fuentes bibliográficas formales, tales como libros, artículos y tesis de grado. Se hizo un énfasis especial en evaluar la fiabilidad de la información informal, como aquella encontrada en internet. Sólo en algunos casos se utilizó la información informal para encontrar productos o procesos tecnológicos que difícilmente se encuentran en las fuentes bibliográficas formales.

En algunos casos fue necesario realizar un ejercicio de ingeniería inversa con el objeto de conocer detalles de los procesos de diseño, construcción y operación de productos, sistemas o procesos. Para tal fin, muchas veces se tomaron como herramienta los videos disponibles en internet.

IV. Ensayos en laboratorio

En la mayoría de los problemas abordados por los estudiantes uno de los objetivos de los proyectos consistía en realizar una caracterización metalográfica y de dureza de los materiales metálicos involucrados. Lo anterior debido a que uno de los problemas más comunes de la ingeniería de materiales consiste en la falla de estos, por lo cual es imprescindible realizar un análisis para conocer su causa. Solo en una ocasión se realizó otro tipo de ensayo de laboratorio, como fue el análisis de arenas de fundición.

Hay que indicar que se tuvieron dificultades para subvencionar económicamente los ensayos de laboratorio, ya que a las empresas no se les exigía ningún recurso económico en estos proyectos. Para superar estas dificultades se utilizaron los recursos que proporciona la Facultad de Ingenierías Físicoquímicas de la UIS, en sus programas de apoyo a los semilleros de investigación. Por otro lado, la Escuela de Ingeniería Metalúrgica apoyó la tarea de los estudiantes por medio del tiempo que los técnicos de los laboratorios dedicaron en asesoría y con el uso de algunos equipos y materiales de laboratorio.

Para llevar a cabo la caracterización metalográfica y de dureza de los materiales los estudiantes ejecutaron las siguientes etapas:

- Corte y montaje en baquelita de probetas
- Pulido y desbaste de las probetas
- Observación y registro de micrografías
- Toma de dureza

De estas etapas el pulido y el desbaste fueron las que mayores dificultades causaron a los estudiantes, debido a que son procesos manuales y donde los estudiantes tienen que ganar

algunas habilidades tanto en la observación de las probetas como en su destreza manual. Para los estudiantes que ya habían cursado la disciplina de metalografía, este proceso fue de menor dificultad.

V. Análisis de la información y de los resultados

Al haber realizado la revisión bibliográfica, los grupos de estudiantes tuvieron una mejor visualización del problema. Lo anterior con el apoyo de la asesoría recibida por los alumnos en las reuniones del semillero de investigación. En estas reuniones se aclaraban las dudas de los estudiantes, y a su vez se definían preguntas que debían ser llevadas a las empresas. Por este motivo, muchos proyectos requirieron de más de una entrevista con el personal de las empresas.

En el caso de los proyectos que, adicional a la revisión bibliográfica, requerían de ensayos de laboratorio para alcanzar su objetivo, las reuniones en el semillero de investigación fueron fundamentales para superar algunas dificultades como consecuencia de la inexperiencia de los estudiantes. Al obtener algunos resultados de los ensayos de laboratorio, estos fueron discutidos en las reuniones y se dieron recomendaciones para repetir algunos procedimientos o para analizar los resultados y sacar las conclusiones.

VI. Preparación de informes técnicos y presentaciones

Como actividad final, los estudiantes prepararon los informes técnicos y/o las presentaciones de los proyectos. Estas actividades también fueron asesoradas en las reuniones de los semilleros de investigación, aunque en las asignaturas se tomaban espacios de las clases para dar directrices generales sobre dichas actividades. Se les dio gran importancia a estas actividades considerando su alto valor para lograr que los alumnos alcancen la capacidad de la comunicación efectiva, escrita y oral, que es fundamental en el ejercicio de la ingeniería. En particular, se ha recomendado la inclusión de la comunicación escrita como actividad para enseñar y evaluar en las asignaturas de pregrado [17].

En la asesoría de la elaboración del informe técnico se tuvieron dificultades relacionadas con la gran falencia detectada en los estudiantes con respecto a su redacción y ortografía. En estos aspectos se enfatizó gran parte de las asesorías en las reuniones del semillero, así como en reuniones personalizadas del docente con los estudiantes.

3.2. Proyectos y resultados

En la Tabla 2 se presenta una descripción general de algunos de los proyectos más destacados que fueron desarrollados. En dicha tabla se listan las temáticas de los proyectos, junto con el número de estudiantes de cada grupo de trabajo y los principales resultados obtenidos. De acuerdo con el tipo de problema abordado en los proyectos, se puede decir que la mayoría consistió en el análisis de materiales metálicos con el fin de determinar la causa de su pobre desempeño o falla en diversas aplicaciones. Se debe indicar que en los títulos de los proyectos se omitieron detalles de los materiales y aplicaciones con el objeto de no divulgar la información proporcionada por las empresas. De las temáticas también se puede notar que

Tabla 2.
Temas de proyectos y resultados obtenidos.

