



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Enseñar ingeniería a quien no quiere ser ingeniero

Ricardo Vicente Jaime Vivas

**Universidad de Investigación y Desarrollo
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

¿Por qué razón alguien se sometería a la situación de enseñar algo que no es lo que quienes toman la clase quieren aprender? ¿Y si no se equivocaron de aula, por qué estarían ahí los estudiantes? Sucede a diario.

Dichos estudiantes en general son conscientes de haberse matriculado en un programa universitario de pregrado en Ingeniería de Sistemas. No suelen llegar motivados por la forma en que la Ingeniería contribuye a la solución de diversos problemas de la sociedad, con fundamento en las matemáticas y las ciencias, y mediante un proceso riguroso mejorado a lo largo de ocho mil años. Más bien parecen seguros de saber ya lo suficiente; de tan solo necesitar que en su formación universitaria les entreguen en la mano nuevas sentencias de algún lenguaje de programación, quizás aprender algún lenguaje nuevo, o mejor, una herramienta en la que no haya que programar mucho, sino ensamblar y publicar en alguna app store. Haber conseguido buenos resultados en el curso o en alguna maratón de programación en el colegio, o tener experiencia en desarrollo de sitios web, son respaldo suficiente para sus expectativas y su nivel de confianza.

Los problemas surgen muy pronto: apenas se introduce el método. La sorpresa viene por cuenta de que el término *Ingeniería* no es tan solo una muletilla, que durante poco más de cincuenta años ha estado acompañada del apellido *de Sistemas*, para denominar de forma elegante a lo que simple y llanamente es programación de computadores, de acuerdo con los supuestos de los novatos del programa. ¿Cómo así que las líneas de código no se inventan en simultaneidad con la manipulación del teclado, sino que obedecen a un análisis previo, a un diseño expresado en múltiples diagramas, a la selección de las técnicas y herramientas más convenientes para el proyecto? ¿Cómo es eso de que el resultado no solo debe funcionar a satisfacción del usuario, sino que además debe superar pruebas para asegurar el cumplimiento de estándares de calidad?

Con esa sorpresa se encuentran los estudiantes, y con frecuencia es una fuente de frustración que dificulta el abordaje del rigor de la Ingeniería del Software, que es como la *Association for Computer Machinery (ACM)* y el *Institute of Electric and Electronic Engineers (IEEE)*, los mayores referentes curriculares de talla mundial definen a una de las cinco disciplinas que conforman el campo de la computación, el mismo que con frecuencia se ve reducido a la programación, y que es una de las líneas de acción de la Ingeniería de Sistemas en Colombia.

Esta ponencia muestra la experiencia de un programa de Ingeniería de Sistemas, soportada en investigación aplicada, discusión curricular y crítica de la interacción entre la academia y la industria. El proyecto busca formular métodos de enseñanza en Ingeniería de Sistemas que motiven a los estudiantes a superar sus expectativas iniciales y adherir a una visión más ambiciosa de su futura profesión sin desertar en el intento.

Palabras clave: ingeniería de sistemas; computación; ingeniería del software

Abstract

Why anyone would submit to teach something that is not what those taking the class want to learn? If they didn't go to the wrong classroom, why would the students be there? This kind of situation happens daily.

These students are generally aware of having enrolled in a university undergraduate program in Systems Engineering. They are not usually motivated by the way in which Engineering contributes to the solution of various problems of society, based on mathematics and science, through a rigorous process improved over eight thousand years. Instead of that, they seem very sure that they already know enough; pending only of learning new programming language sentences, perhaps learning some new language, or better, a tool in which they do not have to program much, but to assemble and to publish in some app store. Having done well in the course or a coding marathon in school, or having experience in website development, is enough support for their expectations and confidence level.

Problems arise very early: as soon as the method is introduced. The surprise comes from the fact that the term Engineering is not just a common word that for over fifty years has been accompanied by the name Systems, to name what is simply computer programming, according to the assumptions of the novices of the program. How is it possible that lines of code are not invented simultaneously with the manipulation of the keyboard, but instead they follow a previous analysis, a design expressed in multiple diagrams, the selection of the most convenient techniques and tools for the project? How is it possible that the result must not only function as users expect, but must also pass tests to ensure compliance with quality standards?

