

# Retos de la formación doctoral en Ingeniería en Colombia



El pasado 12 de mayo, la Comisión de Formación e Integración en Ingeniería de ACIEM, organizó el foro: *Impactos retos y oportunidades de la formación doctoral en Ingeniería en Colombia*, cuyo objetivo fue analizar la pertinencia, así como el impacto social y económico de esta formación en el país.

Los doctorados, entre otros factores, determinan el nivel de desarrollo científico, técnico y económico, de aquellos países que están a la vanguardia, frente a aquellos que tienen un rezago importante en la formación y especialización de sus profesionales para que sean parte del circuito del conocimiento nacional e internacional. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en 2019 las personas con estudios superiores, universitarios o de Formación Profesional (FP), ganaban en promedio un 57% más que los que solo cuentan con un título de secundaria. Para tener una referencia, en 2014, Estados Unidos tenía 67.449 de egresados de doctorado, mientras que Alemania, su rival más cercano, tenía 28.147.

En el caso de Colombia y de acuerdo con el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES), a 2019, en el mercado se ofertaban 364 doctorados, de los cuales solo 44 cuentan con Acreditación de Alta Calidad.

Por áreas de conocimiento, las Ciencias Sociales, Derecho y Ciencias Políticas, tienen 84 posgrados con este nivel de formación; Ingenierías, 80; matemáticas y ciencias naturales, 75; ciencias económicas, 25; ciencias de la salud, 20; y el mismo número las ciencias ambientales.

En Colombia, la Ley 30 de 1992 redefinió la naturaleza de las universidades colombianas cuyo objetivo fue estar a la par de las reformas de la Educación Superior que se hicieron especialmente en América y Europa, e impulsar a las universidades hacia la investigación en un contexto de conocimiento, ciencia e internacionalización, que les permitiera aportar a la solución de los múltiples problemas que afronta la sociedad colombiana en distintos ámbitos, como son la salud, educación, energía y movilidad, entre otros aspectos.

En el marco del foro liderado por la Comisión de Formación e Integración en Ingeniería de ACIEM, los panelistas invitados compartieron sus puntos de vista sobre el enfoque de los doctorados en Ingeniería en Colombia, así como los retos que tiene el país en este campo.



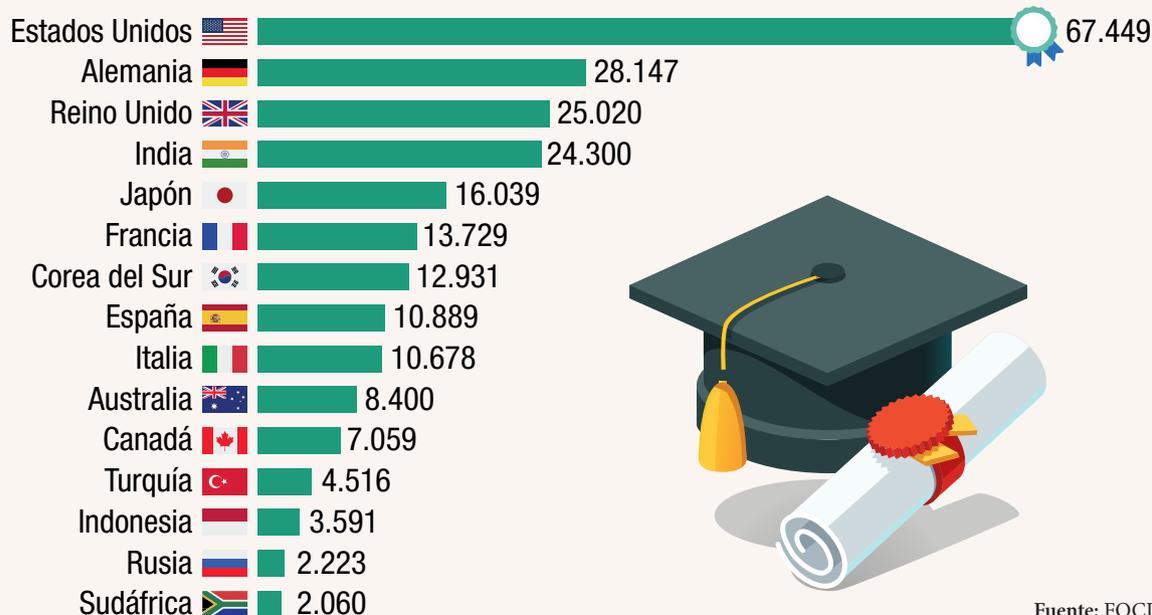
**Sonia Esperanza Monroy.** Ingeniera Industrial. Doctora en Ingeniería Industrial. Profesora titular de la Universidad Nacional de Colombia-sede Bogotá. Ex viceministra de Talento y Apropiación Social del Conocimiento. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

El programa de formación doctoral que tuvo Colciencias, hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, cumple ya 30 años de operación, durante los cuales se han asignado alrededor de 7.800 becas, con un presupuesto de inversión cercano a los dos billones de pesos.

