

# Una metodología para apropiación tecnológica

Franklin Bermeo, Phd<sup>1</sup>, Pedro Joaquín Díaz, Msc<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Santiago de Cali, Colombia. [fbermeoa@gmail.com](mailto:fbermeoa@gmail.com), [pjoaquindiaz@gmail.com](mailto:pjoaquindiaz@gmail.com)

**Abstract**– El presente trabajo resume los resultados obtenidos en el desarrollo de un proyecto que integra la investigación científica con la investigación formativa en ingeniería. Se trata de un proyecto de apropiación tecnológica para un proceso de Deposición Física en Fase de Vapor (PVD), en el cual se han involucrado estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Santiago de Cali- Colombia, con el fin de alcanzar un nivel de apropiación tecnológica y un desarrollo de competencias de emprendimiento tecnológico tales que hagan posible en el futuro la creación de empresas de base tecnológica relacionadas con el proyecto. Para el efecto, se diseñó e implementó una estrategia teórico-metodológica fundamentada en proyectos integradores que busca contribuir al mejoramiento de la calidad en la investigación formativa.

Se presentan los fundamentos metodológicos de la estrategia de apropiación tecnológica empleada, la calidad de la investigación formativa lograda y los resultados alcanzados en el desarrollo de la tecnología. se inicia con una revisión conceptual básica en la que se desarrolla el proyecto, continúa con la presentación de los avances del mismo y, finaliza con unas reflexiones acerca del proyecto y su futuro.

Nuestras conclusiones indican la importancia de establecer cursos electivos teóricos-prácticos, transversales en una facultad para dirigirlos hacia la apropiación tecnológica permiten formar un semillero de investigación y la inclinación de trabajos de grado en estos desarrollos de apropiación. Además, el vincular los proyectos de investigación con el proyecto de vida del estudiante permite lograr la continuidad y mantener la motivación, consiguiendo con ello que no tenga dudas al momento de hacer la elección de su trabajo final de carrera. De esta manera se consiguen mejoras importantes en los procesos de investigación y se contribuye a la formación del recurso humano

**Keywords**-- **Proyectos formativos, PVD, apropiación tecnológica.**

## I. INTRODUCCION

Según la concepción del Consejo Nacional de Acreditación de Colombia (CNA), la investigación formativa se plantea como una estrategia pedagógica, es decir un conjunto de acciones encaminadas a fortalecer la apropiación del conocimiento en el proceso de formación del individuo como actor social, y que de ninguna manera reemplaza la ejecución de la labor de la universidad de ejercer la investigación científica [1].

En concepto de Mario Díaz Villa la cultura académica como una expresión de las relaciones de poder y control que subyacen a la división del trabajo académico de la universidad, se ha caracterizado por la división del trabajo académico entre docencia (enseñanza), investigación y extensión, generando una separación muy fuerte entre la docencia y la investigación [2]. En las universidades se aprecia más el trabajo investigativo que la formación profesional, lo que se traduce en un énfasis excesivo en la investigación científica en detrimento de los procesos de investigación formativa. Esta discriminación ha sido referida por otros autores, como Carlos Arturo Gamboa Bobadilla quien expresa:

el aprendizaje basado en proyectos busca mejorar la habilidad para resolver problemas y desarrollar tareas complejas, la capacidad de trabajar en equipo, desarrollar las capacidades mentales de orden superior, aumentar el conocimiento y habilidad en el uso de las TIC y promover la responsabilidad por el propio aprendizaje [3].

Un proyecto integrador es una estrategia de investigación formativa que consiste en realizar un conjunto de actividades articuladas entre sí, con un inicio, un desarrollo y un final con el propósito de identificar, interpretar, argumentar y resolver un problema del contexto, y así contribuir a formar una o varias competencias del perfil de egreso, teniendo en cuenta el abordaje de un problema significativo del contexto disciplinar–investigativo, social, laboral– profesional [4].

los autores optamos por el diseño e implementación de una estrategia basada en proyectos integradores con enfoque complejo a lo largo del ciclo de formación profesional, buscando la continuidad en la ruta formativa y la pertinencia de la misma. Se espera que al realizar el estudiante varios proyectos integradores sucesivos se logre una mejora significativa de sus competencias de egreso. El enfoque pedagógico del proyecto formativo propuesto puede ubicarse en la corriente del aprendizaje situado y el desarrollo del pensamiento crítico reflexivo.