Students are surprised by that, and it is often a source of frustration that makes it difficult to approach the rigor of Software Engineering, which according to Association for Computer Machinery (ACM) and the Institute of Electric and Electronic Engineers (IEEE) , the greatest world-class curricular



references define one of the five disciplines that make up the field of computing, the same that is often reduced to programming, and that is one of the areas of Systems Engineering in Colombia.

This paper shows the experience of a Systems Engineering program, supported by applied research, curricular discussion and criticism of the interaction between academia and industry. The project seeks to formulate teaching methods in Systems Engineering that motivate students to exceed their initial expectations and to adhere to a more ambitious vision of their future profession without deserting in the attempt.

Keywords: systems engineering; computing; software engineering

1. Introducción

Los integrantes del equipo a cargo del proyecto en que se origina esta ponencia, se desempeñan como docentes de pregrado en la Universidad de Investigación y Desarrollo (UDI). En este escenario se ubica el problema de inicio de la investigación: una cantidad significativa de estudiantes de pregrado universitario en Ingeniería de Sistemas manifiestan desinterés o rechazo hacia los métodos y el rigor de ingeniería, mientras expresan expectativas y ejercen presión para que su formación se oriente a aspectos que los docentes consideran más propios de los niveles de formación técnica profesional o tecnológica.

Recién ingresados a la universidad, los estudiantes suelen saber de matemáticas lo primero que aprendieron: que son difíciles; un campo reservado para genios, gente con capacidades muy por encima del promedio. Esto los indispone frente a cosas que suponen están fuera de su alcance, y cuesta trabajo. Asimismo, suelen saber de computación lo primero que aprendieron: que es fácil, algo que cualquier persona puede hacer, la cultura general de los tiempos que corren. Esto, por el contrario, los indispone frente a cosas que suponen ya no necesitan.

Las reacciones de los docentes están divididas frente a las pretensiones de los estudiantes. Algunos están de acuerdo y alimentan dicha perspectiva, en tanto que otros la confrontan. El escenario está altamente influido por el debate académico del que recientemente emergió una reforma curricular del programa, en la que los resultados de aprendizaje fueron formulados dando prelación al análisis, modelado y diseño como actividades y productos de ingeniería, usualmente expresados en diagramas, aunque sin excluir la implementación de software, expresada en código de programación en lenguajes específicos.

2. Demanda y oferta de formación

A partir del año 2010 el Ministerio de Educación Nacional emprendió un proyecto de fortalecimiento de la educación técnica y tecnológica, cuya meta era conseguir que el 45% de los estudiantes de pregrado estuvieran inscritos en este tipo de programas hacia el año 2014 (Ministerio de Educación Nacional, 2012), y que en un plazo mayor la oferta educativa fuera más numerosa en estos niveles para responder a las necesidades del sector productivo en cuanto a mayor

tecnificación de procesos, aceleración en la incorporación de tecnología, y aumento de la competitividad del país (Ministerio de Educación Nacional, 2013).

Entre los años 2016 y 2020, 513 programas de nivel académico de pregrado afines a Ingeniería de Sistemas (PPAIS) en Colombia graduaron a 70.521 estudiantes: 35.049, equivalentes al 49,70%, se graduaron como ingenieros; 31.168, que conforman el 44,20%, egresaron como tecnólogos; y los restantes 4.304, que constituyen el 6,10%, obtuvieron su título como técnicos.

Estas cifras revelan que, en cuanto a los pregrados afines a Ingeniería de Sistemas, los programas universitarios han sido equiparados por los otros dos niveles. Sin embargo, los programas técnicos siguen marcando una proporción mínima de los programas técnicos frente a los tecnológicos.

