

A partir de una disertación sobre el concepto de investigación (research), contextualizada como una de las tres funciones de la Universidad, se explica cómo la discusión más relevante es cuál es el conocimiento pertinente y válido en Ingeniería, en contraste con la epistemología de la ciencia. Así, se arguye que la ingeniería cuenta con métodos propios de generación y validación de conocimiento, un conocimiento pertinente, propio y coherente que diverge del de las Ciencias naturales o las sociales.

Docencia e investigación: del romanticismo al realismo

Fue a estudiantes de quinto de primaria de una institución educativa distrital a quienes intenté por primera vez enseñar el algoritmo de la división en números (Euclides, 2014).

Los medios: ‘tablero verde’, tizas, lápices y cuadernos, con ejemplos ‘en abstracto’ que servían como guía para que los estudiantes resolvieran los ejercicios propuestos en el mismo salón o en casa. Es decir, ‘números divididos entre números’, con evaluaciones escritas (“previas”) como única información de retroacción. Y un agravante: los ejemplos que usaba no tenían ninguna relación con la cotidianidad de los estudiantes.

En retrospectiva autocrítica, debí haber indagado las circunstancias vivenciales de los niños para haberles propuesto actividades que tuviesen significado para sus vidas (Fink, 2013). Una de las mayores dificultades que enfrentamos todos al aprender matemáticas es que, aunque son el camino a la abstracción, se requiere de una intensa comprensión de la realidad. Es decir, la abstracción de la realidad no tiene sentido cuando no se conoce a esta última. Esta sigue siendo hoy una de las dificultades de los estudiantes de ingeniería frente al aprendizaje de las matemáticas (Cano Ibarra, Ramos Beltrán & Medina Torres, 2016; Laguna Cortés, Alvarado Arellano & Santacruz Vázquez, 2016) y también de la investigación.

Mientras laboraba en una empresa, fui invitado como profesor de cátedra de una universidad. En ese periodo romántico supuse que la simple exposición de temas era suficiente para que los estudiantes aprendieran. Suponía que los estudiantes tenían capacidad e interés en aprender al asistir al salón de clases. También, tenía como supuesto que era natural que las personas buscaran conocimiento para exaltar su ser. La experiencia me enseñó que esas no siempre eran las motivaciones de quienes asisten a un aula. Algunos asistían solo para cumplir con la exigencia de su empleador; otros, como oportunidad para cambiar de empleo dentro o

>

¹ Doctor en Ingeniería (c), Magíster en Administración, Especialista en Sistemas de Control Organizacional. Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad El Bosque. Contacto: orlandolopez@unbosque.edu.co.

fuera de la misma organización, y muy pocos con el interés de desarrollar conocimiento para hacer mejor su trabajo. Ya en otra empresa, percibí que la realidad desafiaba la utilidad de la actividad de auditoría: En 1994 robaron 24.000 millones de pesos del Banco de la República pese a contar con una oficina de auditoría interna y asesoría de *Price Waterhouse*. Los arqueos ‘selectivos’ de caja en supermercados no eliminaban los descuadres en puntos de venta. Al mismo

tiempo que eso ocurría, la Unesco formalizó en 1998 la relación entre la docencia, la investigación y la proyección social como funciones sustantivas de la Universidad. ¿Por qué no era preventivamente efectiva la auditoría? Después de cursar la Especialización en Sistemas de control organizacional, esperaba haber ganado suficiente conocimiento para diseñar, implantar o, al menos, evaluar la efectividad de los controles. No fue así, aparecieron más inquietudes sobre la forma de diseñar los controles para incorporarlos a los procesos.

En 2002 me vinculé como docente de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad El Bosque. Dirigí el curso “Economía y Finanzas en Ingeniería” (luego sería docente de todos los cursos del componente de ‘Administración’ del plan de estudios, según denominación de Acofi), y me formé también en la Maestría en Administración de la Universidad Nacional de Colombia, donde conduje la investigación sobre la formulación de políticas organizacionales de seguridad informática, que para entonces se entendía como equivalente a la ‘seguridad de la información’ (López-Cruz, 2004a, 2004b).

Asimismo, formulé la creación del Grupo de Investigación en Ingeniería de software², precursor del grupo Equis y este a su vez del grupo Osiris. Solo la Facultad

de Ingeniería de sistemas contaba con cuatro grupos de investigación. Observando los pocos resultados de investigación producidos por el grupo —desde mi perspectiva de investigador— descubrí que el problema principal es que los docentes entendíamos muchas cosas distintas por la misma palabra: investigación.