Proyecto	Est.	Resultado
Análisis de falla de un yugo (parte de máquina)	2	La caracterización metalográfica evidenció la posible causa de la falla
Reutilización de la calamina obtenida como residuo en procesos de fundición	2	La revisión bibliográfica permitió dar recomendaciones para el uso del residuo
Análisis del alto desgaste de un acero utilizado en máquinas agrarias	6	La caracterización metalográfica explicó el alto desgaste de la herramienta
Estudio de la obtención de una aleación Al-Si-Mg por fundición	2	La revisión bibliográfica permitió dar pautas para el proceso de fundición
Análisis de selección de materiales para hidrociclón y horno de cilindro rotatorio	1	Las caracterizaciones metalográficas permitieron dar recomendaciones para cambiar los materiales
Análisis de falla de 3 piezas fabricadas en aceros de baja aleación	6	Las caracterizaciones metalográficas explicaron las fallas de las piezas
Caracterización de los defectos de una pieza fundida en acero	3	La caracterización metalográfica evidenció una microestructura con alta fragilidad
Estudio del desgaste de cuchillas de corte para plotter	2	Caracterización de superficies desgastadas y metalográfica, pero sin resultados con impacto
Caracterización de una aleación Ti-Al-V usada en fabricación de implantes ortopédicos	1	La caracterización metalográfica mostró la presencia de poros
Análisis del desgaste de herramientas para la manipulación de implantes quirúrgicos	6	Las caracterizaciones metalográficas explicaron el alto desgaste de las herramientas
Análisis del desgaste de una herramienta de forja en caliente	3	Se realizaron las caracterizaciones de la herramienta y de la pieza forjada, que permitieron dar recomendaciones para el proceso y los materiales

Fuente: El autor.

involucran diversos sectores de la industria como el de la manufactura, el petróleo y el gas, el agrícola, el biomédico, entre otros.

Hay que notar que hubo una diversidad en el tamaño de los grupos de trabajo, ya que en algunos casos los problemas fueron estudiados individualmente, mientras que en otros casos trabajaron hasta 6 estudiantes en un mismo problema. Lo anterior dependió del tipo de problema abordado. Se puede asumir que en el caso de los grupos de trabajo se promovió el trabajo en equipo de los estudiantes, aunque a veces también se presentaron algunos conflictos.

La mayoría de los resultados de la ejecución de los proyectos tuvieron algún tipo de impacto. Sin embargo, hubo algunos proyectos que no tuvieron impacto. Por ejemplo, esto sucedió con aquellos proyectos en que el resultado fue adecuado, pero que por falta de información de la empresa no fue posible avanzar más en el proyecto. Por otro lado, el menor impacto eventualmente fue una consecuencia de que el estudiante o el grupo de trabajo no pudo avanzar lo suficiente durante el semestre. Lo anterior se puede explicar por el hecho de que a veces el proyecto requería de un tiempo de dedicación considerable que algunos estudiantes, si aún se encontraban cursando asignaturas del ciclo básico, no lo tenían.

En algunos proyectos los estudiantes únicamente realizaron una revisión bibliográfica para dar recomendaciones a la empresa sobre las alternativas para resolver el problema. Considerando que no hubo continuidad en estos proyectos, se

puede asumir que tuvieron un bajo impacto. Esto como consecuencia de que la implementación de las alternativas de solución requería normalmente del establecimiento de un proyecto de mayor plazo y envergadura, como lo sería un trabajo de grado, una práctica empresarial de un estudiante o un servicio de extensión.

En los proyectos que tuvieron mayor impacto se puede notar que la caracterización metalográfica de los materiales analizados permitió establecer la causa de su falla o de su pobre desempeño. En estos casos, la relación con las empresas fue más fluida y continua, estableciéndose varios proyectos con continuidad e incluso se llegaron a establecer trabajos de grado [28-30]. Otra forma de verificar el éxito logrado en estos proyectos se manifestó por medio de su divulgación científica en congresos nacionales [31-32].

