



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN PAÍSES EMERGENTES A LA LUZ DE LOS CAMBIOS CONTEMPORÁNEOS EN LOS MODOS DE PRODUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO

Carlos Alberto Acevedo Álvarez, José Gabriel Cataño Rojas

**Instituto Tecnológico Metropolitano
Medellín, Colombia**

Resumen

Los cambios acaecidos con la globalización de las economías y las culturas, han traído aparejada en las últimas décadas, una compleja dinámica del conocimiento en las sociedades contemporáneas, lo que a su vez está implicando cambios profundos en la educación, en particular en la formación de ingenieros.

En el caso de los países desarrollados tales cambios se observan, muy especialmente, en las intensas relaciones entre las universidades y los sectores sociales y económicos, que dan lugar a numerosas innovaciones, permitiéndoles a un tiempo mantener su competitividad y la calidad de vida de sus poblaciones.

Por su parte, en el caso de países emergentes como Colombia, su inserción progresiva en la globalización exige que la economía transite de la exportación de recursos naturales o de bienes basados en ellos (con bajo o ningún valor agregado), y la eficiencia, hacia la innovación. Como la capacidad innovadora está determinada principalmente por los avances en el conocimiento, su acrecentamiento, tanto cuantitativo como cualitativo, dependerá finalmente del incremento de las actividades de ciencia y tecnología, una de las cuales es la formación de ingenieros en contextos complejos.

En este orden de ideas, este artículo parte de examinar, de modo general, una nueva dinámica en la producción de conocimiento, el llamado Modo 2, cuyas características de sistematicidad y complejidad, lo distinguen del modo tradicional de generación de conocimiento – Modo 1-, para mostrar cómo a partir de ella se puede concebir e implementar un nuevo modo de formación de ingenieros, que aquí se llamará “modelo alternativo”. Para ilustrar este ejercicio se analizan los resultados de una investigación concluida en 2011 sobre uso racional y eficiente de energía en unidades microempresariales de Medellín, donde convergieron profesionales y estudiantes tanto de ingeniería, como de las ciencias sociales y humanas. Con este precedente, el artículo concluye recomendando que las facultades de ingeniería deben innovar periódicamente sus procesos de formación mediante la generación de nuevos espacios de producción de

conocimiento, que eleven la calidad profesional de sus egresados al permitirles a los estudiantes aprendizajes significativos inter y transdisciplinarios, a lo largo de todo su ciclo formativo.

Palabras clave: países emergentes; modo 2 de producción de conocimiento; modelo alternativo de formación de ingenieros

Abstract

The changes brought about by the globalization of economies and cultures, have brought with in the last decades, a complex dynamics of knowledge in contemporary societies, which in turn is implying profound changes in education, particularly in the formation of engineers.

In the case of developed countries such changes are seen, especially, in the intense relationships between universities and social and economic sectors, which lead to numerous innovations, allowing time to maintain its competitiveness and quality of life of its populations.

On the other hand, in the case of emerging countries like Colombia, progressive insertion globalization requires transit economy of natural resource exports or goods based on them (with little or no added value), and efficiency, towards innovation. As the innovative capacity is determined mainly by advances in knowledge, its accretion, both quantitative and qualitative, will ultimately depend on the increase in science and technology activities, one of which is the training of engineers in complex contexts.

In this vein, the article is to examine, in general, a new dynamic in the production of knowledge, the so-called Mode 2, the characteristics of systematic and complexity, distinguish it from the traditional mode of knowledge generation - Mode 1 - to show how out of it you can design and implement a new way of training engineers, here called "alternative model". To illustrate this exercise we analyze the results of a study completed in 2011 on rational and efficient use of energy in Medellin microenterprise units where both professionals and students converged engineering, and social sciences and humanities. With this precedent, the article concludes by recommending that engineering schools must innovate regularly their formation processes through the creation of new spaces of knowledge production, to raise the professional quality of its graduates, to allow students meaningful learning inter-and transdisciplinary to throughout their training cycle.