De Las concepciones sobre el aprendizaje, se deriva un enfoque instruccional, la enseñanza situada, que afirma que la actividad y el contexto son claves para el aprendizaje y reconoce que el aprendizaje escolar es, ante todo, un proceso cultural mediante el cual los estudiantes se integran progresivamente a una comunidad o cultura de prácticas sociales. En este orden de ideas, la enseñanza situada asume que aprender y hacer son acciones inseparables.

La enseñanza para la comprensión implica un proceso de meta cognición que se puede guiar con tres preguntas esenciales que se hace el profesor cuando introduce un nuevo concepto o crea nuevas oportunidades de aprendizaje:

- ¿Qué queremos que nuestros estudiantes realmente comprendan? y ¿por qué?
- ¿Cómo podemos involucrar a nuestros estudiantes en la construcción de estas comprensiones?
- ¿Cómo sabremos, nosotros y ellos, que sus comprensiones se desarrollan?

Según David Perkins, la comprensión no se reduce al conocimiento; también es más que una habilidad rutinaria automatizada. Comprender es la habilidad de pensar y actuar con flexibilidad a partir de lo que uno sabe [5]. En palabras de Gardner: “cuando los estudiantes pueden aplicar sus conocimientos en nuevas situaciones o pueden resolver problemas en forma adecuada, se puede decir que han comprendido” [6].

Metodológicamente, para la implementación de los proyectos formativos se ha seguido la propuesta de Sergio Tobón [7] sobre la formación basada en competencias y la metodología de planeación de los procesos de aprendizaje y evaluación del mismo autor [8] con algunas adaptaciones para ajustarla a la situación particular del proyecto.

El enfoque propuesto por Tobón describe las competencias con tres componentes: problemas, criterios y evidencias. Los problemas son retos del contexto; los criterios, los aspectos puntuales que se deben tener en cuenta en la mediación y la valoración; y las evidencias, las pruebas concretas para analizar los criterios y determinar el proceso de formación de las competencias. En este enfoque la evaluación tiene solo tres ejes básicos: criterios, evidencias y mapas de aprendizaje (rúbricas), haciéndola más sencilla y factible de aplicar.

En particular, nos ha parecido muy explícita la metodología del Dr. Declan Kennedy [9].

No solo como investigadores sino ante todo como profesores formadores de ingenieros nos hemos preguntado ¿Cómo estructurar y adoptar una estrategia para la formación en investigación en ingeniería que permita formar en los estudiantes una actitud crítica y una capacidad creativa para encontrar alternativas para el avance de la ciencia y la tecnología del país? ¿Es posible formar competencias técnicas a la vez que se desarrolla el pensamiento crítico y el sentido de responsabilidad social de los futuros ingenieros? Con estas preguntas en mente los autores iniciamos un proyecto de apropiación tecnológica. Se trata de un proyecto de investigación básica utilizando técnicas de modificación superficial por plasma para recubrimientos duros de metales que tiene potencial de aplicación en piezas como insertos biomédicos, herramientas de corte y sector decorativo. Este proyecto promete aportar una mejora importante a la calidad de la manufactura de este tipo de productos en la industria nacional. Los materiales de alta dureza son muy significativos para mejorar la competitividad de la industria ya que permiten una mayor duración de las piezas, mejor calidad de los productos elaborados, menos reprocesos, menores ciclos de producción y menores costos. Se obtienen ventajas similares en el sector de joyería y bisutería.

Durante la elaboración de la propuesta, una de las estrategias para desarrollar esta tecnología y a la vez crear una nueva línea de investigación de desarrollo de nuevos materiales consistía en involucrar estudiantes desde el comienzo, esto es, desde el diseño y la construcción de los equipos y el prototipo necesarios.

