

Doctors in Engineering Education. Network Project to the Promotion of Innovation in Colombia

Cesar D. Guerrero¹, Julian E. Guerrero¹, Diana T. Parra¹, José Daniel Cabrera Cruz¹, Jaime Quintero Restrepo², Helga Patricia Bermeo Andrade³, José Luis Rodríguez Sotelo⁴, Julio César Rivera Rodríguez⁵

¹ Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia, cguerrer@unab.edu.co, jguerrero9@unab.edu.co, dparra486@unab.edu.co, jcabrerc@unab.edu.co

²Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, jquintero@uao.edu.co

³Universidad de Ibagué, Colombia, helga.bermeo@unibague.edu.co

⁴Universidad Autónoma de Manizales, Colombia, jlrodriguez@autonoma.edu.co

⁵Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia, julio.rivera@uniminuto.edu

Abstract— In Colombia as in many other developing countries, the education of doctors in engineering presents different problems that become opportunities for new doctoral program initiatives. First, the number of existing programs and the annual graduation rate is well below other countries of Latin America and much further from developed countries like the United States. Additionally, the few existing programs in Colombia are located in two major cities leaving other regions with few engineering doctoral education possibilities, which has an important impact on the regional development. Beyond this, it is necessary to strengthen the importance of educating Doctors in Engineering being aware of local and global needs and being source of potential innovations to generate welfare to society. This paper presents the state of the art of the engineering doctoral education in Colombia and describes an experience of Colombian universities belonging to the Mutis University Network to create a PhD program in Engineering. It is shown that collaboration in research among universities is not only possible but also encouraged to develop a joint program at this level. The program finds its value proposition on promoting potential innovations from research and technological development generated by their students.

Keywords— Doctoral education, Innovation, University Collaboration.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.223>

ISBN: 13 978-0-9822896-8-6

ISSN: 2414-6668

13th LACCEI Annual International Conference: “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic **ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6 **ISSN:** 2414-6668
DOI: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.223>

Formación Doctores en Ingeniería. Un proyecto en Red hacia el Fomento de la Innovación en Colombia

Cesar D. Guerrero¹, Julian E. Guerrero¹, Diana T. Parra¹, José Daniel Cabrera Cruz¹, Jaime Quintero Restrepo², Helga Patricia Bermeo Andrade³, José Luis Rodríguez Sotelo⁴, Julio César Rivera Rodríguez⁵

¹Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia, cguerrer@unab.edu.co, jguerrero9@unab.edu.co, dparra486@unab.edu.co, jcabrerc@unab.edu.co

²Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, jqintero@uao.edu.co

³Universidad de Ibagué, Colombia, helga.bermeo@unibague.edu.co

⁴Universidad Autónoma de Manizales, Colombia, jlrodriguez@autonoma.edu.co

⁵Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia, julio.rivera@uniminuto.edu

Abstract— In Colombia as in many other developing countries, the education of doctors in engineering presents different problems that become opportunities for new doctoral program initiatives. First, the number of existing programs and the annual graduation rate is well below other countries of Latin America and much further from developed countries like the United States. Additionally, the few existing programs in Colombia are located in two major cities leaving other regions with few engineering doctoral education possibilities, which has an important impact on the regional development. Beyond this, it is necessary to strengthen the importance of educating Doctors in Engineering being aware of local and global needs and being source of potential innovations to generate welfare to society.

This paper presents the state of the art of the engineering doctoral education in Colombia and describes an experience of Colombian universities belonging to the Mutis University Network to create a PhD program in Engineering. It is shown that collaboration in research among universities is not only possible but also encouraged to develop a joint program at this level. The program finds its value proposition on promoting potential innovations from research and technological development generated by their students.

Keywords—Doctoral education, Innovation, University Collaboration.

I. INTRODUCCIÓN

En términos generales, no resulta sencilla la formación de doctores en cualquier contexto socio-cultural y en cualquier área de conocimiento. Esta clase de formación implica llevar al estudiante de doctorado de un punto a otro con una diferencia cualitativa respecto del saber humano. Se parte de un punto en el cual el individuo, quien frecuentemente es apenas un profesional, tiene un dominio o competencia básica en el saber de su área de interés, lo cual apenas le permite el uso de dichos saberes para la solución de problemas de su contexto inmediato. Sin embargo, en este punto difícilmente se logrará alguna clase de novedad científica o innovación,

aunque desde ahí, con mayor o menor dificultad según el contexto, se pueda generar saber propio [1].