En las Figs. 3 a 7 se presentan algunas micrografías que sirven como ejemplo del potencial que tiene una análisis metalográfico para determinar el motivo del desempeño inadecuado de un material metálico. En la Fig. 3 se puede observar una estructura dendrítica encontrada en una pieza de máquina agraria sujeta a condiciones de desgaste e impacto, por lo que dicha estructura no es adecuada y se esperaría que tuviese una microestructura adecuada a partir de un tratamiento térmico. En la Fig. 4 se muestra un acero austenítico, usado en la misma aplicación, donde se observaron carburos en los límites de grano, aspecto que debe ser inhibido en dicho material para asegurar un desempeño óptimo. En las Figs. 5 y 6 se presentan las micrografías de tres piezas de acero de baja aleación sujetas a fatiga. La micrografía de la Fig. 5 se muestra un material que posee una microestructura perlítica, la cual no es la más adecuada para la aplicación ya que el material debía haber sido sometido a un tratamiento térmico de temple y revenido. Adicionalmente, se puede notar la presencia de una cantidad considerable de inclusiones no metálicas, las cuales hacen el material más susceptible a la falla por fatiga. Por último, en la Fig. 7 se muestra la micrografía de una pieza fundida que exhibe grietas en la probeta sin atacar, lo que permitió evidenciar la fragilidad del material.



Figura 3. Micrografía obtenida de un acero usado en un componente de máquinas agrarias, evidenciando la presencia de una estructura dendrítica sin tratamiento térmico.
Fuente: El autor.



Figura 4. Micrografía obtenida de un acero usado en un componente de máquinas agrarias, evidenciando la precipitación de carburos en los límites de grano.
Fuente: El autor.

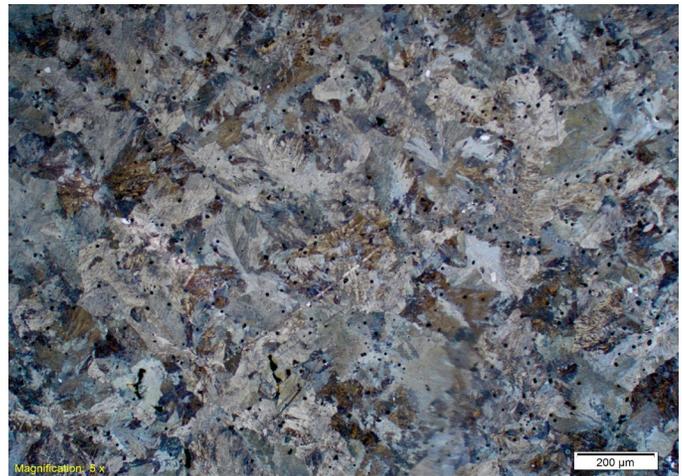


Figura 5. Micrografía obtenida de un acero perlítico de baja aleación usado en una pieza sometida a fatiga.
Fuente: El autor.

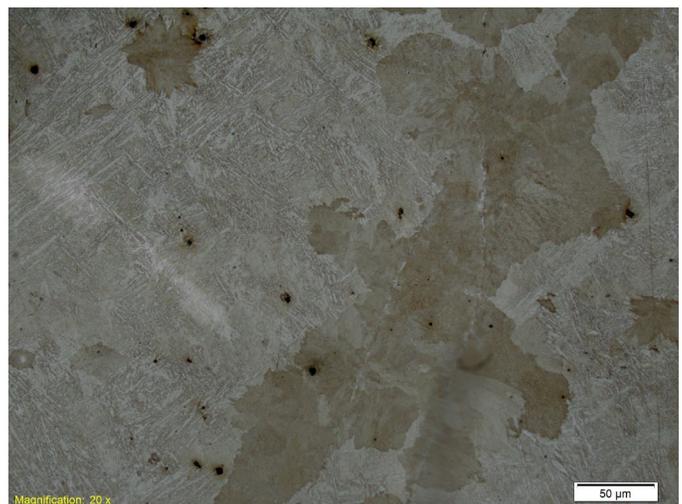


Figura 6. Micrografía obtenida de un acero de baja aleación con microestructura heterogénea usado en una pieza sometida a fatiga.
Fuente: El autor.

4. Lecciones aprendidas y desafíos

4.1. Orientación a los estudiantes

En esta primera sección de las lecciones y desafíos están quizás las mayores dificultades del docente: brindar una orientación adecuada para ayudar a que los estudiantes superen algunos obstáculos que son esenciales para tener un desempeño destacado durante los proyectos.

Un gran desafío que enfrentan actualmente los profesores universitarios consiste en motivar y promover el compromiso de sus alumnos con relación a su proceso de aprendizaje y su carrera profesional. Durante la ejecución de esta estrategia no fue diferente y se observó que algunos estudiantes tuvieron un bajo nivel de motivación y compromiso, por lo que los proyectos de colaboración con las empresas no lograron ningún impacto. Este aspecto es de gran importancia, como resultado del nivel de responsabilidad demandado por las empresas, quienes invierten dinero en especie por medio del tiempo que dedican los funcionarios al proyecto y por lo cual es necesario que los proyectos establecidos tengan algún tipo de impacto. De acuerdo con el escenario planteado, es fundamental que los profesores tengan algún tipo de orientación y asesoría para enfrentar estos desafíos, quizás por parte de profesionales de otras unidades como de Bienestar Universitario o de un centro de formación docente, como lo es el Centro para el Desarrollo de la Docencia en la UIS (CEDEDUIS). Esta asesoría podría ayudar a que los profesores tengan herramientas para saber cómo resolver las dificultades con los alumnos.