Así mismo, MinCiencias otorga el 74% de los apoyos del país para formación doctoral; es así como para 1993 existían 8 programas y a 2019 existían 385, lo que ha permitido la conformación de un portafolio de 857 doctores disponibles para vincular a las entidades del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI). El incremento del número de doctores graduados por millón de habitantes pasó de 0,15 en 1998 a 17 en 2018. Aunque estamos muy por debajo de los parámetros, incluso latinoamericanos, el programa de formación de alto nivel está articulado a otros programas porque la idea es que el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación tenga toda la cadena de formación para lograr la formación de investigadores.

## Los países con más doctores universitarios

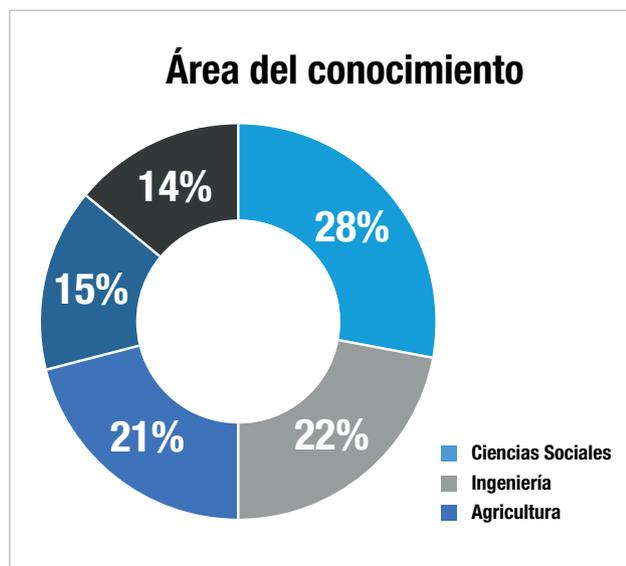
Número de graduados como doctores (todos los campos) en 2014



Fuente: FOCDE

Este proceso se inicia con el Programa Ondas para fomentar vocaciones en niños, niñas y adolescentes, que después pasa al Programa Semilleros de Investigación, y concluye con el Programa Nexo Global, el cual permite la movilidad internacional de estudiantes de pregrado, maestría y doctorado. De esta manera, el programa de formación de alto nivel está articulado en toda la cadena para llegar a ser investigador.

Hoy, el programa de becas de formación de alto nivel se asigna en un 40% para doctorados en el exterior y un 60% para doctorados a nivel nacional en las siguientes áreas de conocimiento:



Al mismo tiempo, el Conpes 3981 de 2019 estableció que el programa de formación de alto nivel es de importancia estratégica para el país, cuyo objetivo es fortalecer las capacidades del talento humano de alto nivel para realizar investigación con calidad e impacto, a través de la formación de 1.200 profesionales en programas de doctorados en el exterior y la vinculación de doctores en entidades del SNCTI, con un presupuesto de \$673.966 millones en áreas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) para el periodo 2018-2022.

En cuanto al sector productivo, de acuerdo con la encuesta de Desarrollo Tecnológico e Innovación del DANE (2018-2019), las empresas no innovadoras en

*“ El país debería evaluar si la robótica se está enseñando desde lo simple y se está incorporando en programas educativos de los niños, desde pre escolar para fortalecer competencias básicas ”*

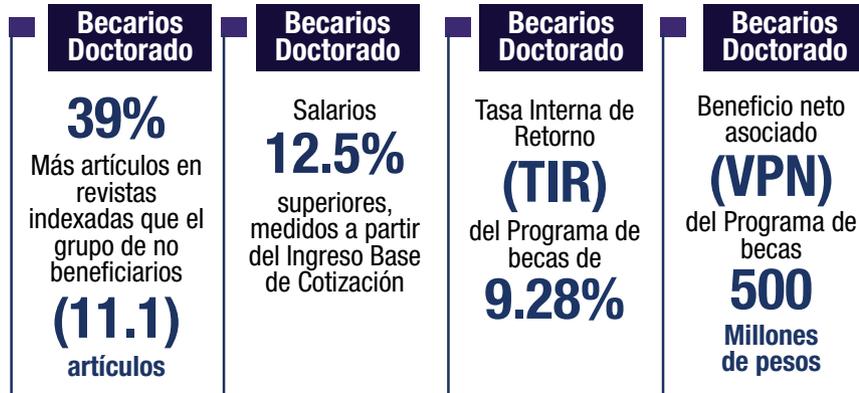
el sector servicios representan el 75%, mientras que para el sector manufacturero es del 72%, donde el personal con doctorado vinculado a actividades de innovación en las empresas apenas representa el 0.8% del total, por lo cual, casi el 90% de los doctores se vinculan a la academia.