Para dar ese salto cualitativo, el estudiante requiere el apoyo de un tutor quien debe ser un investigador que, por su experiencia, conoce bien el camino de formación de un doctor. En muchos países, buena parte de estos tutores se han formado en contextos foráneos donde existen programas de Doctorado de amplia trayectoria pero que no siempre permiten que el Doctor se ubique en las propias problemáticas de sus países de origen. Esta situación le da relevancia a la generación de programas doctorales que, inmersos en el contexto propio de sus países, puedan pararse en la punta del conocimiento mundial para resolver problemáticas que generen bienestar económico y social en sus países y que a su vez se conviertan en potenciales productos innovadores que se ubiquen en mercados mundiales.

En muchas naciones en vía de desarrollo, ha dominado una tendencia a la importación, copia, trasplante y simple uso de innovaciones tecnológicas generadas en otros países, es decir, innovaciones exógenas [2].

En Colombia, la formación de doctores en ingeniería presenta diferentes problemáticas que se vuelven oportunidades de acción para nuevas iniciativas de formación doctoral. Por una parte, el número de programas existentes y la tasa anual de graduados, esta muy por debajo de otros países de Latinoamérica y mucho mas lejos de países desarrollados como Estados Unidos. Adicionalmente, los pocos programas existentes se ubican en dos de las ciudades principales del país, dejando relegadas las necesidades de formación en otras regiones con el consecuente impacto en los índices de desarrollo regional. Más allá de lo anterior, es necesario fortalecer la pertinencia de la formación de Doctores en Ingeniería para que se conecte con las necesidades locales y mundiales y sea fuente de potenciales innovaciones que generen bienestar al individuo en formación y a la sociedad que haga uso de sus creaciones.

Este artículo presenta una experiencia de universidades colombianas, pertenecientes a la Red Universitaria Mutis [3], en torno a la creación de un programa de Doctorado en Ingeniería orientado hacia el fomento de potenciales innovaciones derivadas de los productos de investigación y desarrollo tecnológico creados por sus estudiantes.

La Sección II presenta un estudio comparativo de la formación de Doctores en Ingeniería en Colombia comparándolo con otros países. Posteriormente, en la Sección III se hace un estudio similar a nivel colombiano comparando el avance a lo largo de los años y entre diferentes regiones del país. En la Sección IV se relata la experiencia de consolidación de la investigación en instituciones de la Red Universitaria Mutis como punto de partida del proceso de creación de un Doctorado interinstitucional. En la Sección V se plantea la estrategia de creación del Doctorado en Red con una orientación hacia la innovación. Finalmente en la Sección VI se plantean conclusiones y recomendaciones que contribuyan a replicar la experiencia en otros contextos latinoamericanos.

II. ESTADO DE LA FORMACIÓN DE DOCTORES EN INGENIERÍA EN DIFERENTES PAISES

Según los indicadores entregados por el documento “Situación Actual de los Doctorados en Colombia: Análisis de Indicadores que tipifican características importantes” publicado por el CNA [4] y la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana [5], se evidencia que la formación doctoral en Colombia ha tenido un desarrollo relativamente reciente, si se tiene en cuenta que para el periodo de 2008 a 2012 se han graduado 1001 doctores en comparación con el periodo del 2000 al 2007 en el cual solo se graduaron 423, una cifra considerablemente menor y en un periodo más amplio. Sin embargo, comparando estas cifras con países como Brasil, Chile, Cuba o México es de notar que Colombia aún se encuentra rezagada con la formación doctoral.

Para establecer un punto de comparación se analiza la cantidad de doctores graduados por millón de habitantes para diferentes países. Basados en los indicadores poblacionales del Banco Mundial [6], en los últimos 5 años Brasil ha graduado un promedio de 61 doctores al año por cada millón de habitantes, Chile 26, Cuba 65 y México 35. Colombia por otro lado, gradúa un promedio anual de 5 doctores por cada millón de habitantes para el periodo 2008 a 2012.

La situación es menos favorable si se comparan estas cifras de graduación de doctores con países más desarrollados como España, Estados Unidos o Portugal en donde se gradúan respectivamente un promedio de 182, 160 y 135 doctores al año por millón de habitantes en el mismo periodo de referencia, indicando que en particular Colombia arribo tardíamente a la generación de nivel doctoral en sus universidades (Ver Fig. 1).

Un indicador de importancia para analizar es el porcentaje de graduados de ingeniería en cada uno de los países puesto que en él se evidencia el interés en los programas doctorales de ingeniería, se muestra que Colombia cuenta con una de las participaciones más altas que rondan el 24% en promedio para los últimos 5 años, cifra solo comparable con Portugal donde el 22% de los graduados en los últimos 5 años pertenecen a programas de ingeniería, para los otros países analizados estas cifras oscilan entre el 8 y el 16%, (Ver Fig. 2).