Keywords: emerging countries; mode 2 of knowledge production; training of engineers

1. Introducción

“El nuevo modelo económico se basa en tres principios: sostenibilidad (social, económica y ambiental), ética e innovación” (Revilla, 2009).

La competitividad en la actual economía globalizada que se sustenta en el desarrollo científico y tecnológico, en las últimas décadas ha provocado que las ventajas comparativas de los países en desarrollo, representadas en su ubicación geográfica o en su dotación privilegiada de recursos naturales, ya no sean suficientes para competir, y les está obligando a cambiar en el sentido de tener que aprender a generar ventajas competitivas sustentadas en la generación, distribución y uso del conocimiento. El contexto anterior que caracteriza la llamada economía del conocimiento, está provocando profundos cambios

institucionales socioeconómicos y científicos, en los cuales la educación y la conformación de sólidos sistemas nacionales y regionales de ciencia, tecnología e innovación – SNCTI- son indispensables para estructurar y soportar los planes de desarrollo de los países y otras entidades territoriales.

SNCTI bien estructurados integran diversos agentes relacionados con la academia, la ciencia, la tecnología y la innovación, en una visión compartida y con un enfoque proactivo. No hacerlo significaría renunciar a su capacidad competitiva representada en la pérdida de mercados internacionales, la entrega de los mercados nacionales, el aumento de la dependencia política y económica y el rápido e inevitable empobrecimiento de la población.

Una de las principales características del SNCTI colombiano es la escasa interacción entre sus diversos agentes, en particular entre las instituciones de educación superior y el subsistema de utilización del conocimiento –empresas y sociedad-, resultado de la implantación de acciones equivocadas en la articulación del sistema y de una política inadecuada de Ciencia, Tecnología e Innovación. Esta adolece de recursos insuficientes o mal gestionados, lo mismo que de los suficientes incentivos que motiven una más robusta interacción entre los agentes del sistema. Acorde con lo anterior, el SNCTI colombiano hasta ahora ha sido incapaz de articular y materializar procesos de innovación y difusión tecnológica en la sociedad (Acevedo, 2009).

Evidencia de lo afirmado antes es que la Visión Colombia 2019, establece que para que la ciencia, la tecnología y la innovación puedan llegar a sustentar el crecimiento económico y el desarrollo social, es necesario fortalecer la relación entre la universidad y la empresa por medio de mejoras en la formación profesional, la investigación aplicada, la transferencia de tecnología y el desarrollo de innovaciones. Se debe entonces, diseñar políticas, estrategias, programas y proyectos, que apunten al logro de estos objetivos, que permitan enfrentar con éxito las nuevas restricciones del mundo económico y educativo. (Blanco, 2007).

2. La interdisciplinariedad como factor de innovación: Modos 1 y 2 de producción del conocimiento

“Por lo tanto, hoy emerge, de un modo esparcido, un paradigma cognitivo que comienza a poder establecer los puentes entre las ciencias y las disciplinas no comunicantes.” (E. Morin, 1992)

La globalización ha impulsado la consolidación de una forma nueva de producir conocimiento, el llamado Modo 2 de producción de conocimiento. En contraste con él, el tradicional Modo 1 plantea y resuelve problemas en un ambiente limitado por los intereses (generalmente académicos) y las normas de comunidades científicas disciplinarias. El Modo 2 de producción, por el contrario, se lleva a cabo en un contexto de aplicación, donde el conocimiento se produce siempre bajo un aspecto de negociación continua, e incluye los intereses de diversos actores académicos y no académicos. Por lo tanto, en este modo de producción de conocimiento operan fuerzas de oferta y demanda, donde la oferta de conocimiento no se circunscribe a la universidad o a otras fuentes académicas de conocimiento, y las demandas se originan en los diversos mercados e intereses de la sociedad (Gibbons & Limoges, 1997).