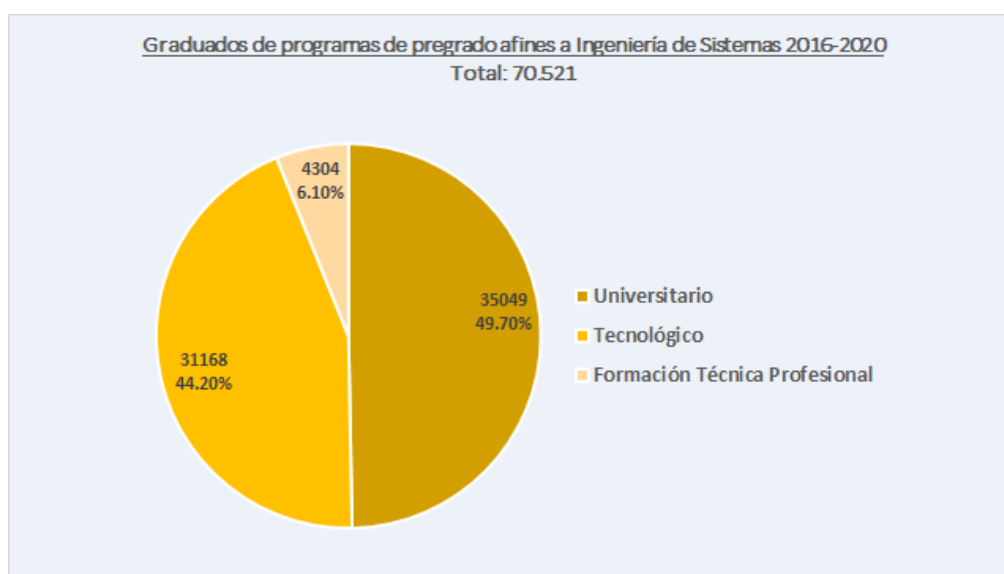


Figura 1. Graduados PPAIS 2016-2020.

Elaboración propia. Datos: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES).

Es aún más baja la proporción de programas técnicos que se ofrecen fuera del esquema de formación por ciclos propedéuticos, es decir, entre otras cosas, sin la posibilidad inmediata de acceder a los niveles posteriores. Solo 1.230 de los 70.521 graduados PPAIS, el 1,74% del total, egresaron como técnicos en estas condiciones.

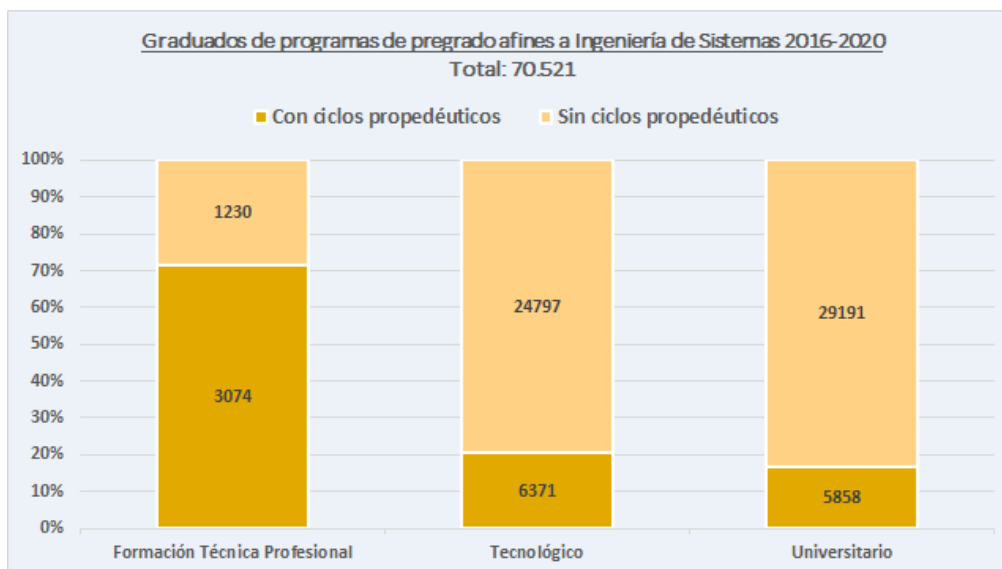


Figura 2. Graduados PPAIS 2016-2020 agrupados por ciclos de formación.
Elaboración propia. Datos: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES).