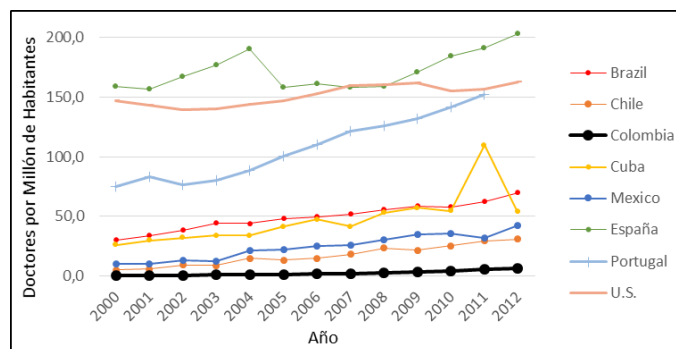


Fig. 1. Numero de Doctores graduados por millón de habitantes por año

Desde el año 2000 en Colombia las preferencias por programas de doctorado en ingeniería han ido en aumento, solo opacada por una decaída importante en el año 2007 donde este porcentaje disminuyó a 12,8%, sin embargo se observa que en Colombia la producción doctoral en ingeniería es un campo de desarrollo importante, donde el programa de doctorado aquí presentado tiene participación. Además la tasa de crecimiento promedio de matrículas en nivel doctoral según el SNIES [7] y el documento “Acuerdo por lo Superior 2034” [8] para el periodo 2010-2012 es del 17,78%, un valor muy superior con respecto a los demás niveles de formación y solo superado por la tasa de crecimiento para el mismo periodo de los programas de maestría la cual se encuentra en 18,37%.

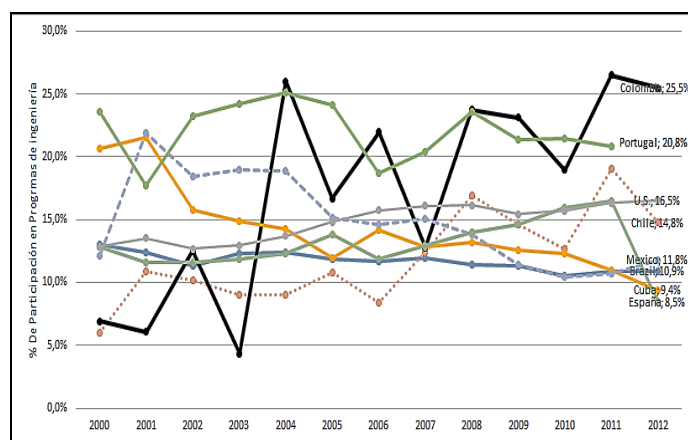


Fig. 2. Porcentaje de participación de los Doctores graduados en programas de Ingeniería por año

Por otro lado, se evidencia que actualmente en el mundo se vive en una economía basada en el conocimiento, la investigación y la innovación. Igualmente un componente que sobresale cada vez más es la generación de relaciones estrechas entre la educación superior y las empresas a fin de llegar a temas de investigación más aplicados que beneficien la industria y la economía regional, tal como se observa en la evaluación de la lista del ranking Mundial de Universidades 2014-2015 [9] donde se muestran las mejores universidades a nivel mundial, teniendo en cuenta las áreas de enseñanza, investigación, transferencia de conocimiento y perspectiva internacional. La medición se realiza por medio de cinco componentes fundamentales como lo son la enseñanza, la proyección internacional, la inclusión de la industria, la investigación y las citaciones. Estos tres últimos componentes representan la innovación, la investigación y su influencia, sumando un 62,5% de la calificación general para programas de ingeniería y tecnología indicando que la investigación y la innovación hacen parte de los componentes más importantes en las instituciones de educación superior número uno del mundo y que junto con el emprendimiento de base tecnológica son las temáticas en las cuales se fundamentará la propuesta de Doctorado en Ingeniería de instituciones de la Red Mutis.

En la categoría de enseñanza se examina entre otros ítems la cantidad de graduados y de profesores de programas doctorales por institución, puesto que se cree que las instituciones con una alta densidad de estudiantes de investigación son más intensivas en conocimiento y que la comunidad activa en postgrado es un marcador de un entorno de enseñanza de la investigación. Por tanto, gran parte del éxito de una universidad y su entorno está marcado por la oferta de programas de doctorado y de su participación tanto en la investigación como en la industria.