Para lo que aquí se quiere argumentar, cabe enfatizar entre otras características, que mientras que el Modo 1 de producción de conocimiento es disciplinar, el Modo 2 es transdisciplinar (Morin, 1992). Este último más que reunir un grupo de especialistas que trabajan en equipo sobre problemas científicos o tecnológicos específicos, que posteriormente puede llevar o no a aplicaciones concretas, busca más bien que la

investigación se oriente desde su origen por un consenso especificable relativo a una práctica cognitiva y social aplicada. La configuración de la solución final estará más allá de cualquier disciplina individual que contribuya a la misma. De igual forma, el Modo 2 la producción de conocimiento es heterogéneo y diverso en términos de las habilidades y la experiencia que aportan los agentes implicados. Por ello, el conocimiento se produce en diversas organizaciones e instituciones, incluidas las empresas, las instituciones gubernamentales, las universidades de investigación, los laboratorios e institutos públicos, y otros grupos de intereses sociales (Gibbons & Limoges, 1997).

La responsabilidad y reflexividad social impregna el Modo 2 de producción de conocimiento, es decir, está caracterizado por la interpretación y difusión de los resultados, así como por la amplia comunicación de los problemas y la determinación de las prioridades de investigación. Aquí, la sensibilidad hacia el impacto de la investigación está presente desde el comienzo y forma parte del contexto de aplicación. Paralelamente, el control de calidad del trabajo y de los equipos que llevan a cabo una investigación difiere de manera sustancial en los modos 1 y 2 de producción de conocimiento. En el primero la calidad está determinada por los juicios de evaluación de los pares cercanos a los investigadores. El control de calidad es realizado por aquellos que han sido seleccionados previamente como competentes para que actúen como iguales. En el Modo 2, por el contrario, se adicionan otros criterios a través del contexto de aplicación, que incorpora diversos intereses intelectuales, sociales, económicos o políticos. Esto trae como resultado que la calidad está determinada por un conjunto más amplio de criterios que reflejan la amplia composición social del sistema de ciencia, tecnología e innovación (Gibbons & Limoges, 1997).

3. Modo 2 de producción de conocimiento en la formación de ingenieros en Colombia

Los diseños micro y macrocurriculares de los programas académicos de las instituciones de educación superior en Colombia aún están organizados bajo el contexto de estructuras científicas disciplinares (en el ambiente del Modo 1 de producción de conocimiento), aunque dichas estructuras tienden a cambiar paulatinamente. La modificación prioritaria busca hacer énfasis en sistemas socialmente distribuidos de conocimiento que contengan las características propias del Modo 2 de producción de conocimiento. La modificación más profunda deberá apuntar a que la producción y la transmisión del conocimiento -la investigación y la enseñanza - ya no sean actividades autónomas, que se llevan a cabo en instituciones relativamente aisladas, sino que impliquen interacciones con diversos productores de conocimiento en el espacio social. En estas circunstancias, las vinculaciones entrañarán cada vez más el aprovechamiento del potencial de las nuevas tecnologías de información y comunicación, y la conformación de redes internacionales de conocimiento (Gibbons, 1997).

Las instituciones de educación superior en Colombia deben estar alineadas en las grandes tendencias mundiales de formación en ingeniería: formación interdisciplinaria, incremento de las capacidades de comunicación, responsabilidad, reflexión social y rendición de cuentas (accountability social), así como habilidades para el trabajo en equipo, espíritu empresarial, aprendizaje permanente, e interrelación constante con las empresas y todos los agentes involucrados en la producción, distribución y uso del conocimiento. Colombia necesita un ingeniero con una formación básica para el autodesarrollo profesional, que permita el “aprender a aprender”, que enseñe a pensar. Ello exige, en primera instancia, una fundamentación científica en matemáticas y ciencias naturales, como física, química y biología con énfasis según la especialidad. Además, requiere una formación humanística, capaz de entender los desafíos fundamentales que enfrenta su sistema social y político, de forma que tenga la capacidad para valorar y transformar la realidad nacional, con una visión no confesional, pluralista y de respeto a los derechos humanos.