A falta de datos más específicos, es imposible determinar si esta situación responde a la demanda o a la limitación de la oferta. Sin embargo, llama la atención la oferta de múltiples títulos en pocos años como retórica frecuente en la estrategia de comunicación de los programas técnicos y tecnológicos, así como el acceso rápido a un trabajo digno como solución a los problemas económicos de las familias, es retórica prevalente, aunque disimulada en los programas gubernamentales de promoción antes mencionados.

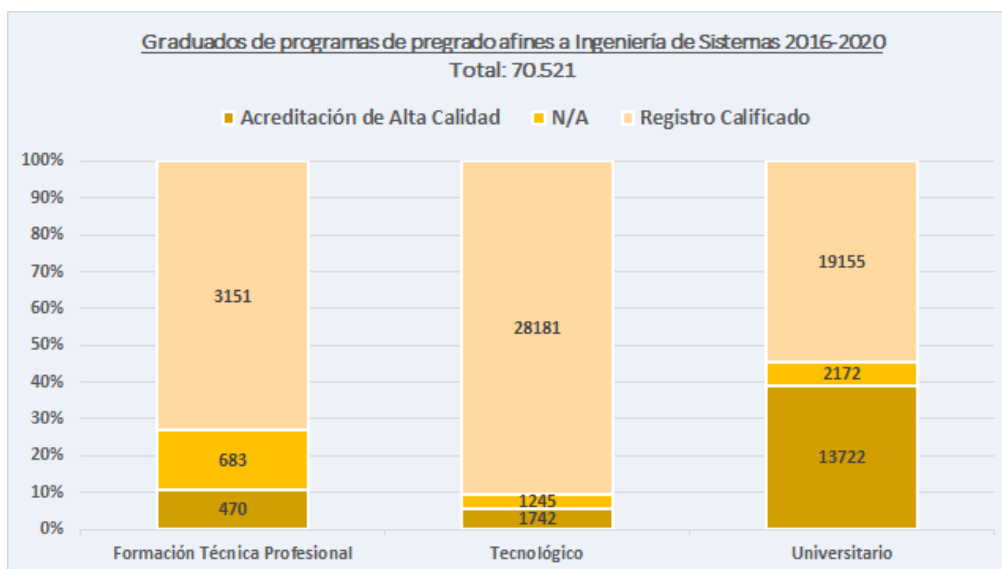


Figura 3. Graduados PPAIS 2016-2020 agrupados por reconocimiento institucional.
Elaboración propia. Datos: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES).

Un aspecto notoriamente deficitario de la oferta de formación técnica y tecnológica frente a la universitaria es la acreditación de los programas. Mientras que el 39,15% de los graduados universitarios son de programas con acreditación de alta calidad, en la formación técnica esta proporción es sólo del 10,92%, y en la tecnológica apenas llega al 5,59%. A las dificultades inherentes a la oferta de programas técnicos, cuyos costos en permanente actualización tecnológica pueden ser relativamente más elevados que en la formación universitaria, se suma una cierta tendencia de las instituciones a aspirar al cambio de carácter institucional. Es preciso mencionar que es justamente el caso de la institución en que se origina esta ponencia: habiendo empezado en la educación no formal y luego como institución técnica, a lo largo de cuatro décadas ha escalado hasta convertirse en universidad, y acaba de recibir la acreditación de alta calidad para su programa de Ingeniería de Sistemas.

Ante este panorama, y tratándose de una investigación cualitativa, el grupo de trabajo a cargo de este proyecto perfilaba como problema la limitada demanda y oferta de formación técnica, ya fuera por connotaciones deficitarias que influyen en que los aspirantes se inclinen más por la formación universitaria, pero con la expectativa de aprender cosas que conlleven una rápida inserción laboral. Algo así como la hipótesis de que los estudiantes se matriculan en ingeniería, sin que necesariamente quieran ser ingenieros. La presión de la que ya se habló en la sección introductoria.

3. Definición legal de los niveles de formación

El título de ingeniero corresponde al más alto nivel de formación en el campo, es decir, al de un egresado de un programa universitario. Los otros dos niveles son el tecnólogo y el técnico. Todos son profesionales, pero, ¿de qué se encarga cada uno?