La tecnología elegida para apropiarse es la de Deposición Física en Fase de Vapor, por la experticia de uno de los autores, diferentes Universidades utilizan la técnica sputtering ; hay diferentes estudios aplicados a mejorar las propiedades mecánicas, tribológicas, morfológicas y de corrosión. Los recubrimientos obtenidos por estas técnicas muestran ventajas en la mejora de las propiedades mencionadas en relación a otras técnicas de modificación

superficial, en especial aplicadas sobre aceros inoxidables. continuo con implantación iónica.

Los costos comerciales de un sistema de deposición de esta técnica son muy elevados, pues se requiere una inversión del orden de 100.000 a 200.000 dólares. Esto constituye una importante justificación financiera para emprender la apropiación tecnológica y construir un sistema de bajo costo con una inversión no superior a 10.000 dólares.

Un referente no comercial PVD está constituido por un sistema de vacío aplicado a una cámara y en el interior de ella un evaporador formado por un ánodo y un cátodo, ambos refrigerados y conectados a una fuente de poder de 18Kv [10]. En la figura 3 se muestra el diagrama del sistema [11].

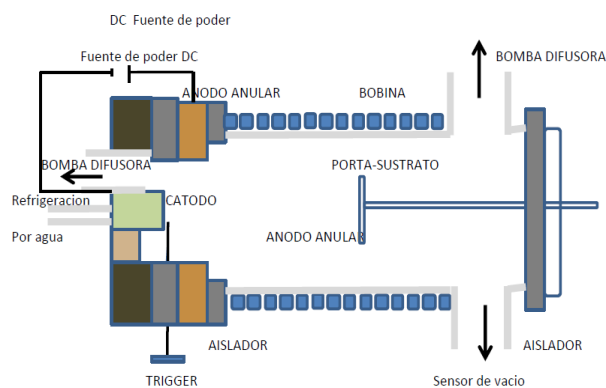


Figura 3. Esquema del dispositivo experimental.

En estos sistemas, las descargas se generan en alto vacío, que se obtiene mediante bombas difusoras asistidas por una mecánica que llega a una presión base de 0,01Pa.

A continuación, se mostrará la evolución de la apropiación tecnológica de la técnica PVD.

## II. PROCEDIMIENTO.

Inicialmente se buscó una apropiación tecnológica de bajo costo. (La apropiación tecnológica tiene lugar cuando el individuo siente que la tecnología ya no pertenece a un tercero, sino que es suya también, y lo demuestra en la práctica, mediante el uso y el manejo de la misma). Con este fin se elabora una primera fase del proyecto para diseñar y construir el sistema de vacío aplicado a una cámara de deposición. Esta primera fase involucró el diseño de un curso electivo para los estudiantes que iban a participar en la construcción del prototipo buscando desarrollar las competencias específicas: 1) Conocimiento de las técnicas de deposición por arco catódico. 2) Diseño y construcción de un equipo o dispositivo para un sistema evaporador por pulverización catódica utilizado para la producción de recubrimientos nanoestructurados.

El curso con una duración de un semestre, fue orientado para estudiantes de diferentes programas de la facultad de Ingenierías: Industrial, Bioingeniería y Electrónica. Se inició con la descripción del funcionamiento del sistema de vacío y de arco y los principios físicos involucrados para cada uno de los dispositivos integrantes en el equipo. Considerando las habilidades de los estudiantes de cada programa se acordaron las partes o dispositivos del equipo que los estudiantes podían diseñar a bajo costo y con recursos del proyecto. Las principales actividades de la primera fase del proyecto fueron:

- Diseño del sistema
- Diseño y construcción de la cámara de deposición
- Diseño y construcción de una bomba difusora
- Diseño y construcción de un sensor de gases
- Selección y adquisición de una bomba mecánica
- Selección y adquisición de partes complementarias
- Montaje y puesta a punto del sistema de vacío

Para empezar, se optó por construir una bomba difusora, considerando el alto costo comercial comparado con el presupuesto. Para este desarrollo se utilizó la metodología de Ingeniería Inversa; se desarmó una difusora y se buscaron opciones de bajo costo para utilizar partes en acero inoxidable que comercialmente sean de fácil adquisición y que requieran el menor trabajo de maquinado, con medidas no necesariamente iguales a las del equipo comercial, ya que los principios conceptuales se aplican de igual manera.