4. Uso racional y eficiente de la energía en unidades microempresariales de Medellín: un caso de validación de formación alternativa de ingenieros a partir del Modo 2 de producción de conocimiento

En el transcurso de la ejecución de un proyecto de investigación finalizado a mediados de 2011, en la ciudad de Medellín, se tuvo la oportunidad de poner a prueba las anteriores ideas. El proyecto titulado Uso Racional y Eficiente de Energía en Unidades Microempresariales de Medellín (de ahora en adelante URE en UME), fue ejecutado en el marco de una de las líneas de investigación del Centro de Investigación e Innovación en Energía (CIEN), “Desarrollo de innovaciones tecnológicas para el uso eficiente de la energía en los diferentes sectores de la economía y la sociedad”. En su ejecución trabajaron interdisciplinariamente investigadores y estudiantes de diversos grupos de investigación e instituciones de educación superior pública como el Centro de Estudios Ciudad de Medellín – CECIM- (integrado por sociólogos, economistas y trabajadores sociales) y el Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas -GITER-, del Instituto Tecnológico Metropolitano- ITM; el Grupo de Manejo Eficiente de la Energía – GIMEL-, y el Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía –GASURE-, de la Universidad de Antioquia, y como asesores expertos de la Subdirección de I&D y del Área de Mercadeo, Transmisión y Distribución de Energía de Empresas Públicas de Medellín. Además, participaron activamente en el proyecto una treintena de microempresarios provenientes de algunas de las comunas populares de la ciudad.

El objetivo general del proyecto era establecer no solo líneas de innovación tecnológica dirigidas a la generación de soluciones prácticas y económicas al uso ineficiente de la energía por parte de las unidades microempresariales de la ciudad, sino, además, viabilizar y hacer sostenibles económica, social y ambientalmente dichas soluciones, mediante la conceptualización y el diseño de un modelo de gestión social de la energía.

Gracias a una caracterización socioeconómica y cultural de los usuarios y de los patrones de su consumo energético, en el estudio se pudo establecer los niveles de ineficiencia energética de las microempresas y trato de asociarseles al estado de la tecnología y a sus características económicas y socioculturales. Entre los hallazgos cabe destacar malas prácticas en la utilización de la energía, la utilización de fuentes energéticas inadecuadas y peligrosas (llantas, aceites, madera de desecho de construcción, entre otras), la operación con equipos ineficientes y redes internas de suministro de energía en precarias condiciones, y la contaminación ambiental generada debido al uso de materiales combustibles altamente dañinos para la salud humana.

El contexto de aplicación de la investigación lo constituyeron microempresas tradicionales de los estratos socioeconómicos 1 y 2 de la ciudad, localizadas en cinco barrios de las comunas 1 y 6. El proyecto se desarrolló en cinco etapas, a saber: en la primera se caracterizó el perfil socioeconómico y energético de las UME mediante la aplicación de una encuesta y mediciones técnicas en campo a una muestra representativa de ellas; en la segunda se realizó una selección de alternativas tecnológicas innovadoras capaces de producir cambios positivos en el uso eficiente de energía; en la tercera etapa se sensibilizaron y capacitaron treinta microempresarios en el uso eficiente de energía y en el manejo de la problemática identificada en la etapa de caracterización energética. Y, finalmente, en las dos últimas etapas, se efectuó el diseño, aplicación y evaluación mediante pruebas piloto de las alternativas tecnológicas identificadas, lo mismo que se conceptualizó y diseñó un modelo de gestión energética multiagente y multinivel, buscando hacer posible y sostenible la implantación del URE en el universo microempresarial tradicional de Medellín.

Anotado lo anterior, ¿qué implicaciones tuvo el proyecto en la formación de los estudiantes de ingeniería que participaron en él, de acuerdo a las características del Modo 2 de producción de conocimiento?

Como afirman Angulo & Toro (2001):

“La educación universitaria deberá, cada vez más, orientarse por premisas de aprendizaje activo, constructivo y significativo. El aprendizaje en ciencia y tecnología deberá parecerse cada vez más al proceso mediante el cual se construye ciencia y tecnología. La ciencia y la tecnología se aprenden construyéndolas y reconstruyéndolas. Es esa la manera compacta de entender, para el contexto de ciencia y tecnología, las tantas veces mentadas premisas de aprender a aprender y de aprendizaje activo dentro de las teorías contemporáneas de la educación. A pesar que la enseñanza universitaria cada vez privilegia más los procesos activos, creemos que todavía se debe hacer mucho en esta dirección. Para resumirlo de alguna forma diríamos que todavía el estudiante ocupa mucho tiempo en las aulas de clase, en procesos de transmisión de contenidos y muy poco tiempo en las bibliotecas, los laboratorios o grupos de trabajo que conlleven experiencias de investigación”.