Por otro lado, cabe mencionar que los alumnos de los primeros semestres requieren de especial atención. A pesar de que son estudiantes que tienen mayor motivación para desarrollar los proyectos de colaboración, también es cierto que están cursando las asignaturas del ciclo básico de ingeniería y que les exige bastante dedicación. Por este motivo, su participación en los proyectos con empresas puede ser difícil como consecuencia del poco tiempo que tienen a su disposición

o porque podrían descuidar dichas asignaturas que son algunas de las que más pierden los estudiantes de ingeniería e incluso en algunos casos propician su salida de la universidad.

Otro aspecto de gran relevancia lo constituye el trabajo en equipo de los estudiantes. Sea que los estudiantes seleccionen dicho equipo o que el profesor lo haga, durante esta relación entre los miembros pueden surgir fácilmente pequeños desacuerdos. Por este motivo es importante que el profesor se mantenga al tanto de cómo evoluciona dicha relación para en algún momento dado pueda dar las directrices sobre cómo manejar esos desacuerdos. Un problema típico correspondientes en los equipos de trabajo se encuentra por ejemplo en la dedicación desigual entre los miembros. Es importante que los integrantes del equipo lleguen a algún acuerdo para que esa dedicación desigual, que puede ser por disponibilidades de tiempo y motivaciones diferentes, no afecten el desarrollo del proyecto.

La articulación del semillero de investigación con el desarrollo de los proyectos también es un aspecto para destacar. Sin duda que la formación en investigación recibida por los estudiantes en los semilleros les prepara para tener un mejor desempeño en la ejecución de los proyectos. Se observó que aquellos grupos de trabajo con estudiantes que asistieron a las reuniones del semillero obtuvieron resultados de mayor impacto. En particular, los estudiantes deben recibir una formación en cuánto a la metodología para realizar la búsqueda y el registro de la información. La información tecnológica es fundamental para entender los problemas tecnológicos de las empresas, pero los libros y artículos de investigación pueden ser cruciales para proponer las alternativas de solución al problema. Una asesoría para buscar ambos tipos de información resulta muy provechosa, tanto para saber qué información es fiable como para facilitar el entendimiento de los textos de los libros y de los artículos. Aún más importante es la relevancia de la capacidad de la lectura en inglés, lo que puede hacer más significativa la investigación de los estudiantes. Otra asesoría importante que se impartió durante las reuniones del semillero fue la discusión de las dificultades que tenían los estudiantes con la caracterización metalográfica, que fue una actividad bastante común en la mayoría de los proyectos que llevaba a tener un diagnóstico del desempeño de los materiales. En especial, se observó que durante la caracterización metalográfica los alumnos que aún no tenían experiencia en el pulido de muestras metálicas tuvieron bastantes dificultades para realizar dicha actividad. Una vez más, la asesoría en el semillero fue importante para superar dichas dificultades. Además, de estas dificultades se puede tener una lección y es que se deben tener en cuenta algunas estrategias para que estos estudiantes inexpertos en caracterización metalográfica puedan ser guiados por otros compañeros de mayor experiencia. Este punto debe ser considerado durante la conformación de los grupos de trabajo.

En la última lección se debe señalar que la estrategia demandó una orientación considerable de los estudiantes por parte del docente. Esa demanda se pudo cubrir con el espacio brindado por el semillero de investigación. Sin embargo, como se vio en la revisión de estrategias similares en otras instituciones, sería más adecuado dedicar un mayor espacio a este tipo de estrategias mediante asignaturas en el plan



Figura 7. Micrografía obtenida de un acero de baja aleación con microestructura heterogénea usado en una pieza sometida a fatiga.

Fuente: El autor.

curricular diseñadas para tal fin. Esto se explica desde el punto de vista del compromiso con el contenido que tienen que cumplir las asignaturas disciplinares y que dejan poco tiempo para la asesoría de los proyectos.