III. ESTADO DE LA FORMACIÓN DE DOCTORES EN INGENIERÍA EN COLOMBIA

De acuerdo con el documento Visión Colombia 2019, "Fundamentar el crecimiento económico y social en la ciencia, la tecnología y la innovación" [10], se menciona que el país tiene grandes retos en relación al aumento de la capacidad científica, el desarrollo de nuevas tecnologías, innovación y el incremento de la formación. Colombia necesita asimilar y generar conocimiento a fin de aplicarlo a condiciones concretas, por lo que se deben hacer esfuerzos por articular y orientar los recursos para el desarrollo de fortalezas potenciales como lo son la automatización, la informática, las telecomunicaciones, los recursos naturales y tecnológicos y la energía.

El estado actual de los programas doctorales en Colombia para Marzo de 2015 de acuerdo con las estadísticas reportadas por el SNIIES, se registran en total 254 programas académicos de doctorado, 52 de ellos en el área de ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines. Estos 52 programas de doctorado existentes en el país, que están inscritos en el área de

Ingeniería, están ubicados principalmente en Bogotá y Antioquia en donde se encuentra el 61% de ellos (ver Fig. 3). Esta concentración de programas de Doctorado en áreas de Ingeniería en solo dos regiones del país, se convierte en una oportunidad y necesidad de desarrollo de programa en otros departamentos del país.

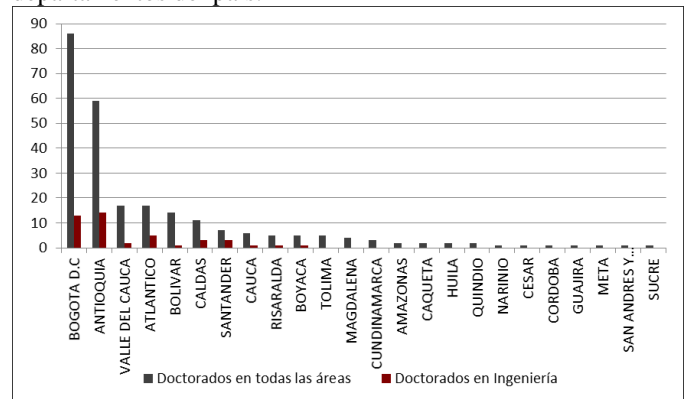


Fig. 3. Número de Doctorados en Colombia según el Departamento de creación (a Marzo de 2015)

Según los indicadores del Observatorio Colombiano para la Educación [11] de los graduados en programas de doctorado en el país en 2013, el 22.8% que equivale a 75 doctores realizaron su formación en el área de Ingeniería, Arquitectura, Urbanismo y Afines (Ver Fig. 4).

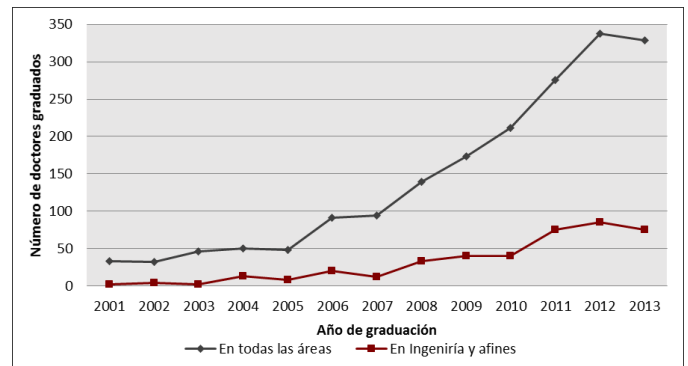


Fig. 4. Número de Doctores Graduados en Colombia (2001-2013)

Uno de los estudios estadísticos más importantes respecto al estado de los doctorados en el país corresponde a los datos publicados por el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología – OCyT en su Informe Anual de Indicadores de Ciencia y Tecnología de Colombia cuya versión más reciente es la del 2013 [12] y las cifras publicadas por el Observatorio Laboral para la Educación. Según estos estudios, en 2011 las universidades del país graduaron 276 nuevos doctores; en el 2012 graduaron 338 y en 2013 se graduaron 329 doctores provenientes de los departamentos del Magdalena, Bolívar, Antioquia, Santander, Cundinamarca, Bogotá, Valle del Cauca, Cauca, Nariño, Risaralda, sin embargo, es de resaltar que el 70% de los doctores graduados en 2013 en el país

proviene únicamente de Bogotá y Antioquia (Ver Fig. 5), manifestando una gran concentración de doctores en estas regiones.

Una clara demostración de la relación entre la formación doctoral y la productividad y competitividad de una región, mencionada a lo largo del documento, es el caso de Bogotá y Antioquia, regiones que presentaron los mayores índices de formación de doctores y programas doctorales fueron las primeras por lejos en los resultados de competitividad regional 2014 [13], haciendo ver que los esfuerzos para el desarrollo de una región está estrechamente ligados con la inclusión a la investigación.