En el año 2020, el Ministerio de CTeI y Colfuturo contrataron un estudio para evaluar el impacto del programa Crédito Beca, el cual determinó que las becas- crédito han permitido a los beneficiarios alcanzar mayores y mejores niveles educativos posgraduales; devengar mayores ingresos laborales; contribuir al país a través de su involucramiento en el sector público y educativo y generar retornos positivos sociales al país.

En la actualidad hay una competencia por el talento humano altamente calificado, con un alto déficit de Ingenieros, no solo en Colombia sino a nivel mundial. Adicionalmente hay una creciente digitalización de la información, lo cual nos permite hablar de ciencia abierta del manejo de grandes bases de datos y analítica de datos, donde los Ingenieros tenemos un papel muy importante. Finalmente, con las actividades de ciencia tecnología e innovación se fomentan la descentralización y la democratización del conocimiento, lo cual influye también en el trabajo de los Ingenieros.

Hoy la ciencia, la tecnología y la innovación tienen un enfoque interdisciplinar, es decir, proyectos donde trabajan Ingenieros, matemáticos, físicos y antropólogos,

## Evaluación de Impacto del Programa de Formación de Alto Nivel (2014)



Fuente: Fedesarrollo

entre otros, y todo el tema de la soberanía científica que se ha visto con esta pandemia y con la situación que estamos viviendo se ha hecho más relevante y demuestra la importancia de invertir en investigación y en la formación de talento humano.

Por ello se requiere fortalecer las capacidades de las regiones en materia de ciencia, tecnología e innovación y la capacidad de formular proyectos, programas de investigación o de desarrollo tecnológico, dado que en la actualidad es muy baja en el país.

El objetivo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, es cruzar la oferta del portafolio de doctores con la demanda de las empresas, pero es un instrumento que no han utilizado empresas y doctores y que hoy está al servicio de los interesados del país.

De otra parte, se debe fomentar el desarrollo tecnológico que impulse prototipos funcionales, que después se puedan escalar, para que finalmente sean comercializables, logrando la financiación en cada una de estas etapas. El hecho de jalonar recursos del sector privado, al cual le interesa una investigación en particular y es otra alternativa que tenemos para fomentar en la relación universidad-empresa-Estado-sociedad.

Finalmente, el país cuenta con centros de desarrollo tecnológico; centros de productividad regional; centros de investigación; centros de innovación y centros

de emprendimiento, pero se debe desarrollar una estrategia para que todos sean sostenibles, y en especial, para para que los centros de investigación puedan vincular a doctores que puedan desarrollar sus tesis.



**Verónica Botero Fernández.** Ingeniera Civil. Doctora en Geomática. Profesora asociada a la Facultad de Minas de la Universidad Nacional-sede Medellín.

A principios de los años 90, la facultad de Minas de la Universidad Nacional, sede Medellín, creó el primer doctorado en Ingeniería del país.

Según estadísticas, desde 2009 a la fecha, nuestra universidad ha graduado 1.838 doctores de 69 programas, es decir, que estamos graduando 180-200 doctores por año, lo cual equivale aproximadamente al 25% del total de graduados anualmente en Colombia, pero de acuerdo con la Misión Internacional de Sabios, el país tiene un déficit de 30.000 doctores.

De los 260 doctores graduados de la facultad de Minas, 174 son hombres y 86 son mujeres, donde observamos que existe una brecha grande de género y donde apenas el 0,5% son empresarios o independientes; el 2% están desempleados y el 97.5% son empleados (55% en el sector público y 45% en el sector privado) en áreas relacionadas con agricultura; fabricación de estructuras de maquinarias; investigación; educación; eficiencia energética, producción y suministro de energía; servicios de Ingeniería y consultoría; servicios públicos; suelos y estudios geotécnicos, entre otros, lo que significa que toda la producción de doctores (85%-88%) están dedicados a actividades de educación.