4.2. Tipo y duración de los proyectos

Con respecto al hecho de que la gran mayoría de los proyectos consistieron en determinar la causa de falla de una pieza, hay que indicar que esto muestra que las empresas no cuentan con ingenieros con formación en ciencia e ingeniería de materiales, como lo es el caso de los ingenieros metalúrgicos. En otras palabras, la industria no reconoce aún la importancia de esta profesión y cómo le podría aportar para evitar este tipo de problemas. Esto, por otro lado, puede ser visto como una gran oportunidad para comenzar a aumentar la visibilidad de la profesión por medio del desarrollo de estos proyectos con los estudiantes. Este tipo de problemas normalmente se resuelve con un análisis metalográfico del material y una examinación visual de la pieza fallada, lo que constituye un problema básico para que los estudiantes de ingeniería metalúrgica apliquen los conocimientos adquiridos e incluso profundicen en algunos de ellos.

La duración de un semestre para los proyectos fue adecuada. Sin embargo, se presentaron casos donde el problema planteado por la empresa requirió de un mayor tiempo. En estos casos, la evaluación del desempeño de los alumnos estuvo limitada a analizar el avance obtenido por el grupo de trabajo. Sin embargo, en el próximo semestre eventualmente se continuaron los proyectos que no pudieron ser finalizados en el semestre anterior. Por este motivo, es necesario que para los proyectos futuros se evalúe con mayor rigurosidad la posible duración del proyecto y el número de alumnos requeridos en dicho grupo para poder finalizarlo en un semestre. Lo anterior teniendo en cuenta el compromiso adquirido con la empresa de entregar un informe técnico al finalizar el semestre. En el caso de problemas más complejos, es posible proponer que el problema sea abordado mediante otras modalidades como los trabajos de grado, las prácticas empresariales o, en el caso de que sea posible, el servicio por extensión. La selección del tipo de modalidad dependerá, aparte del tipo de problema, de la relación que se tenga con la empresa.

4.3. Contacto y relación con las empresas

El contacto o acercamiento con las empresas ocurrió de forma relativamente fácil gracias a la búsqueda de los propios estudiantes mediante correos electrónicos, visitas, llamadas telefónicas, o por la intermediación de un amigo o familiar. Vale resaltar que en esa búsqueda muchos estudiantes tuvieron que apelar a la paciencia y la perseverancia para lograr su cometido. Esto se puede entender por el hecho de que algunas compañías son reticentes a dar la información de sus problemas a estudiantes de pregrado, posiblemente como resultado de su desconfianza a que los estudiantes y el profesor no usen la información de modo confidencial. Por otro lado, las empresas también pueden sentirse amenazadas por el hecho de que futuros profesionales posean información acerca de su negocio. A pesar de lo anterior, muchas empresas fueron abiertas y dieron la información necesaria para que su problema fuera

estudiado por los estudiantes. Esto muestra cómo, a pesar de la ausencia de un acuerdo de confidencialidad, las empresas se arriesgan a dar información a cambio de una posible solución o alternativas de solución para sus problemas. Esto demuestra una vez más la oportunidad que se tiene en aplicar este tipo de estrategias educativas, desde que los diversos problemas a los que se enfrentan las empresas pueden ser usados como medios de aprendizaje por los estudiantes. Otra oportunidad que puede notarse es que mediante dicho contacto se puede construir una relación de conocimiento y de confianza entre el profesor y la empresa, lo que posibilita una interacción más continua y de mayor alcance a futuro. Como se mencionó anteriormente, esta estrategia educativa permitió establecer un contacto con algunas empresas, que posteriormente resultó en la conformación de relaciones con algunas de ellas para formular trabajos de grado y resolver problemas específicos.

4.4. Optimización de la estrategia

Para finalizar, una lección aprendida se obtuvo durante la revisión bibliográfica para escribir el presente artículo, donde se pudo comprobar que la experiencia del profesor se puede mejorar ostensiblemente con el conocimiento de las otras estrategias similares que se aplican en otras universidades del país y del extranjero. Por medio de la revisión de dichas estrategias es posible realizar una optimización de la estrategia aquí presentada.

Una falencia observada en la presente estrategia es la falta del uso de herramientas de gerencia de proyectos que puedan garantizar una planeación, ejecución y seguimiento adecuados del proyecto, que permita llegar a su finalización con mayores éxitos [27]. Adicionalmente, se pueden incorporar aspectos de la metodología de Castellanos y colaboradores, quienes ya tienen una gran experiencia desarrollando una estrategia educativa bastante similar [22-23].

Otro aspecto fundamental que presentan algunas estrategias formuladas desde políticas curriculares es que incluyen teoría en las asignaturas para preparar mejor los estudiantes en el desarrollo de proyectos. Como ejemplo, hay que citar la directriz curricular de la Universidad Nacional de Colombia, donde en las asignaturas se proporcionan elementos básicos sobre los métodos de formulación de proyectos y de diseño en ingeniería, la gerencia y estructuración de proyectos, entre otros temas. Este es un motivo más que justifica la inclusión de una asignatura de proyecto de ingeniería en los programas de ingeniería del país, tal como lo sugiere ABET en las capacidades solicitadas a los profesionales de ingeniería [10].