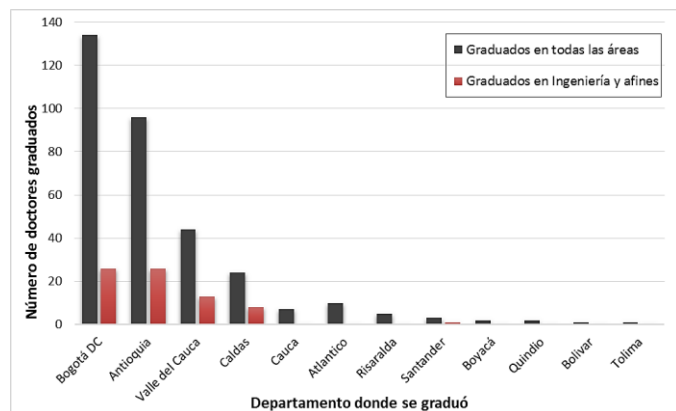


Fig. 5. Número de Doctores Graduados en Colombia según Departamento (año 2013)

Por otra parte, de acuerdo a los datos del Observatorio Laboral Colombiano, cuyas estadísticas más recientes son del año 2015. De los doctores graduados en el país a 2015 en las diferentes áreas de ingeniería cotizan al sistema de seguridad social de Colombia un salario promedio mensual cercano a los 2,600 dólares. Según los datos del mismo Observatorio, los egresados de los programas doctorales en el país devengan en promedio un 59,4% más que los egresados del nivel de formación de maestría. Se puede deducir de estos datos, que las metas del país en aumentar la formación doctoral también están soportadas por una plataforma laboral que está dispuesta a recibirlos y remunerar acorde a la situación socio-económica del país.

IV. ARTICULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN LA RED UNIVERSITARIA MUTIS

Constituida en 1997, la Red Universitaria Mutis tiene como objetivo principal el fomento y desarrollo de la educación superior, a través de planes, programas y proyectos en torno a la docencia, la investigación, la proyección social, el bienestar y la gestión universitaria. Frente a los avances en capital humano profesoral, grupos de investigación e infraestructura en el área de ingeniería, cuatro universidades de la de la Red tomaron la decisión de aunar esfuerzos para

articular sus acciones en investigación y formular un programa conjunto de Doctorado en Ingeniería.

En el año 2013 y tras conformar un comité científico con un profesor delegado de las cuatro universidades, se dio inicio a un proyecto de articulación en investigación inicialmente en áreas de ingeniería. Esta articulación ha implicado la realización de diferentes acuerdos de propiedad intelectual conjuntos, acuerdos de confidencialidad, formatos unificados de presentación de propuestas y de actas de inicio de proyectos, entre otros documentos que han facilitado la implementación de acciones de articulación entre los investigadores de la Red. En esta sección de resumen los principales avances en los proceso de articulación.

A. Desarrollo de una Plataforma que Apoye a Investigadores y Estudiantes para Desarrollo de Investigación Conjunta

Una de las primeras acciones de articulación fue el desarrollo de una plataforma web que hiciera visible a los investigadores, grupos de investigación y programas académicos de maestría en áreas de ingeniería, entre otros aspectos. La Fig. 6 muestra la plataforma construida con un menú de “Investigación” que permite que la comunidad investigativa y el sector productivo conozcan los grupos de investigación, revistas científicas, convocatorias existentes y proyectos de investigación en áreas de ingeniería de las instituciones de la Red Mutis.

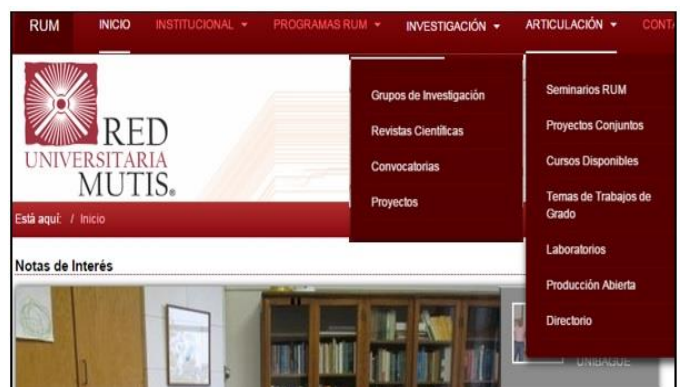


Fig. 6. Investigación y articulación en la página Web de la Red Mutis.