A tono con la cita, los logros alcanzados en la formación de los estudiantes de ingeniería gracias al “modelo alternativo de formación” implicado en el proyecto, se evidencian en los siguientes hechos:

- a. El proceso de complementación de la formación académica de estudiantes de ingeniería desarrollada en este proyecto, dispuso de un escenario académico y de una experiencia en el trabajo de campo que fortaleció su formación interdisciplinar, y que hizo las veces de espacio de investigación formativa.
- b. En la consolidación de escenarios interdisciplinarios se dispuso de las unidades microempresariales y el trabajo colaborativo entre investigadores profesionales y estudiantes de distintas disciplinas sociales. Este hecho permitió a los estudiantes trascender la formación tradicional recibida en la facultad, gracias a su participación en las diversas etapas y actividades del proyecto, las cuales implicaron un permanente e intenso intercambio de conocimiento tácito y explícito, de naturaleza técnica y social.
- c. La comunicación verbal y no verbal, y su explicitación en grupos de discusión y en textos y documentos de diversa índole, permitió a los estudiantes la adquisición de competencias comunicativas de las que carecían por no ser este importante tema parte del currículo y del proceso formativo de las facultades de las cuales provenían.
- d. La naturaleza colaborativa del proyecto, permitió a los estudiantes ganar confianza en los conocimientos académicos, y en su capacidad de exploración del entorno social y productivo, lo cual hizo posible que asimilaran en el “aprender-haciendo”, la complejidad de las funciones de diagnóstico y diseño propias de la ingeniería, profesión para la cual cada problema es nuevo, lo cual distingue al ingeniero del simple técnico. La ejecución del proyecto conllevó a que los estudiantes se ayudaran mutuamente a aprender, compartir ideas y recursos, y planificar cooperativamente el qué y cómo estudiar. (Vélez, 2001).
- e. En términos de reconocimiento y validación formal de los aprendizajes logrados por los estudiantes, el balance también fue muy positivo: la formación de 7 estudiantes de pregrado y 3 de posgrado que iniciaron o concluyeron sus tesis de grado en el proyecto, al igual que su producción intelectual representada en capítulos de libro, artículos y ponencias. Gracias al proyecto algunos estudiantes accedieron al mercado laboral como ingenieros en el diseño de proyectos e, incluso, como investigadores. Por dar solo un ejemplo, dos de ellos laboran actualmente en la empresa Conoser, la primera spin-off universitaria creada en el país y cuyo gerente es el Dr. Germán Moreno Ospina, director del proyecto. Aún más, en cierta medida se puede afirmar que la experiencia transdisciplinar derivada del proyecto, le ayudó a esta empresa a tener el perfil y la proyección de la que goza en la actualidad.

Las entrevistas y cuestionarios que se realizaron con los estudiantes para la escritura del presente artículo, permiten concluir que este proyecto colaborativo facilitó el desarrollo de las habilidades exigidas a un ingeniero del siglo XXI, resaltadas por la literatura (Resendiz, 2000):

- Mayor flexibilidad y amplitud con miras a la indagación y manejo de posibilidad e incertidumbre.
- Fortalecer la curiosidad y respeto ante las ideas, valores y soluciones aportadas por otros.
- Incrementar la capacidad de iniciativa y confianza en la toma de decisiones sobre la base de planificación rigurosa, contrastada y documentada.
- Aumentar la predisposición a planificar el desarrollo del trabajo en cuanto a recursos, plazos de ejecución y anticipación de dificultades y obstáculos.
- Mejorar continuamente en la atención, interés y persistencia ante las dificultades presentadas.
- Disponer un ambiente favorable al trabajo en equipo, sistematizando y socializando tanto oral, como escrito en forma clara, correcta, adecuada y crítica.
- Valorar todos los aspectos técnicos, económicos, estéticos y sociales en la planificación y diseño de objetos y proyectos.