Por último, vale mencionar el mecanismo de búsqueda de problemas realizado por algunos investigadores [24,26,27], quienes tuvieron en cuenta las particularidades de la región como es el contacto con las asociaciones de sectores industriales [24,26], o el conocimiento de la agenda productiva del departamento y de los planes de gobierno municipales [27]. Esto podría aplicarse por ejemplo en el presente caso, ya que el contacto con la Asociación Metalmeccánica de Santander, que es un sector industrial directamente relacionado con la ingeniería metalúrgica o de materiales, podría ser de gran utilidad para formalizar y encontrar más empresas con las cuales realizar proyectos de colaboración.

5. Conclusiones

En este trabajo se propuso una estrategia educativa que promueve la combinación de diferentes abordajes educativos en ingeniería, como el aprendizaje activo, el basado en problemas, en proyectos y en competencias, todos articulados con la formación investigativa, para desarrollar un proyecto colaborativo con la industria. Este tipo de estrategias están siendo aplicadas en las universidades del país, en algunos casos dentro de una asignatura o como reformas curriculares a los programas de ingeniería. Sin embargo, es necesaria la creación de políticas universitarias o gubernamentales para promover con mayor proyección este tipo de prácticas, no solamente en el campo de ingeniería sino en todos los campos profesionales, donde una formación por competencias es necesaria por medio de la interacción con el contexto social de modo a contribuir en la solución de problemas en la sociedad.

Las capacidades que se desarrollan en este tipo de estrategias, como la capacidad de resolver problemas, la comunicación escrita y oral, la habilidad de trabajar en equipo, las capacidades en investigación, la toma de decisiones, entre otras, son características que son requeridas para resolver los problemas ingenieriles de la industria. Más allá de esto, los estudiantes tienen una experiencia con la realidad donde van a verse sometidos a situaciones desafiantes como aquellas que luego enfrentarán como profesionales, por lo cual el ejercicio constituye un excelente escenario para reconocer las falencias que se tienen en las competencias mencionadas.

Un contacto más cercano de los estudiantes con la ingeniería de la vida real es determinante para su motivación y compromiso en el desarrollo de su carrera profesional. Además, la ejecución de proyectos con empresas les permite a los estudiantes ganar confianza con relación a sus habilidades, lo que es fundamental para su posterior vida profesional. Por otro lado, esta experiencia resulta crucial en su proceso de aprendizaje, teniendo en cuenta la importancia de que tenga un papel activo y pueda ser significativo aquel objeto de enseñanza gracias a su relación con un contexto social. Esto constituye una excelente oportunidad para visualizar la aplicación de los conocimientos básicos obtenidos en los primeros semestres de los programas de ingeniería en la vida real. Por último, el desarrollo de estos proyectos le permite al estudiante reconocer el potencial de la ingeniería para resolver problemas de la sociedad y, en el caso de la ingeniería metalúrgica, contribuir a su visibilidad como fuente importante del desarrollo industrial y tecnológico de las regiones y del país. Esto último quedó expuesta mediante la presentación de las micrografías de los materiales metálicos, las cuales permiten hacer una evaluación del desempeño de estos en una aplicación dada.

La aplicación de esta estrategia en asignaturas del programa de Ingeniería Metalúrgica permitió desarrollar proyectos de colaboración con la industria, lo que a su vez dejó ver el tipo de problemáticas que tienen las empresas en el área metropolitana de Bucaramanga y sus alrededores. La experiencia de conocer las problemáticas de la ingeniería en la industria brinda una retroalimentación entre lo que aprende el estudiante de la industria y el contenido curricular de las asignaturas. Esto ayuda a llenar el vacío que existe entre las necesidades de la industria y las contribuciones de la academia [12]. Se ha

identificado que no existe normalmente un acuerdo entre los estudiantes, los profesores y los ingenieros en la industria en relación con cuáles deben ser los objetivos de la educación [33]. Este tipo de ejercicios permite que todos los actores tengan un diálogo que inherentemente lleve a encontrar un acuerdo entre las partes y a formar ingenieros mejor preparados para los desafíos actuales [34]. Además, este tipo de estrategias tiene como misión implícita dinamizar la relación entre la academia y la industria, ya que este acercamiento puede facilitar la construcción de una relación de confianza entre ambas partes que tradicionalmente ha sido débil. De esta forma, se potencia la transferencia de conocimiento de la universidad hacia las empresas, contribuyendo a su desarrollo tecnológico y cumpliendo su misión de contribución al desarrollo de la sociedad.