La educación superior, regulada en Colombia por la Ley 30 de 1992, comprende dos niveles académicos: pregrado y posgrado. El primero consta de los niveles técnico, tecnológico y universitario, que corresponden a la formación para una ocupación, para una disciplina o para una profesión, respectivamente, descritas por la Ley 749 de 2002, que regula la formación de pregrado por ciclos propedéuticos:

- **Formación técnica profesional:** “[...] orientado a generar competencias y desarrollo intelectual como el de aptitudes, habilidades y destrezas al impartir conocimientos técnicos necesarios para el desempeño laboral en una actividad, en áreas específicas de los sectores productivo y de servicios, que conducirá al título de Técnico Profesional en...” (Artículo 3°, numeral a).
- **Formación tecnológica:** “[...] ofrecerá una formación básica común, que se fundamente y apropie de los conocimientos científicos y la comprensión teórica para la formación de un pensamiento innovador e inteligente, con capacidad de diseñar, construir, ejecutar, controlar, transformar y operar los medios y procesos que han de favorecer la acción del hombre en la solución de problemas que demandan los sectores productivos y de servicios del país. La formación tecnológica comprende el desarrollo de responsabilidades de concepción, dirección y gestión de conformidad con la especificidad del programa, y conducirá al título de Tecnólogo en...” (Artículo 3°, numeral b).

- **Formación universitaria:** *“[ofrecerá la] fundamentación teórica y la propuesta metodológica de la profesión, y debe hacer explícitos los principios y propósitos que la orientan desde una perspectiva integral, considerando, entre otros aspectos, las características y competencias que se espera posea el futuro profesional. [...] Permite el ejercicio autónomo de actividades profesionales de alto nivel, e implica el dominio de conocimientos científicos y técnicos y conducirá al título de profesional en...”* (Artículo 3°, numeral b), que para esta área es el título de Ingeniero.

La anterior es una formulación legal, que protocoliza la existencia de tres niveles de formación sin definirlos claramente, tarea que, es de suponer, se delega a la academia. Sin embargo, incluso a nivel internacional no parece haber tampoco una determinación académica precisa del tipo de trabajo que realizan, ni de los conocimientos y habilidades exigidas a quienes obtienen cada uno de estos títulos académicos en el campo de la ingeniería.

4. Definición académica de los niveles de formación

Ha habido iniciativas internacionales para definir los niveles de formación en pregrado, específicamente en el área de ingeniería. Estados Unidos, a través de ABET, es signatario de acuerdos internacionales de equivalencia que definen los tres niveles: la formación técnica es objeto del Acuerdo de Dublín; la formación tecnológica se aborda en el Acuerdo de Sídney; y la formación profesional o de ingeniería se determina en el Acuerdo de Washington. Desde la perspectiva de la responsabilidad dentro de un equipo completo de ingeniería, los niveles se definen así (Cita IEA):

- **Técnicos en Ingeniería:** participan en la aplicación práctica de métodos, técnicas, actividades y procedimientos ya probados y estandarizados para la solución de problemas de ingeniería completamente definidos.
- **Tecnólogos en Ingeniería:** asumen el uso de tecnologías y la selección y aplicación de procedimientos, procesos y metodologías para la solución de problemas de ingeniería definidos en un sentido amplio, es decir, frecuentes y genéricos, que podrían requerir técnicas o procesos aún no completamente estandarizados.
- **Ingenieros:** abordan la solución de problemas complejos de ingeniería, o sea, problemas nuevos o sin solución obvia, que implican numerosas variables y requieren pensamiento abstracto, creatividad y originalidad en el análisis para la formulación de modelos viables reconociendo sus alcances y limitaciones en función de los recursos disponibles, así como los impactos que pueden tener sobre la sociedad y el entorno.