Investigación: disertación a partir del significado

En español, la palabra ‘investigación’ alude a distintas formas e intenciones de conocer e implica a la vez al actor que realiza la acción de investigar y al contexto en el que se realiza. La riqueza semántica de esta palabra no es compartida en inglés, idioma en el cual disponen de las palabras *research*, *investigation* y *enquiry* o *inquiry*. Si bien en todos los casos se busca conocimiento, sus procedimientos y sus propósitos pueden ser distintos.

Así, el proceso parte de recabar datos que aporten al conocimiento de un hecho (*inquiry*), es decir, indagar³, y pasa por la apropiación de conocimiento que busca comprobar o verificar que lo que se conoce es como se cree, y que de ser necesario, se debe aquello que lo oculta (*investigation*), hasta llegar a la generación de nuevo conocimiento que permita explicar la realidad como es, pero también construir la realidad como se desea que sea⁴ (*research*) es investigación, pero la acepción de *research* es de mayor interés en la Universidad que en

² Constancia de la creación de este grupo de investigación puede encontrarse en la Revista de Tecnología Vol. 1 No.1, julio-diciembre de 2002.

³ El diccionario de la Real Academia Española presenta al verbo indagar como derivado del latín *indagāre*, en el sentido de intentar averiguar algo discuriendo o con preguntas.

⁴ El diccionario de la Real Academia Española incluye para la palabra “investigar” las dos acepciones: *Investigar como indagación para descubrir algo (que equivale a investigation) y, también, investigar como las actividades intelectuales cuyo propósito es aumentar el conocimiento (que equivale a research).*

otras organizaciones. Las discusiones bizantinas en la Facultad dificultaron comprender que investigar como estrategia pedagógica es ‘investigación formativa’ (Miyahira-Arakak, 2009), pero no es investigación (*research*), puesto que el objetivo principal de una y otra son distintos.



La investigación formativa busca desarrollar en el estudiante competencias para vincularse y realizar investigación, el objetivo principal de la investigación (*stricto sensu*) es encontrar conocimiento nuevo (para la humanidad) y, en ese sentido, extender las fronteras del conocimiento disponible (para la humanidad), aún a partir de la experiencia y el discernimiento racional individual, como se ha hecho en física (Newton, 1999), economía (Smith, 1996) o en la *ingeniería* renacentista, afín al arte y a la arquitectura (Pacioli & Da Vinci, 2014). El diálogo se dificulta cuando un docente no hace investigación, sino solo discursos sobre la investigación. En este contexto, resultan inocuas las categorizaciones de la investigación como investigación pura, aplicada o profesional, o el uso de otras clasificaciones (Asis Sig Cr *Classification Research Workshop*, 1998; Hensley, 1988).

La investigación genera nuevo conocimiento y los investigadores se forman —por lo menos— en programas de postgrado. La creación de programas de postgrado, así como la dinámica de los programas de pregrado, debería sustentarse en la actividad de producción de conocimiento pertinente y relevante de un grupo de investigación. Pese a la cantidad mínima de resultados que pudiesen llamarse productos de nuevo conocimiento originados en el grupo de investigación antes mencionado, fui coartífice de las propuestas de creación de los programas de Maestría en Ingeniería de sistemas y computación, Maestría en Tecnologías de información y la Maestría en Informática biomédica, que demandaban resultados pertinentes de investigación.

Hacia la epistemología de la Ingeniería

Es indispensable la formación de profesionales con competencias específicas en el diseño y construcción de ‘sistemas de información’ y destrezas básicas para investigar en ingeniería,

pues el país requiere que sus profesionales dispongan de habilidades para aportar nuevo conocimiento y no solo “consumir” información y TIC (Kliksberg, 1973; Miyahira-Arakak, 2009). Esto último cuestiona directamente el mito de la “ingeniería como ciencia aplicada” —es decir, la ideología de la ingeniería como simple aplicación del conocimiento científico— que ha consolidado una tradición inadecuada de las capacidades de investigación en ingeniería en Latinoamérica (Goldstein, 1989; Kliksberg, 1973) y la baja pertinencia de la investigación en ingeniería en particular.

La ingeniería difiere de la ciencia en muchos aspectos. Uno de ellos es que mientras la ciencia explica y predice fenómenos, la ingeniería transforma la realidad (Olaya, 2013). La ingeniería transforma una situación en otra ‘situación deseada’ usando artefactos en contextos específicos (Petroski, 1992, 2011); la ingeniería es la ciencia artificial (Simon, 1988;1996) *par excellence*. El mundo artificial (i.e. ciudades, clínicas o centros médicos, entre otros) es creado por ingeniería hecha por seres humanos, para atender situaciones concretas y contingentes, no para enunciar leyes universalmente válidas.