Por último, se identificaron algunas lecciones aprendidas y desafíos en la aplicación de la estrategia que deben considerarse para optimizarla, donde se destacan algunos aspectos a mejorar en la metodología para promover un mejor desempeño de los estudiantes. Adicionalmente, hay que tener en cuenta que en la literatura se pueden encontrar una amplia variedad de estrategias educativas similares que son aplicadas en diversas universidades, con características que pueden contribuir a optimizar la estrategia aquí propuesta.

Referencias

- [1] Vélez, J.A., Jaramillo, F., Saldarriaga, J.C. y Palacio, C.A., Proyectos de ingeniería integrados a la comunidad (PIIC), una visión institucional y metodológica, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 12(23), pp. 76-82, 2017. Disponible: <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/738>. DOI: 10.26507/rei.v12n23.738
- [2] Ospina, L.V., Articulación para la formación para la investigación y el emprendimiento con los proyectos de ingeniería en la Escuela de Ingeniería de Antioquia, en: *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, Cartagena, [en línea]. 2015. Disponible en: <https://www.acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/view/1249/431>.
- [3] Betancourt, C., Aprendizaje basado en problemas - Una experiencia novedosa en la enseñanza de la ingeniería, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 1(2), pp. 45-51, 2006. Disponible en: <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/37>.
- [4] Duque, M., Competencias, aprendizaje activo e indagación: un caso práctico en ingeniería, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 1(2), pp. 7-18, 2006. Disponible en: <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/41>.
- [5] Barros, R. y Ramírez, C., Modelo de aprendizaje activo para desarrollar habilidades de identificación, formulación y resolución de problemas de ingeniería industrial, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 4(7), pp. 74-83, 2009. Disponible en: <http://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/75>.
- [6] Ramos, D.A., Uso de la ingeniería inversa como metodología de enseñanza en la formación para la innovación, en: *World Engineering Education Forum*, Cartagena, [en línea]. 2013. Disponible en: <https://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/view/File/380/189>.
- [7] Carreño, I.D.V.G., Teoría de la conectividad como solución emergente a las estrategias de aprendizaje innovadoras, *Revista Electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social (REDHECS)*, [en línea]. 6(4), pp. 1-25, 2009. Disponible en: <http://ojs.urbe.edu/index.php/redhecs/article/view/65>.
- [8] Salas, W.A., Formación superior basada en competencias, interdisciplinariedad y trabajo autónomo del estudiante, *Revista Iberoamericana de Educación*, [en línea]. 35(9), pp. 1-33, 2005. Disponible en: <https://rieoei.org/RIE/article/view/2870>.
- [9] Cukierman, U.R., Aprendizaje centrado en el estudiante: un enfoque