Con las anteriores definiciones, algunos autores han situado el campo de acción de los ingenieros en el diseño, el de los tecnólogos en la construcción, y el de los técnicos en la operación (National Academy of Engineering, 2017). Sin embargo, este esquema parece sugerir fronteras completamente definidas, que han incidido en una jerarquización incluso a nivel social de los tres niveles de formación. Para eludir cualquier connotación jerárquica, en lo social, en lo económico o en lo intelectual, [Carroll, 2017] esquematizó un enfoque previamente propuesto por [Crawley et al., 2007], denominado CDIO, acrónimo de *Conceive – Design – Implement – Operate*, por las cuatro



actividades que Crawley propone como componentes del ciclo de vida genérico de un proyecto de ingeniería. Docentes y estudiantes suelen estar más familiarizados con el término *análisis* que con el término *concepción*. En el esquema CDIO el término concepción tiene la connotación de imaginar el proyecto

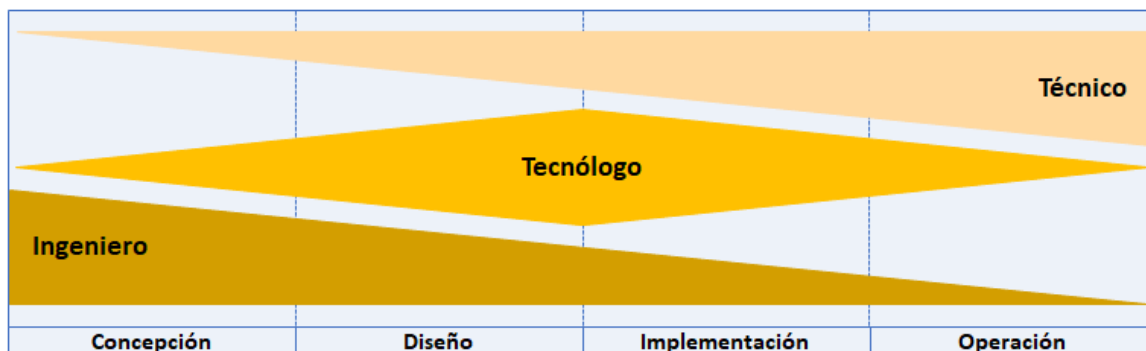


Figura 4. Áreas de dominio por nivel de formación en proyectos de ingeniería.
Adaptado por el autor. Fuente: [Carroll, 2017].

De acuerdo con Crawley, la concepción incluye la definición de las necesidades que dan origen al proyecto, la selección de tecnologías, consideración de normas y el diseño conceptual. El diseño, dividido en diseño preliminar y detallado, es la elaboración de información detallada para la construcción del sistema, usualmente expresada en diagramas. La implementación consiste en la transformación del diseño en producto. La operación es el uso y mantenimiento del resultado del proyecto. El mismo autor expone ejemplos en diversas ramas, y con respecto a la Ingeniería del Software sitúa las labores de codificación del software, prueba y validación en la implementación, área en la que el ingeniero tiene menos participación que el tecnólogo, y en donde es viable que también intervenga el técnico.

5. Consideraciones curriculares

Los mayores referentes curriculares en el campo de la computación son la *Association for Computer Machinery (ACM)* y el *Institute of Electric and Electronic Engineers (IEEE)*. Del trabajo conjunto de estas dos organizaciones emerge la propuesta del espacio de problemas en computación, que muestra la amplitud de este campo del conocimiento que se ha expandido durante 80 años, llegando a abarcar desde los aspectos relativos a la máquina en la parte inferior del plano, los relativos al software en la parte intermedia, hasta los aspectos organizacionales en la parte superior.