Se cree que la generación del conocimiento científico antecede necesariamente el diseño de ingeniería y la construcción de artefactos, como en la aplicación de los principios ópticos para el diseño y construcción del primer telescopio en 1590. Dicha creencia infundada ignora que, por ejemplo, el diseño de Newcomen del motor a vapor (1712) fue ingeniería que antecedió en más de un siglo a la teoría de Sadi Carnot sobre la energía motriz del

fuego (1824) o la publicación del Manual de Rankine (Rankine, 1859), que ahora conocemos como termodinámica. Este hecho histórico, como muchos otros, indica que el conocimiento científico no necesariamente precede a la ingeniería y, por tanto, la ingeniería cuenta con conocimiento propio y métodos propios.

Esto es así porque la epistemología de la ciencia natural es distinta a la epistemología de la ingeniería (Hansson, 2007), por lo cual el discurso no es alrededor de la posibilidad de que la ingeniería tenga

la capacidad de hacer investigación básica, aplicada o profesional, sino acerca de lo que se considera como conocimiento en ingeniería (Tabla I) y cómo se produce, distinción que quizás podría buscarse en las posturas de Protágoras o Heráclito, por un lado, y Tales de Mileto, por otro, recordando que las ideas de la escuela de este último conforman la base de la ciencia contemporánea.

La comparación del modelo de racionalidad de la ciencia con el de la ingeniería que es esencialmente el de la contingencia (Tabla 1). En el caso de la ciencia, esta busca “la verdad”, hacer predicciones y presentar



Tabla 1

Distinción (básica) entre la Epistemología de la Ciencia y la Ingeniería

CRITERIO	CIENCIA TÍPICA	INGENIERÍA
Modelo de racionalidad	Basado en la necesidad	Modelo de racionalidad basado en la contingencia
Fundamentada principalmente en Finalidad	Realidad Conocimiento <i>per se</i>	Experiencia (no empirismo) Transformación con base en experiencia fundamentada
Guiada por Búsqueda de Criterio de validez Necesidad	Principio de la razón suficiente Verdad, predicción, explicación Universalidad Comprensión	Principio de la razón insuficiente Cambio o transformación Funcionalidad Acción

Fuente: elaborado por el autor con base en Goldman (2014).



explicaciones de los fenómenos para ‘comprender’ la realidad, mientras que la ingeniería busca inducir cambios y generar transformaciones en un contexto (Tabla I), por lo que al parecer –en forma poco acertada– se le identifica como “una profesión que promueve la resolución de necesidades, problemas o retos de la sociedad” (ACOFI, 2017), y no un campo de conocimiento que tiene como desafío enfrentar los retos de gran escala de nuestra sociedad como el acceso a los servicios de salud, el ensamble de energía, transporte y cambio climático, proveer acceso equitativo de la población a la información, asequibilidad al agua potable, mitigación a desastres naturales y antrópicos, gestión de recursos naturales y protección ambiental (UNESCO Report, 2010); con ello se empiezan a identificar sus diferencias epistemológicas. La línea difusa que separa los resultados de ingeniería de los de la ciencia (López-Cruz, 2010, 2015; López-Cruz & Obregón Neira, 2015; López-Cruz & Rodríguez, 2015) hace pensar que la una depende de la otra y, quizás, esto es lo que lleva a suponer que puede ser usado el mismo método de investigación en ingeniería que en ciencia.

Si bien la ingeniería usa conocimientos teóricos y podría generar teorías, su derrotero no es ese, sino más bien desarrollar el mundo, transformarlo mediante la vinculación de artefactos a contextos específicos para beneficiar a la sociedad (UNESCO Report, 2010). El desarrollo de estas ideas excede el alcance de este documento introductorio a la epistemología de la ingeniería.