- imprescindible para la educación en ingeniería, en: Aseguramiento de la calidad y mejora en la educación en ingeniería: Experiencias en América Latina, Ed. ACOFI y CONFEDI, 2018.
- [10] Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), Criteria for accrediting engineering programs, [online]. October 20th of 2017. Available at: <https://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/02/E001-18-19-EAC-Criteria-11-29-17.pdf>.
- [11] Posada, R., Formación por competencias en educación superior: una aproximación conceptual a propósito del caso colombiano, *Revista Iberoamericana de Educación*, [en línea]. 36(9), pp. 1-33, 2004. Disponible en: http://cursos.leon.uia.mx:8081/rid=1158334411341_958429908_2683/1036Salas.pdf.
- [12] Arlett, C., Lamb, F., Dales, R., Willis L. and Hurdle, E., Meeting the needs of industry: the drivers for change in engineering education, *Engineering Education*, [online]. 5(2), pp. 18-25, 2010. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.11120/ened.2010.05020018>. DOI: 10.11120/ened.2010.05020018
- [13] Herrán, C.A. y Vega, C.F., Uso del ABP como estrategia didáctica para lograr aprendizaje significativo del diseño de ingeniería, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 2, pp. 33-44, 2006. Disponible en: <http://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/39>.
- [14] de Graff, E. and Kolmos, A., History of problem-based and project-based learning, in: E. de Graff, and A. Kolmos, Eds. *Management of Change – Implementation of Problem-based and Project-based Learning in Engineering*, Sense Publishers, 2007, pp. 1-29. DOI: 10.1163/9789087900922_002
- [15] Capraro, R.M. and Slough, S.W., Why PBL?, Why STEM?, Why now?, An introduction to STEM project-based learning. In: *STEM Project-Based Learning*, Sense Publishers, Rotterdam, 2013. DOI: 10.1007/978-94-6209-143-6
- [16] Barge, S., Principles of Problem and Project Based Learning The Aalborg PBL Model, Thesis, Aalborg University, Aalborg, Dinamarca, 2010.
- [17] Boyer Commission on Educating Undergraduates in the Research University, *Reinventing Undergraduate - A Blueprint for America's Research Universities*, Stoney Brook, NY, USA, 1998.
- [18] Tejada, C., Tejada, L. y Villabona, A., Pedagogía para el desarrollo de competencias investigativas apoyada en los semilleros de investigación desde el inicio del pregrado, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 3(6), pp. 38-49, 2008. Disponible en: <http://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/61>.
- [19] Gómez, A., Aprender a investigar investigando para romper la barrera Universidad-Empresa-Estado, en: *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, Cartagena, [en línea]. 2014. Disponible en: <https://www.acofipapers.org/index.php/ei/2014/paper/view/800/0>.
- [20] González, R.M. y González, V., Investigación y desarrollo profesional en la universidad, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 2(4), pp. 26-35, 2007. Disponible en: <https://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/50>.
- [21] Spinks, N., Silburn, N. and Birchall, D., Educating engineers for the 21st century: the industry view, *The Royal Academy of Engineering*, London, U.K., 2006.
- [22] Castellanos, L.M. y Hernández, A., Una alternativa metodológica innovadora para formar y evaluar competencias a través de proyectos de curso en las carreras de ingeniería, *Revista Educación en Ingeniería*, [en línea]. 5[10], pp. 37-48, 2010. Disponible en: <http://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/112>.
- [23] Castellanos, L.M., La formación en ingeniería basada en proyectos a través de la solución de problemas reales de las empresas, en: *World Engineering Education Forum*, Cartagena, [en línea]. 2013. Disponible en: <https://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/view/232>.
- [24] Mazzeo, M.H., Díaz, F.O. y Caicedo, J.C., Formación en ingeniería de alimentos con metodologías de proyectos de extensión en una cadena productiva láctea en el departamento de Caldas, en: *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, Cartagena, [en línea]. 2014. Disponible en: <https://www.acofipapers.org/index.php/ei/2014/paper/view/724/262>.
- [25] Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, *Estrategia de Innovación en Educación en Ingeniería*, [en línea]. 2017. Disponible en: <https://minas.medellin.unal.edu.co/descargas/InnovacionenEducacionenIngenieria%20FM.pdf>
- [26] Niño, M.L., Garavito, E.A. y Torres, L.H., Alianza Universidad-Sector productivo para fortalecer el proceso de formación de los ingenieros industriales de la UIS, en: *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, Cartagena, [en línea]. 2014. Disponible en: <http://www.acofipapers.org/index.php/ei/2014/paper/view/685>.
- [27] Suárez, D.F., Apoyando a la comunidad y la región mediante proyectos de aula, *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, Cartagena, 2018.
- [28] Vargas, S.A., Análisis de desgaste en la matriz de estampado para la fabricación de herrajes eléctricos, Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2019.
- [29] Rosas, G., Análisis de problemas de desgaste en buriles de acero rápido para mecanizado en la industria, Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2018.
- [30] Marquez, S.C., Diagnóstico del comportamiento tribológico de un inserto de carburo de tungsteno utilizado en procesos de mecanizado en la industria, Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2018.
- [31] Ayala, J.C., Díaz, M. y Viáfara, C., Caracterización de aceros austeníticos al manganeso utilizados en la fabricación de elementos sometidos a desgaste, en: *I Conferencia Internacional en Energía Sostenible & Workshop Materiales para Nuevas Tecnologías de Energía*, Bucaramanga, Colombia, 2017.
- [32] Contreras, J.A., Corzo, B.F., Navarro, S.T., Páez, N.P., Nuñez, H.D. y Viáfara, C., Caracterización microestructural de aceros AISI-SAE 4340 usados en la fabricación de componentes de máquina en el sector agrícola, en: *I Conferencia Internacional en Energía Sostenible & Workshop Materiales para Nuevas Tecnologías de Energía*, Bucaramanga, Colombia, 2017.
- [33] Betts, M., Richard, S.J. y Pollock, R.W., Different perceptions of importance of educational objectives, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, [online]. 119(3), pp. 317-327, 1993. Disponible en: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(1993\)119:3\(317\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1052-3928(1993)119:3(317)). DOI: 10.1061/(ASCE)1052-3928(1993)119:3(317)
- [34] Akili, W., Academia industry collaboration in the Arab gulf states: divergence or convergence?, *American Society for Engineering Education*, 2012.

C.C. Viáfara, recibió el título de Ing. Mecánico en 2004, de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y el título de Dr. en Ingeniería en el área de tribología en 2010, por la Universidad de San Pablo, Brasil. Se vinculó a la Universidad Industrial de Santander en el año 2016. Sus intereses investigativos incluyen la tribología y la educación en ingeniería.
ORCID: 0000-0001-9484-2951