Mediante el menú de “Articulación”, se dio visibilidad a los seminarios abiertos que se llevan a cabo, proyectos conjuntos formulados y en ejecución, temas de trabajo de grado disponibles a estudiantes de la Red Mutis, laboratorios que pueden ser utilizados por instituciones de la Red, producción abierta que investigadores, y un directorio que permite obtener información rápida de los investigadores en Ingeniería de la Red Mutis.

B. Desarrollo Conjunto de Proyectos de Investigación

Alrededor de 40 profesores de ingeniería de la Red Mutis, se han articulado para llevar a cabo propuestas y proyectos de

investigación en el área. La mayoría de esas propuestas han sido presentadas a convocatorias colombianas de investigación en el año 2014. En la Fig. 7 se visualizan, a través de la Web, algunos de los proyectos articulados.

C. Oferta de Cursos Compartidos a Nivel de Maestría

Tras reuniones llevadas a cabo entre directores de maestrías en áreas de ingeniería y de directores de posgrado, se mantiene una oferta de cursos con posibilidad de ser compartidos u ofrecidos de manera virtual a estudiantes de las maestrías de la Red.

No.	Propuestas	Participantes						
		UAN	UTB	UAO	UNAB	UNENENITO	UNIBAGUIE	
1	Diseño de una unidad didáctica para la enseñanza y el aprendizaje del tema Movimiento Oscilatorio desde la articulación de los conceptos físicos, el modelamiento matemático y sus aplicaciones.	Jairo de Jesús Apudelo Calle Juliana Villa Ramírez Francy Nelly Jiménez		Alexander Osorio José Joaquín Vivas	Ligia Belleño William González	Hernando Evelio Laytan Viquez	Luz Adriana Sánchez	
2	Alianza Estratégica RECICLAR "Programa para el desarrollo del espíritu creativo en Colombia"	Margarita María Ríos Rovinsky		Ornelio Arcia Guaman	César Darío Guerrero Santander José Daniel Cabrera Cruz Dany Carolina Ariza Zabala Martha Lucía Orellana Herránz Román Eduardo Sarmento Porras			
3	Desarrollo de un prototipo de esqueleto para los procesos de asistencia y rehabilitación en personas con pérdida de movimiento en miembro inferior	José Luis Rodríguez Sobello Sobestán Durango Estárraga Francis Restrepo Héctor Franco Márquez Belarmino Segura		Oscar Juan Campo Salazar	Johann Barragan Gómez			
4	Utilización de fibras orgánicas (guata y fiado) en compuestos de matriz polimérica para aplicaciones de impacto en el sector industrial					Hartín Eduardo Espitia Rey	Jorge Luis Enciso Henrique	
5	Diseño y construcción de un sistema híbrido de generación para el suministro de energía eléctrica en regiones no conectadas combinando tecnología del motor sterling operado con biomasa y paneles fotovoltaicos			Juan Ricardo Vidal Clara E. Goyes Yuri U. López Mauricio Barera	Yecid Muñoz Rodríguez Leonardopérez Sandoval			

Fig. 7. Proyectos articulados en áreas de Ingeniería de la Red Mutis.

D. Oferta de Laboratorios con posibilidad de Acceso Remoto

En algunas de las instituciones de la Red Mutis, se han identificado laboratorios de ingeniería que podrían accederse de manera remota por parte de otras instituciones. Algunos de ellos, como en el caso del laboratorio de Celda de Manufactura, han sido adecuados con recursos de convocatorias de investigación con el fin de que estudiantes de maestría puedan utilizarlos de manera remota. Ejemplos de laboratorios identificados en las instituciones, se presentan en la Fig. 8. Cabe anotar que existen otros laboratorios que pueden accederse a través de tele-operación.

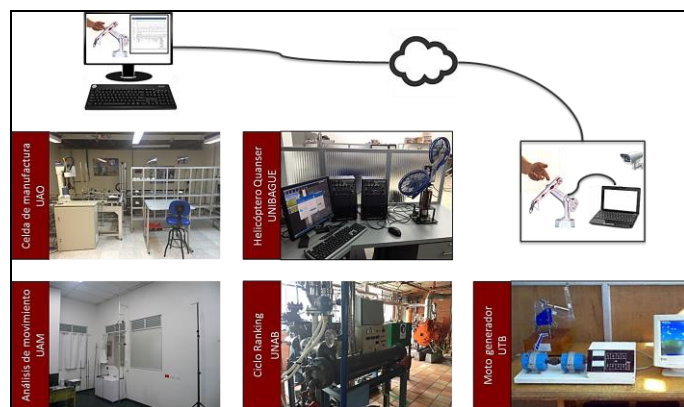


Fig. 8. Laboratorios en área de Ingeniería de instituciones de la Red Mutis que se plantean operar de manera remota.