Por esta razón, se debe ajustar mejor la investigación a las necesidades que tienen los distintos sectores productivos del país, puesto que los doctores egresados de nuestra institución, aunque sienten que tienen una buena formación académica, piensan que cuando van a aplicar lo aprendido, les cuesta mucho, sobre todo porque las empresas no están preparadas para incorporar el conocimiento de estos profesionales, es decir, que existe una brecha grande entre las propuestas que hacen los doctores a las empresas y las capacidades que tienen estas para absorber e implementar las innovaciones.

En opinión de los egresados de la universidad, es importante que se definan políticas estatales para que las pequeñas y medianas empresas del país, que poseen capacidades de absorción muy limitadas, puedan vincular a los doctores a través de pasantías profesionales o beneficios tributarios y así potenciar el trabajo de sus tesis doctorales en las empresas y en el desarrollo de las regiones.

Así mismo, en el programa de egresados estamos identificando los *clusters* de egresados de forma que empecemos a mirar en las empresas donde ellos están vinculados, qué trabajo se puede hacer de vinculación por ejemplo de nuestros egresados doctores.

MinCiencias debería analizar la forma como se mide el impacto de los doctorados, ya que hoy solamente apunta a artículos y patentes de secretos industriales,

pero tenemos que revisar cuál es el impacto real en la economía de esos grupos de investigación de las universidades y obligarlos a dialogar con las empresas, pues es esa creación de espacios de diálogo que nos está faltando en alguna parte del eslabón de la cadena de ciencia, tecnología e innovación en el país.



**Rosmery Quintero Castro.** Licenciatura en Ciencias de la Educación de la Universidad de la Costa y Maestría en Administración de Empresas e Innovación de la Universidad Simón Bolívar. Presidenta Nacional de la Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Acopi)

El 96% del tejido empresarial del país está representado en las micro y pequeñas empresas, donde apenas el 22% de las mismas, están considerando incorporar la innovación, lo cual refleja que los empresarios aún no ven como estrategia de crecimiento y expansión, contar con personal altamente calificado para incursionar en el campo de la innovación, desarrollar nuevas tecnologías y explorar nuevos mercados para mejorar sus procesos de producción y competitividad.

Paralelamente, los recursos de regalías han logrado grandes cambios para generar dinámicas positivas de trabajo entre empresarios y universidades, lo cual ha permitido llevar herramientas a empresas que no tienen recursos suficientes para desarrollar innovación.

Acopi ha liderado la creación de una Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI), en alianza con cinco universidades públicas y privadas y una cámara de comercio, a través de la cual se identificaron

las capacidades tecnológicas de la academia y de los diferentes socios, encontrando que no existía una relación entre las capacidades tecnológicas de cada actor socio del proyecto y los grupos de investigación existentes al interior de cada organización, evidenciando la falta de planeación de corto, mediano y largo plazo en temas de innovación. Así mismo, a través de la OTRI se identificó una debilidad en la comercialización de los productos desarrollados en esta alianza estratégica para lograr la sostenibilidad del negocio.

En cuanto a los ecosistemas de innovación, el departamento del Atlántico hoy está en un 7% de instituciones relacionadas con este campo, mientras que el departamento de Antioquia está en un 37%, lo cual refleja que cada región trabaja en ecosistemas distintos y pone en evidencia que las empresas en el Atlántico no han realizado las encuestas de autodiagnóstico para compartir información sobre sus procesos de innovación.

Un punto importante para resaltar, es que a veces no es necesario tomar modelos complejos para desarrollar la innovación, sino que se puede partir de procesos simples que igual tienen riqueza y aplicación, para solucionar distintos problemas que pueden generar impactos positivos en las empresas. Por ejemplo, el país debería evaluar si la robótica se está enseñando desde lo simple y se está incorporando en los programas educativos de los niños, desde pre escolar para fortalecer las competencias básicas que posteriormente en el tiempo se vean traducidas en la capacidad de innovar como empresarios o para aportar soluciones a las empresas.

Países como Turquía, Alemania, Brasil y Corea del Sur, tiene una visión basada en el desarrollo tecnológico y la innovación, la cual reflejan en su modelo académico de formación orientado al emprendimiento, donde universidades e industria ponen al servicio de sus ciudadanos los laboratorios de I+D+i que les permita fortalecer sus competencias y su conocimiento en estos campos, lo que contribuye a un importante desarrollo social y económico, reconociendo y premiando los esfuerzos de investigación al más alto nivel a aquellos investigadores que son la base del conocimiento y la innovación de la sociedad.