La ideología del cientificismo y, específicamente, la admisión –sin previa reflexión crítica o simple evaluación– del método científico como método de la ingeniería (Doridot, 2008; Layton Jr, 1974),

combinada con la creencia de que la investigación sólo se puede hacer en maestrías o en doctorados de países desarrollados, deriva en que los esfuerzos de investigación en ingeniería solo se conduzcan guiados por encuestas y análisis estadísticos (modelos de estadística paramétrica o bayesiana, cuando no es que se usan modelos de ecuaciones diferenciales), y afronte disyuntivas – que no le son propias– sobre la elección entre el método cuantitativo, cualitativo o mixto, y la sucedánea aplicación acrítica y estéril de formatos y formalismos. ◆



Referencias

- ACOFI. (2017). Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería 2017 - Llamado a ponencias. Retrieved Abril 13, 2017
- Asis Sig Cr Classification Research Workshop. (1998). *Advances in classification research : held at the 60th ASIS Annual Meeting, Washington, D.C., November 1-6, 1997*. Paper presented at the Asist Sig Cr Classification Research Workshop, held at the 60th ASIS Annual Meeting, Washington, D.C., November 1-6, 1997.
- Cano Ibarra, S. T., Ramos Beltrán, J. A., & Medina Torres, M. G. (2016). Análisis del estrés académico en estudiantes de ingeniería como estrategia para el aprendizaje significativo. *ANFEI Digital*(5), 1-8.
- Doridot, F. (2008). Towards an 'Engineered Epistemology'? *Interdisciplinary Science Reviews*, 33(3), 254-262.
- Euclides. (2014). *Los seis primeros libros, y el undécimo, y duodécimo de los elementos de Euclides* (Vol. Simson, Robert). Valladolid: Maxtor.
- Fink, L. D. (2013). *Creating significant learning experiences, revised and updated : an integrated approach to designing college courses*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Goldman, S.L. (2004). Why we need a philosophy of engineering: a work in progress. *Interdisciplinary Science Reviews*, 29(2), 163-176.
- Goldstein, D. (1989). *Biotechnología, Universidad y Política*. México: Siglo XXI.
- Hansson, S. O. (2007). What is technological science? *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 38(3), 523-527.
- Hensley, O. D. (1988). *The Classification of research*. Paper presented at the S. R. A. Research Symposium, Lubbock, Tex.
- Kliksberg, B. (1973). *Administración, subdesarrollo y estrangulamiento tecnológico: introducción al caso latinoamericano; elementos para una sociología del subdesarrollo tecnológico latinoamericano*. Buenos Aires: Paidós.
- Laguna Cortés, J. Ó., Alvarado Arellano, M., & Santacruz Vázquez, V. (2016). Problemática de la enseñanza y evaluación de las matemáticas en la formación para ingenieros. *ANFEI Digital*(4), 1-9.
- Layton Jr, E. T. (1974). Technology as knowledge. *Technology and culture*, 31-41.
- López-Cruz, O. (2004a). ISO 17799 Protección y Seguridad Informática. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*, 3(1), 25-34.
- López-Cruz, O. (2004b). Políticas de Seguridad Informática...Seguras. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*, 3(2).
- López-Cruz, O. (2010). Transferencia de tecnología informática: entorno colombiano. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*, 9(1), 19-23.
- López-Cruz, O. (2015). Una Solución Basada en Agentes al Problema de Generación de Horarios. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 2(3), 73-85.
- López-Cruz, O., & Obregón Neira, N. O., N. (2015). A network based methodology to reveal patterns in knowledge transfer. *International Journal of Artificial Intelligence and Interactive Multimedia*, 3(5), 67-76.
- López-Cruz, O., & Rodríguez, D. L. (2015). Historia Clínica Electrónica para Apoyo de Tratamiento de Niños Sordos en Entornos No-Hospitalarios. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 2(4), 67-75.
- Miyahira-Arakak, J. M. (2009). La investigación formativa y la formación para la investigación en el pregrado. *Rev Med Hered.*, 20(3), 121-122.
- Newton, I. (1999). *The Principia: mathematical principles of natural philosophy, First published in July 5th, 1687*. CA: University of California Press.
- Olaya, C. (2013). *Más ingeniería y menos ciencia por favor*. Paper presented at the XI Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Monterrey, México.
- Pacioli, L., & Da Vinci, L. (2014). *De divina proportione*. Lexington KY: Leopold Publishing. First printed in 1509 in Milan. .
- Petroski, H. (1992). Engineering: The Evolution of Artifacts. *American Scientist*, 80(5), 416-420.
- Petroski, H. (2011). *The essential engineer: Why science alone will not solve our global problems*: Vintage.
- Rankine, W. J. M. (1859). *A Manual of the Steam Engine and other prime movers*. Nabu Press, 2012.
- Simon, H. A. (1988). The science of design: creating the artificial. *Design Issues*, 67-82.
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial* (Vol. 136): MIT press.
- Smith, A. (1996). *Investigación sobre la naturaleza y causa de la riqueza de las naciones*. México: Fondo de Cultura Económica. Original 1776.
- UNESCO Report. (2010). Engineering: Issues, challenges and opportunities for development. In U. Publishing (Ed.). Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