A modo de conclusión

Como se ha dicho, cuando se habla de la formación de ingenieros se insiste mucho en la función formativa de la escuela y “en cambio se reflexiona poco sobre la función formativa de la práctica” (Resendiz, 2000). Mientras que la escuela forma al futuro egresado en los métodos y teorías que constituyen la tradición de la profesión, la práctica lo enfrenta a nuevos problemas que solo la inserción sistemática en la realidad le puede proveer, lo que le posibilita al ingeniero graduado llegar a innovar en lo que son sus principales funciones, a saber, el diagnóstico y el diseño. La participación activa del estudiante de ingeniería desde los primeros semestres en proyectos integrativos que promuevan el aprendizaje grupal y multidisciplinario en contextos de aplicación reales, lo capacitarían para enfrentar los retos que la realidad económica, política, sociocultural y medioambiental de países emergentes como Colombia, le imponen. A las escuelas de ingeniería les corresponde integrar esta estrategia de manera sistemática en la organización de sus currículos, como también lo demuestra la experiencia internacional con muy buenos resultados. La promoción y consolidación de las relaciones universidad, empresa, gobierno y sociedad en proyectos como el URE en UME de Medellín, constituyen una condición *sino qua non* para lograrlo.

Referencias

- Acevedo, C. A. (Octubre de 2009). Gobernanza de la innovación: paradojas del caso colombiano. Revista Trilogía, Vol.1, No.1, pp. 61-75.
- Angulo, C. & Toro, J. R. (2001). La universidad académicamente abierta para la actual sociedad del conocimiento. En: OROZCO, L. E. (Compilador). Educación Superior. Desafío Global y Respuesta Nacional. I. U. de los Andes. Maestría en Dirección Universitaria.
- Blanco, L. E. (2007). Perfil del ingeniero Colombiano para el 2020. Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and TechnologyNTE. México.
- Gibbons, M. y Limoges, C. (1997). La nueva producción del conocimiento. Pomares. Barcelona.
- Gibbons, M. (1997). Pertinencia de la educación superior en el siglo XXI. Association of Commonwealth Universities. UNESCO. París.

- Morin E. (1992). Sobre la interdisciplinariedad. Boletín del Centre International de Recherches et Etudes Transdisciplinaires (CIRET); 2:7-12.
- Resendiz, D. (2000). El rompecabezas de la ingeniería. Por qué y cómo se transforma el mundo. FCE, México.
- Revilla, J.A (2009) "Otros campos, pluridisciplinariedad e innovación", En: http://www.iiies.es/La-interdisciplinariedad-se-encuentra-en-el-ADN-de-los-ingenieros-de-Caminos_a559.html
- Rosenblueth y J. Elizondo (1994), "Una reflexión sobre los alcances y los logros de las ciencias de la ingeniería en México", México: ciencia e ingeniería en el umbral del siglo XXI, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, pp. 347-357,
- Vélez, A. (2001). Aprendizaje basado en proyectos colaborativos en la educación superior. Proyecto Conexiones. Editorial Eafit. Medellín.

Sobre los autores

- **Carlos Alberto Acevedo Álvarez.** Ingeniero Mecánico, Universidad de Antioquia y MSc. en Sistemas Energéticos, Universidad Pontificia Bolivariana. DEA en Estudios en Ciencia y Tecnología y Gestión de la Innovación Tecnológica, UPV-EHU. Profesor titular Facultad de Ingenierías-ITM, Grupo de investigación en CTS+i. carlosacevedo@itm.edu.co
- **José Gabriel Cataño Rojas.** Sociólogo y MSc. en Desarrollo Social, Universidad Pontificia Bolivariana. Asesor de Proyectos y Coordinador del Laboratorio de Innovación Social, Facultad de Artes y Humanidades-ITM, Grupo investigación CTS+i. gabrielcatano@itm.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)