E. Seminarios conjuntos de investigación

Durante el año 2014 y a través de la Oficina Virtual de la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzado – RENATA [14], diferentes grupos de investigación de la Red Mutis han realizado reuniones y seminarios de investigación que se han promocionado y abierto a investigadores y estudiantes de maestrías en Ingeniería de instituciones de la Red. Más de 50 encuentros virtuales registrados en la página Web se han realizado en 2014.

Adicional a estos seminarios, se han llevado a cabo congresos y simposios conjuntos como un simposio en creatividad e innovación desarrollado en Noviembre de 2014. Dicho simposio tuvo la participación de conferencistas internacionales y al menos uno nacional de las instituciones de la Red Mutis.

F. Boletines electrónicos y redes sociales

Los investigadores de instituciones asociadas con la Red Mutis reciben un boletín electrónico mensual que contiene una sección de noticias asociadas con actividades para el fomento de la investigación y con información sobre convocatorias nacionales e internacionales abiertas.

D. Otras acciones de articulación en investigación

Desde la Red Mutis se han realizado otras acciones orientadas a dinamizar y articular los esfuerzos que las instituciones miembro realizan para el fortalecimiento de la investigación y su impacto en las regiones y a nivel nacional. Algunas de estas acciones son:

- 1) Divulgación de eventos, conferencias y demás actividades asociadas con investigación.
- 2) Apoyo en la consecución de evaluadores para proyectos de investigación en convocatorias internas de las instituciones o derivados de trabajos de grado de estudiantes de maestría.
- 3) Apoyo para la realización de encuentros de directores de investigación y movilidad de investigadores entre instituciones de la Red.
- 4) Realización de alianzas con el sector productivo con el fin de que sean generadores de necesidades y usuarios de los resultados de las investigaciones realizadas por las instituciones miembros de la Red.
- 5) Apoyo en la formulación de proyectos de investigación conjunta.

V. DOCTORADO EN RED HACIA EL FOMENTO DE LA INNOVACIÓN

Tras el desarrollo de las acciones de articulación en investigación presentadas en la sección anterior, el equipo de profesores de la Red Mutis se concentró en el desarrollo de una propuesta doctoral en ingeniería que tuviese como base las sinergias generadas entre investigadores de universidades de la Red y que respondiera a las necesidades de formación

identificadas en Colombia y especialmente en cada una de las regiones de influencia de las instituciones.

Para ello se hizo un análisis de los planes de desarrollo del país y de las regiones, de los documentos de política en ciencia, tecnología e innovación, de los planes de competitividad y de otros documentos que apoyaran la creación de un doctorado pertinente con las regiones y con el país.

Además del carácter regional de la propuesta doctoral, uno de los elementos distintivos del programa es el de buscar una formación de nivel doctoral que promueva acciones encaminadas a que sus estudiantes entiendan los procesos de gestión y desarrollo de la innovación y de esta manera planeen sus trabajos doctorales con una mirada hacia el desarrollo de potenciales innovaciones que generen beneficios económicos y sociales a ellos mismos y a la sociedad.

Entender la cadena de innovación y los aspectos que se deben considerar para que un estudiante culmine no solo un proyecto de investigación en el marco de un doctorado sino que pueda orientarse hacia una potencial innovación o un emprendimiento de base tecnológica, requiere de acciones intencionadas que complementen el proceso que generalmente se lleva a cabo en la formación de doctores.

Generalmente, la formación de doctores sigue un proceso lineal en cuanto al desarrollo de la investigación. Se parte de un problema que generalmente surge de un interés investigativo de un profesor, se hace investigación y desarrollo para solucionar el problema planteado ubicándose inicialmente en la punta del conocimiento en la temática, en el proceso de solución del problema se genera nuevo conocimiento y finalmente (de manera especial en programas de ingeniería) el estudiante genera un producto o prototipo que con el nuevo conocimiento aportado, le permiten culminar su proceso de formación doctoral.

El proyecto de Doctorado en Ingeniería de instituciones de la Red Mutis, aporta nuevos elementos a este esquema de formación doctoral según se muestra en la Fig. 9. Por una parte, se promueve la interacción cercana con el sector productivo y con organizaciones que han tenido experiencias significativas en procesos de transferencia tecnológica y emprendimiento de base tecnológica. Esto con el fin de conocer de primera mano las necesidades y oportunidades que ameritan una intervención de nivel de investigación doctoral. Es decir, estrategias para extraer de la sociedad los insumos necesarios para definir un problema de investigación doctoral, es un elemento que es promovido por el programa.