El diseño y construcción de la cámara prototipo consideraba las dimensiones acordes a las aplicaciones y a los materiales que comercialmente se consiguen y permitan el menor trabajo metalmeccánico. Los accesorios como válvulas, ductos, divisores, adaptadores, se obtuvieron comercialmente en diseños similares, pero de menor costo a los utilizados en los laboratorios.

Los estudiantes participaron en esta fase del proyecto en el diseño y la construcción de otros dispositivos como la sonda Hall, el concentrador magnético y sensor de gases. Los equipos de estudiantes una vez definido el dispositivo que iba a diseñar cada uno, debían presentar un plan de trabajo en tres etapas: En la primera etapa hicieron una revisión bibliográfica sobre el funcionamiento del dispositivo a construir y la oferta comercial del mismo. La segunda etapa consistió en realizar el diseño e implementación del dispositivo mientras que la última etapa se centró en la verificación de su buen funcionamiento. Por tanto, cada proyecto, aunque a menor escala, realizaba un recorrido a través de las diferentes etapas de un proyecto de ingeniería real.

En una segunda fase del proyecto los estudiantes se vinculan al semillero del grupo de investigación de la Facultad. La metodología del semillero consiste en seminario de tipo reflexivo con sesiones de 2 horas por semana. En un primer momento el profesor presenta diferentes temas sobre Gestión estratégica de la tecnología y desarrollo de nuevos productos

relacionada con el proyecto en curso. En un segundo momento se abre un debate con los estudiantes, empleando como estrategia fundamental el diálogo reflexivo y la interrogación didáctica. Este consiste en que el profesor hace explícito el procedimiento con el que está trabajando: Se comunica a los estudiantes una tarea (Por ejemplo, que expliquen cómo funciona el dispositivo que diseñaron), el procedimiento (cómo lo hicieron) y la justificación (la función que cumple el dispositivo en el sistema total, los productos que se pueden derivar de esta tecnología, sus aplicaciones, los mercados potenciales, etc.). El profesor dinamiza el proceso de aprendizaje mediante preguntas. Las dudas que van quedando en cada sesión deben ser investigadas y traer los resultados en la próxima sesión. Progresivamente se va construyendo un documento con el conocimiento construido colectivamente. La idea es guiar los estudiantes para que exploren oportunidades de transferencia de conocimiento o de creación de empresas, haciendo explícita la finalidad de la enseñanza [18].

Con el fin de direccionar adecuadamente esta segunda fase del proyecto, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre los procesos de innovación tecnológica desde la universidad. Al grupo le llamó la atención la “Guía metodológica básica para la creación de planes de negocio en empresas de base tecnológica” de la Universidad Nacional de Colombia, que es un compendio del desarrollo de conceptos y la transformación del conocimiento en creación de empresas que nacen como producto de los procesos de investigación realizados desde la academia durante las dos últimas décadas alrededor del mundo. El ciclo de innovación para la creación de empresas de base tecnológica se representa en la figura 4.

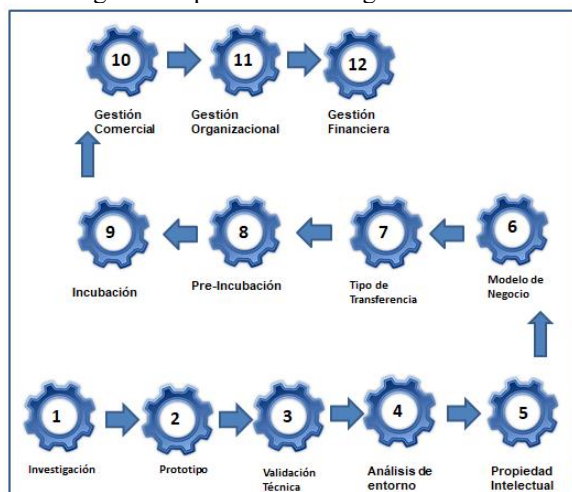


Figura 4. Ciclo de Innovación para la creación de empresas de base tecnológica. Fuente: Adaptado de Guía metodológica básica para la creación del plan de negocio en empresas de base tecnológica Universidad Nacional.