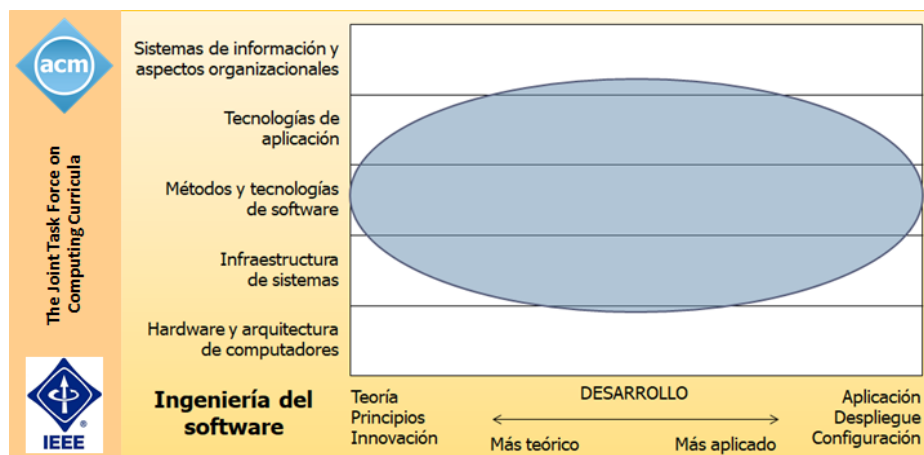


Figura 5. Ingeniería del Software en el espacio de problemas en computación.
Adaptado: Claustro de Docentes Ingeniería de Sistemas UDI. Fuente: [ACM & IEEE, 2005]

Dentro de este marco de referencia, el componente más influyente y de más larga tradición en el currículo de los programas afines a Ingeniería de Sistemas en Colombia es la Ingeniería del Software. Es también el campo de desempeño laboral más frecuente de los egresados.

La idea que se tiene del término *Programación de Computadores* parece haber quedado anclada al sentido que tenía hacia las décadas de los 70 y 80, relacionada con la capacidad de diseñar un algoritmo y codificarlo en un determinado lenguaje de programación. La mayor disponibilidad y la disminución de los costos de computación incluso han hecho posible saltarse el diseño y asumir la programación como una labor que se hace directamente sobre el teclado y en un entorno individual.

Contrario a esto, lo evidente ha sido que el software es una de las creaciones que mayor complejidad pueden llegar a tener, y con características intrínsecas que dificultan su abordaje: *“Las técnicas y los procesos de programación que funcionan de manera eficaz cuando los utiliza un individuo o un equipo pequeño para desarrollar programas de tamaño modesto no se adaptan bien al desarrollo de sistemas grandes y complejos”* [ACM & IEEE, 2014], por lo que en el espacio de problemas de computación, en cuanto a Ingeniería del Software, es necesario cubrir aspectos teóricos y metodológicos (de ingeniería), a pesar de la apariencia práctica y el ámbito individual en que se pudiera circunscribir la programación.

Pese a esto, y a que se anuncia con frecuencia la necesidad creciente de programadores a nivel mundial, el gobierno nacional ha respondido con proyectos de capacitación casi informal de los mismos, sin tener en cuenta que no se trata tan solo de una demanda numérica, sino también de una demanda cualificada que bien valdría la pena situar en el contexto de los niveles de formación supuestos para conformar verdaderos equipos de trabajo de ingeniería. Es justo decir, que este problema no es exclusivo de Colombia, sino que en general *“la disponibilidad de ingenieros de software calificados no ha seguido el ritmo de la demanda de la industria, por lo que los sistemas son diseñados y construidos por personas con formación o experiencia insuficientes”* [ACM & IEEE, 2014].

6. Reforma curricular

Con el interés de enfrentar esta problemática, el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Investigación y Desarrollo (UDI) fue sometido a una reforma curricular, con cuya implementación se consiguió posteriormente la acreditación de alta calidad. La reforma se basó en experiencias docentes y conclusiones de varios proyectos del grupo de investigación adscrito al programa académico, que habían aportado resultados favorables de experimentación con nuevos enfoques metodológicos para conseguir que, sin renunciar del todo a la experiencia de implementación y operación, los estudiantes del programa fueran expuestos a una rutina exigente en términos de la concepción y el diseño.

Uno de los cambios más notorios fue la transformación de los cursos tradicionales, genéricamente denominados Programación I, II y III, que tradicionalmente estaban ligados a lenguajes de programación específicos, cursos en los que la evidencia de aprendizaje aportada por los estudiantes usualmente era código fuente desde las primeras semanas. A partir de la reforma, los cursos se enfocaron en aspectos de arquitecturas y patrones de desarrollo de software, la incorporación de metodologías y buenas prácticas que antes estuvieron reservadas hasta los cursos posteriores, pero que antes resultaban extemporáneas dado que, hasta llegar a los cursos formales de Ingeniería del Software, ya se había permitido la consolidación de una visión individual y artesanal de la codificación, efectos muy difíciles de revertir.