En Colombia vamos por buen camino, pero aún hace falta mucho recorrido. En el caso de las Mipymes nacionales, existe el reto de apropiarse de los instrumentos y herramientas que ha dispuesto el Estado para desarrollar proceso de innovación para que sea parte del direccionamiento estratégico de las organizaciones.



**Libardo Enrique Mendoza.** Ingeniero Mecánico y Doctor en Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente Profesor de la Facultad de Ingeniería en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de América.

Existe una desvinculación entre el sector académico de formación con la industria, por resulta acertado contemplar pasantías de doctores en las empresas para fortalecerlas, pero esta se debería dar cuando el estudiante está a la mitad del desarrollo de su tesis doctoral, que le permita cohesionar su proyecto con necesidades específicas del sector empresarial y donde ambos obtendrán mutuos beneficios que les permitirá crecer a todo nivel.

En cuanto a la ubicación de los centros de formación de doctores, vale la pena llamar la atención que, Antioquia, Bogotá y Valle, de acuerdo con cifras del Ministerio de Educación Nacional, concentran el 60% de los programas de doctorado en Ingeniería, en temas relacionados con agricultura y energía, pero departamentos como el Cesar y Sucre, por ejemplo, donde el sector agropecuario es importante y es el motor de la economía, no cuentan con programa doctorales, lo cual se ha mejorado con las acciones definidas por el

Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación, pero obviamente aún no se ven resultados dado que son temas recientes. Esto refleja la ruptura que existe entre el sector empresarial y las universidades, lo cual se debe transformar en los próximos años.

El alma de los programas de doctorados son en realidad los grupos de investigación, son los que generan las líneas temáticas de investigación



**Luis Ernesto Luna Ramírez.** Ingeniero Electricista. Maestría y Doctorado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia. Gerente de Electrohuila.

Es muy importante que las empresas se den cuenta de los beneficios y las posibilidades de contar con doctores con una formación en investigación apoyando sus procesos productivos, por lo que las pasantías de los programas de doctorado son una buena alternativa para que las empresas conozcan todos los potenciales y la forma positiva como se transforman sus indicadores.

En Electrohuila, la presencia de doctores ha permitido contar con grandes avances en temas de indicadores de calidad del servicio y pérdidas de energía, para poder desarrollar estrategias que mejoren la rentabilidad, utilizando minería de datos, apoyándose en inteligencia artificial (IA), realidad virtual y realidad aumentada, entre otras soluciones tecnológicas.

Entonces, es muy importante realizar ese primer acercamiento entre los doctores y las empresas, de tal forma que ellos conozcan todas las potencialidades que tiene esta formación al interior de las organizaciones.

En calidad de Ingeniero electricista, con maestría y doctorado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, fui beneficiario de una beca doctoral con el antiguo Colciencias y realicé mi pasantía doctoral en el Centro Nacional de Energías Renovables de Enel en España y una de las cosas que me parecería muy relevante, es que las diferentes empresas del sector colombiano deberían manifestar cuáles son sus necesidades, para que los estudiantes sepan orientar sus investigaciones y sus desarrollos tecnológicos, en función de resolver las problemáticas que aquejan a las diferentes empresas.

Apenas terminé el doctorado, comencé a trabajar para aportar al sector empresarial colombiano, siempre con la mentalidad que era muy importante hacer innovación y desarrollo tecnológico, con proyectos que permitieron mejorar la cobertura del servicio, reducir las pérdidas técnicas del sistema y mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica, con diferentes iniciativas de desarrollo tecnológico que se implementaron en la compañía dentro del plan de inversiones.

Luego después de estar cinco años en Enel-Codensa, tuve la oportunidad de llegar a la gerencia general de la Electrificadora del Huila, gracias a la formación académica y experiencia adquiridas y a la iniciativa del Gobierno Nacional de volcar al país hacia la transición energética. Entonces, llegué con la gran responsabilidad de garantizar el funcionamiento de la triada: Estado-universidad-empresa, que garantice la fluidez y desarrollo de las propuestas que vienen de la universidad relacionadas con innovación, investigación y desarrollo tecnológico.

En Electrohuila hoy estamos trabajando en la primera línea de generación de energía eléctrica, una de las líneas de negocio a través de la estructuración de modelos de granjas solares que se conviertan en hito para el Huila que ayuden a jalonar la transición energética y a garantizar precios de kilovatio/hora y tarifas más asequibles y más apropiadas para nuestros clientes.

Reviva el foro ACIEM en el siguiente enlace:  
<https://www.youtube.com/watch?v=a9mkQ72Jvvg> ▲