Al analizar el proceso de innovación presentado por la Universidad Nacional y compararlo con las Competencias del programa de Ingeniería Industrial de la USC (al cual pertenecen la mayoría de los estudiantes del semillero) se vio

que hasta esta segunda fase del proyecto se cubrían las etapas de investigación básica, la construcción de un prototipo y la validación técnica, estando orientada a desarrollar la competencia “Capacidad para diseñar en Ingeniería”, una competencia del componente de Facultad. También se analizaron las tres competencias globales específicas del programa (A saber: 1. Gestionar la producción de bienes y servicios con criterios de calidad, productividad y oportunidad; 2. Gerenciar la empresa o las áreas funcionales, con criterios estratégicos, administrativos, económicos y sociales; 3. Innovar procesos, productos y servicios con base en criterios de competitividad organizacional) y se vio que una competencia en particular, “Innovar procesos, productos y servicios con base en criterios de competitividad organizacional” abarcaba las competencias específicas de innovación de Ingeniería Industrial y su desarrollo implicaba avanzar hacia las etapas posteriores del proceso de innovación tecnológica: análisis del entorno, propiedad intelectual, modelo de negocios, tipo de transferencia, pre-incubación e incubación de una empresa de base tecnológica basada en la nueva tecnología y la formación del capital humano necesario para llevar adelante un proyecto de emprendimiento de esta naturaleza.

A partir de aquí se fue claro para el grupo de trabajo del proyecto que recorriendo todo el proceso de innovación se podían desarrollar las competencias “Capacidad para diseñar en Ingeniería” del componente de Facultad y la competencia “Innovar procesos, productos y servicios con base en criterios de competitividad organizacional” del componente específico del programa y también se podía crear una línea de investigación que permitiera fomentar la investigación aplicada de la Ingeniería Industrial propiamente dicha. A raíz de esto, en octubre de 2016 se creó formalmente la línea de investigación “Desarrollo tecnológico e innovación en materiales”. La ventaja que ofrecía esta línea de investigación era que además de promover el desarrollo de nuevos materiales, fomentaría la innovación tecnológica.

Durante el período 2016B y con el fin de complementar su formación, los estudiantes pertenecientes al programa de Ingeniería Industrial fueron direccionados hacia dos electivas: Innovación Tecnológica y Vigilancia Tecnológica (Competencia a desarrollar con estas electivas: Gestionar la tecnología con base en el direccionamiento estratégico de la organización). Los trabajos de asignatura de estos estudiantes fueron orientados hacia temas específicos del proyecto.

### III. RESULTADOS

En la primera fase de este proyecto resultaron cinco ponencias en el XIII encuentro interno de investigación formativa que se llevó a cabo en la USC el 31 de marzo 2016 (Las ponencias presentadas por los estudiantes fueron: “Diseño, construcción y prueba de un concentrador magnético”; “Caracterización de un sistema de vacío”;

“Construcción de un prototipo de fuente de implantación iónica de alta tensión a frecuencia variable”; “vigilancia tecnológica sobre modificación superficial de materiales duros”; “Construcción de sonda Hall”).

En la segunda fase del proyecto se elaboraron los anteproyectos de grado que han resultado del trabajo del semillero con los estudiantes de:

1) Ingeniería Industrial: “Vigilancia tecnológica en procesos de nitruración”, “Estudio de viabilidad técnico-económica para el diseño de un proceso de recubrimiento basado en la técnica de deposición física en fase de vapor (PVD) aplicada al sector metalmeccánico”, y “Plan de negocios para la estructuración de una empresa dedicada a la nitruración de partes”. 2) Con dos estudiantes de Ingeniería Electrónica: “construcción de una fuente de poder para un sistema sputtering”.