A modo de ejemplo, en el curso de Programación I, que ya no se orienta por un lenguaje sino por el paradigma de Programación Orientada, la Arquitectura de 3 Capas y una metodología de prototipado evolutivo, el estudiante debe aportar evidencia acumulativa de las fases de concepción (análisis, formulación de un problema, formulación de requisitos del software) y de diseño (modelamiento mediante diagramas de dominio parcial, de dominio, de objetos, de clases y de secuencia). Solo hasta la parte final del curso se reciben las evidencias de la implementación (codificación del diseño en el lenguaje de programación seleccionado) que se evalúa no solo por la prueba de su funcionamiento, sino por su correspondencia íntegra con toda la documentación técnica precedente.

La reacción por parte de los estudiantes, que motivó el título de esta ponencia, fue inicialmente el rechazo de los aspectos formales de la disciplina, en especial el análisis, el rigor del diseño expresado en sucesivos diagramas de la estructura y del comportamiento del software. Ha costado un poco conseguir el tacto apropiado para cuestionar las expectativas de los aspirantes, de modo que se permitan explorar el terreno de los distintos niveles de responsabilidad que se esperan en un equipo de ingeniería, reconocerse a sí mismos como futuros ingenieros, no en un nivel superior ni inferior sino complementario con los técnicos y tecnólogos. En no pocos casos el efecto ha estado cercano a la deserción académica, algo a lo que el programa académico no se puede arriesgar. Ha sido difícil también para los docentes incorporados con posterioridad a la reforma, por cuanto les resulta extraño apartarse de la implementación y lanzarse a la concepción y diseño desde el primer curso de fundamentación.

7. Conclusión

Se siguen enfrentando dificultades, pero el cambio está en proceso, y se planea el siguiente paso: que la implementación quede a cargo de equipos distintos a los de concepción y de diseño, de modo que se resalte el valor de los diagramas como los artefactos de comunicación por excelencia entre técnicos, tecnólogos e ingenieros en el ciclo de vida del proyecto. El logro hasta el momento ha consistido en que los novatos, a menos de un año de ingresar al programa con el plan de estudios surgido de la reforma curricular, ahora sí quieren ser ingenieros. Ayudaría también, y esta ponencia es un esfuerzo en este sentido, empezar a hacer campaña en la educación media, el sector productivo y los usuarios de software, para promover la conciencia de que el avance de la computación en nuestro medio también depende de que se asuma el software como cosa de ingeniería.

8. Referencias

Libros

- Association for Computing Machinery ACM, & Institute of Electric and Electronic Engineers - Computer Society IEEE-CS. (2005). Computing Curricula 2005.
- Association for Computing Machinery ACM, & Institute of Electric and Electronic Engineers - Computer Society IEEE-CS. (2014). SE 2014: Curriculum guidelines for undergraduate degree programs in Software Engineering.
- Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. R., & Edström, K. (2007). Rethinking Engineering Education (2nd ed.). Springer.
- National Academy of Engineering. (2017). Engineering Technology Education in the United States (1st ed.; K. Frase, R. Latanision, & G. Pearson, Eds.).

Memorias de congresos

- Carroll, J. (2017). Replacing the hierarchy of engineering qualifications and roles. IEEE Global Engineering Education Conference EDUCON, pp. 557 – 563.

Fuentes electrónicas

- Ministerio de Educación Nacional. (2012). Fomento a la Educación Técnica y Tecnológica - Lecciones aprendidas. Consultado el 14 de marzo de 2022 en https://www.youtube.com/watch?v=RtWLK-M_Wh4
- Ministerio de Educación Nacional. (2013). Educación técnico profesional y tecnológica, una opción de calidad. Consultado el 14 de marzo de 2022 en <https://www.youtube.com/watch?v=iNxXiF3HAS0>



Sobre el autor

- **Ricardo Vicente Jaime Vivas:** Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, Magíster en Estudios Sociales de la Ciencia de la Universidad Nacional de Colombia. Docente asociado. ricardojaime@udi.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