Entendido el problema, es importante generar una dinámica en torno a la generación de soluciones que potencialmente puedan generar productos innovadores. Esas dinámicas incluyen discusiones en equipos de trabajo interdisciplinarios que generen ideas creativas de alto potencial innovador. Esto contempla también consideraciones importantes en cuanto a propiedad intelectual que deben ser tenidas en cuenta durante el desarrollo de la investigación para

la generación de publicaciones que no impidan futuros esquemas de patentamiento o licenciamiento de las tecnologías generadas.

Una vez culminado el proceso de investigación, de desarrollo tecnológico, de generación de nuevo conocimiento y de generación un producto o prototipo bajo la mayor rigurosidad que se exige en un programa doctoral, se favorece desde el programa de doctorado la generación de un producto con un potencial nivel de innovación que sea el insumo para las unidades de transferencia tecnológica de las instituciones quienes pueden apoyar al estudiante, o ya graduado Doctor, para que pueda llevar su creación no solo a solucionar el problema que inicialmente se planteó desde la sociedad sino que hayan oportunidades de convertirlo en productos innovadores que generen beneficio social y económico al país y a el mismo como autor de dicha innovación.



Fig. 9. Ciclo de la innovación en la formación doctoral

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La formación doctoral de alta calidad e impacto requiere que el doctorando se vea inmerso en un ecosistema de innovación en el que los tutores e investigadores de alto nivel no solo se ubican en la punta del saber sino que pueden aplicarlo en la solución de problemas complejos de su contexto socioeconómico y cultural.

La articulación de los procesos de investigación llevados a cabo por universidades en áreas en las que existen desarrollos importantes, posibilita la creación de programas de alto nivel. Esto es particularmente importante en programas de Doctorado que requieren altas inversiones en recurso humano e infraestructura para mantener la calidad y sostenibilidad que garantice continuidad en la formación de doctores.

La pertinencia de la investigación es crucial en cualquier país pero principalmente en aquellos en vía de desarrollo. Los programas de formación de alto nivel son llamados a

considerar la innovación como un eje transversal a nivel curricular. Esto implica acciones que van desde la definición misma de problemas pertinentes, pasando por la generación de ideas creativas y la generación de productos con alto potencial innovador de puedan ser la base de procesos de transferencia tecnológica que emprendan las universidades mismas o a través de oficinas de Transferencia Tecnológica externas o internas a las instituciones.

REFERENCIAS

- [1] J. D. Cabrera and C. D. Guerrero, "La formación de doctores en el contexto Latinoamericano," 2014.
- [2] J. Cabrera, C. Guerrero, and D. Parra, "Educación de Posgrado para la innovación pertinente y apropiada. Estado del arte y orientaciones para la educación en el campo de la telemática," in *World Engineering Education Forum, Cartagena Colombia*, 2013, p. 9.
- [3] RUM, "Red Universitaria Mutis," 2015. [Online]. Disponible: <http://www.redmutis.org.co>. [Recuperado: 13-Mar-2015].
- [4] CNA, "Acreditación de programas de postgrado," 2008. [Online]. Disponible: <http://www.cna.gov.co/1741/article-186363.html>. [Recuperado: 09-Mar-2015].
- [5] RICYT, "Indicadores Comparativos Graduados Educación Superior," 2013. [Online]. Disponible: <http://www.rieyt.org/indicadores>. [Recuperado: 03-Mar-2015].
- [6] Banco Mundial, "Indicadores de Desarrollo Mundial (Población Total)," 2014. [Online]. Disponible: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL>. [Recuperado: 10-Mar-2015].
- [7] MEN, "Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES)," 2015. [Online]. Disponible: <http://snies.mineducacion.gov.co>. [Recuperado: 14-Mar-2015].
- [8] Consejo Nacional de Educación Superior CESU, "Propuesta de Política Pública para la Excelencia de la Educación Superior," Bogotá, 2014.
- [9] Thomson Reuters, "The World University Rankings," 2015. [Online]. Disponible: <http://www.timeshighereducation.co.uk/world-university-rankings/2014-15/world-ranking>.
- [10] DNP, "Visión Colombia II Centenario: 2019," Bogotá, 2005.
- [11] MEN, "Observatorio Laboral para la Educación Graduados Colombia," 2015. [Online]. Disponible: <http://www.graduadoscolombia.edu.co>. [Recuperado: 14-Mar-2015].
- [12] O. Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, *Indicadores de Ciencia y Tecnología 2013*. 2013.
- [13] Consejo Privado de Competitividad, "Índice Departamental de Competitividad," Bogotá, 2014.
- [14] "RENATA," 2015. [Online]. Disponible: <http://www.renata.edu.co>. [Recuperado: 13-Mar-2015].