Estas propuestas fueron presentadas en el XIV encuentro interno de Investigación Formativa, Al momento de presentar este trabajo de investigación, se están adelantando los proyectos mencionados como requisito para optar para el título de Ingeniero Industrial e Ingeniero Electrónico respectivamente.

Al final de la primera fase del proyecto, con la participación de todos los estudiantes se armó el sistema de vacío, obteniendo una reducción de costos con respecto a los valores comerciales entre un 60-70%. El montaje de este conjunto se muestra en la figura 5.

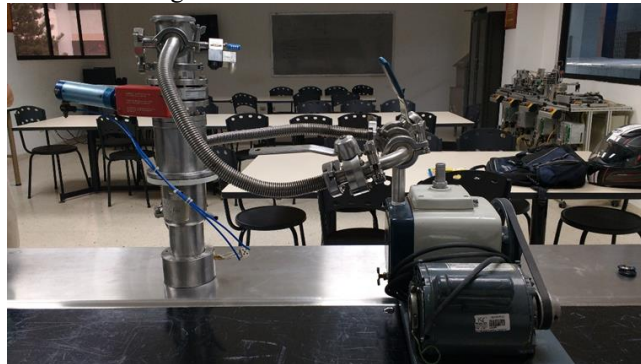


Figura 5. Sistema de Vacío.

La caracterización del vacío permite descender hasta  $10^{-1}$  mb en 2 minutos con la bomba mecánica; con la bomba difusora construida hasta  $10^{-4}$  mb en 15 minutos.

La caracterización del vacío en la bomba mecánica se representa en la figura 6.

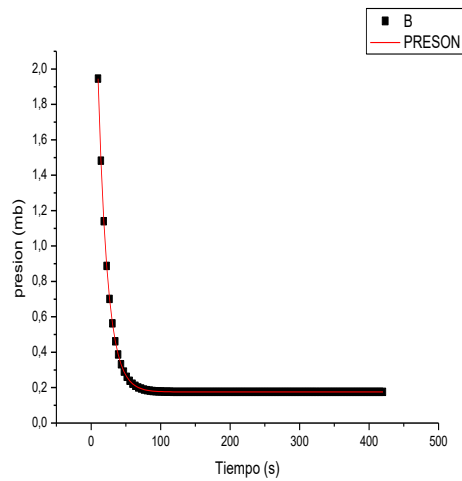


Figura 6. Grafico de presión vs tiempo para la bomba mecánica.

Para la fase II se construye la cámara de deposición para la técnica de arco continuo y el montaje del sistema se muestra en la figura.7



- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| 1 CÁMARA                | 14 CÁMARA INFUSORA     |
| 2 T DE INGRESO CÁMARA   | 15 MANGUERA DE ENTRADA |
| 3 REDUCCIÓN             | 16 MANGUERA DE SALIDA  |
| 4 CRUZ DE INGRESO       | 17 BOMBA DE AGUA       |
| 5 CÁTODO FRIO           | 18 TUBO PVC            |
| 6 SENSOR PIRANI         | 19 LLAVE DE PASO AGUA  |
| 7 CONTROLADOR           | 20 TANQUE DE AGUA      |
| 8 FLEXIBLE VACIO        | 21 ELECTROVÁLVULA      |
| 9 LLAVE DE PASO VACIO   | 22 CAJA DE CONTROLES   |
| 10 BOMBA MECÁNICA       | 23 FUENTE AC 120V      |
| 11 LLAVE DE PASO ACEITE | 24 AISLADORES          |
| 12 FLEXIBLE ACEITE      | 25 FUENTE 300V         |
| 13 TRAMPA DE ACEITE     |                        |

Figura 7. Montaje del sistema de arco continuo.

Paralelamente se construye una fuente para sputtering y se utiliza el mismo sistema de vacío para montar el sistema de magnetrón sputtering. La segunda fase (diseño y construcción de las fuentes de arco), se inicia con la construcción de la fuente Sputtering. El montaje correspondiente se muestra en la figura 8.



Figura 8. Montaje de la fuente sputtering y el sistema de vacío y cámara.

La puesta a punto y validación del equipo permitió realizar recubrimientos de cobre, utilizando una lámina de cobre comercial. Una de las películas obtenidas se muestra en la figura 9.

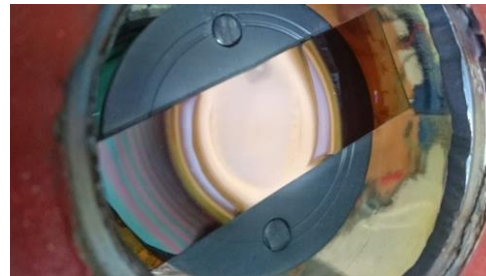


Figura 9. Recubrimiento de cobre sobre un sustrato de vidrio.

#### IV. CONCLUSIONES

El aprendizaje basado en proyectos formativos facilita el desarrollo de competencias profesionales en ingeniería pues los estudiantes tienen la oportunidad de enfrentar problemas relevantes del contexto, analizarlos y proponer soluciones.

El hecho de enfrentar un problema de ingeniería real como es el caso de la apropiación de una tecnología, promueve el aprendizaje significativo, la reflexión en la acción y la capacidad de formular estrategias de innovación tecnológica, según se evidencia en el conocimiento colectivo construido a lo largo del proyecto.

En el aprendizaje situado, la interacción entre los participantes del proyecto y otros actores externos dinamiza el proceso de formación pues el intercambio de información entre individuos que tienen diferentes niveles de conocimiento (compañeros, profesores y expertos del medio) promueve una modificación de los esquemas del estudiante quien acaba generando aprendizaje, además de mejorar la motivación en la medida en que descubre que puede construir un proyecto de vida profesional.

Es posible construir equipos de deposición por arco catódico a bajo costo, funcionales para investigación formativa. Se ha construido un equipo PVD con la técnica Sputtering.

Los resultados obtenidos han permitido iniciar una línea de investigación: “desarrollo tecnológico e innovación en materiales” para la generación de prototipos de alta tecnología y de materiales novedosos.

Los participantes optaron por realizar su trabajo de grado en esta temática, generando un semillero de investigación.

Observaciones finales: la continuidad de los proyectos formativos da apertura a la apropiación de otras tecnologías, para la línea de investigación se proyecta nuevos desarrollos y adiciones al sistema construido, como implantación iónica y Nitruración.

#### REFERENCIAS

- [1] Restrepo Gómez, B. (2001). Conceptos y aplicaciones de la investigación formativa, y criterios para evaluar la investigación científica en sentido estricto.
- [2] Díaz Villa M. (2000). La formación de profesores en la educación superior Colombiana: Problemas, Conceptos, Políticas y Estrategias. ICFES.
- [3] Galeana, L. (2016). Aprendizaje basado en proyectos. Universidad de Colima.
- [4] López Rodríguez, N. M. (2012). El proyecto Integrador: Estrategia didáctica para la formación de competencias desde la perspectiva del enfoque socioformativo. México: Gafra Editores.
- [5] Gardner, H. (1987). La teoría de las inteligencias múltiples, Fondo de Cultura, México.
- [6] Tobón, S. (2013). Formación integral y competencias, 4a ed. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación.

- [7] Tobón, S. T., Prieto, J. H. P., & Fraile, J. A. G. (2010). Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias. México: Pearson educación.
- [8] Kennedy, Declan (2007). Redactar resultados de aprendizaje. Irlanda: Departamento de Educación, University College Co
- [9] L. Giuliani, F. Bermeo, D. Lamas, D. Grondona, H. Kelly, A. Márquez. Películas nanoestructuradas de cobre y titanio crecidas con arco catódico. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (3): 1073-1079.
- [10] F Bermeo, J P Quintana, A Kleiman, F Sequeda and A Márquez, “1020 steel, coated with Ti/TiN by cathodic arc and ion implantation” Journal of Physics: Conference Series 792 (2017) 012061.
- [11] Moya, J. L. M., Borrasca, B. J., & Muñoz, F. I. (2010). La enseñanza reflexiva en la educación superior. Cuadernos de docencia universitaria, 17.