

Ingenieros Ingeniosos

Jorge Barón

Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Cuyo
Mendoza
Argentina
Email: jbaron@uncu.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo revisa el rol del ingeniero, precisamente desde la óptica del ingenio, analizando fundamentalmente las posibilidades y realidades de investigación en ingeniería, con sus particularidades y diferencias respecto de la investigación en ciencias puras y aplicadas.

Se analiza el aspecto multidisciplinario, interdisciplinario y transdisciplinario de la investigación en ingeniería en el mundo actual, y la transición de investigación aplicada a tecnología, es decir, a la realización de un producto o servicio que sea valorado por la sociedad. Este aspecto resulta de particular importancia en la Universidad Nacional de Cuyo, que es pública y gratuita.

Se analiza también el enfoque económico en la formación de los ingenieros, como un enfoque esencial para producir innovaciones viables en el mundo real. A la luz de este enfoque, se discute sobre el "juicio de pares" en la investigación en ingeniería, tanto desde el punto de vista académico clásico, como del punto de vista empresario.

Finalmente, se discuten algunas de las acciones iniciadas y propuestas para la formación de ingenieros *ingeniosos* en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, en base a los análisis realizados, y los resultados obtenidos hasta el presente.

Palabras claves: ingenio, investigación, formación en investigación

ABSTRACT

The present work includes a revision of the engineer's role, from the engine point of view, basically analyzing the possibilities and realities of the research in engineering, with its own peculiarities and differences in respect to research in pure and applied sciences.

The multi-disciplinary, inter-disciplinary, and trans-disciplinary aspects of the research in engineering are analyzed for the present world, and the transicion from applied research to tecnology, so to say, to the realization of a product of service which has a value to the society. This aspect is of utmost importance en our Universidad Nacional de Cuyo, which is public and therefore free of charge for the students.

The economic approach in the education of engineers is also analyzed, as an essencial focus to produce innovations which are possible to realize in the real world. Under this light, the pair review (pairs judgement) is discussed in research in engineering, both from the classic academic point of view, and from the business point of view.

Finally, some of the actions that have been initiated and proposed at the Facultad de Ingeniería of the Universidad Nacional de Cuyo are discussed. These actions are meant for the formation of *Ingenious* Engineers. The analyses performed so far, and the results obtained to present, are discussed.

Keywords: engine, research, research formation

1. INTRODUCCION

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la palabra ingenio proviene del latín *ingenium*, “facultad del hombre para discurrir o inventar con prontitud y facilidad”. Por supuesto, de ahí deriva también la palabra ingeniero, y como invención de los ingenieros, se llaman asimismo ingenios las fábricas, máquinas, etc. (en inglés, *engine*).

Se ve que aún etimológicamente la profesión del ingeniero tiene ese toque de *inventar*, o dicho de otro modo, de creatividad. Desde luego que un ingeniero investigador deberá ser un ingeniero inventivo, creativo. En general, entendemos al ingeniero como alguien que sabe encarar problemas, y solucionarlos.

Lo cierto es que nos hacen falta *ingenieros con ingenio*, personas capaces de encontrar soluciones novedosas a problemas nuevos o viejos, y soluciones mejores en todo sentido (técnico y económico). Como ejemplo, podríamos decir que ante un problema como la necesidad de sacar agua de un pozo, un ingenioso inventó el tornillo (hoy le llamaríamos bomba de tornillo, en la jerga es el tornillo de Arquímedes). Con esa invención logró solucionar un problema de su momento. En realidad el problema tenía solución previa (balde y cuerda) pero su solución innovadora fue mucho más eficiente.

Muchos años después, otro ingenioso se basó en ese tornillo y se le ocurrió que podría servir para más cosas, si “enroscaba” el agua, podría enroscar otros elementos, y así nació el tornillo para madera, y algo mucho más creativo, el tornillo que se enroscaba en el aire (el helicóptero).

Luego de otro montón de años, un tercer ingenioso quiso mejorar el proceso de atornillar maderas o placas en general, que requería dos operaciones: una para hacer el agujero, otra para aplicar el tornillo. Se le ocurrió modificar el tornillo, de modo que pudiese hacer las dos operaciones en una, nació así el tornillo autotrajante.

Entonces vemos básicamente tres áreas donde *cabe* la investigación en ingeniería, siempre pensando en solucionar problemas:

- a) encontrando soluciones originales (novedosas) para un problema existente
- b) aplicando soluciones existentes a otros problemas. Esto lo entendemos como una extrapolación
- c) mejorando (optimizando) soluciones ya existentes. Aquí entra el enfoque económico que discutiremos más adelante

2. INVESTIGACIÓN NECESARIAMENTE APLICADA

Por la naturaleza del proceso de investigación en ingeniería, es claro que cualquier proyecto de investigación debe estar orientado a una aplicación. En este sentido, la investigación *pura* no existe en ingeniería.

Se entiende como investigación pura aquella que busca el saber por el saber en sí, y existe típicamente en otras disciplinas, como la Física, la Historia o la Biología. Si bien es cierto que cualquier investigación pura tiene el potencial de transformarse en aplicada, ese potencial no necesita ser explícito en esas disciplinas. En ingeniería, en cambio, la aplicación (aunque potencial) debe existir y estar claramente identificada. Este hecho es relevante también para el enfoque económico que discutiremos más adelante.

La investigación en ingeniería, desde su génesis (solución de problemas) tiene la aplicación ya previamente definida, pero esto no quiere decir que siempre el proceso de investigación vaya en esa dirección (primero el problema, luego la solución). Ya vimos que, a veces, la investigación consiste en aplicar la misma solución a un problema diferente, y en muchos casos los investigadores encuentran algo útil.

Como ejemplo consideremos las aleaciones martensíticas, son aleaciones metálicas que tienen “memoria de forma” que depende de la temperatura. Dicho en otros términos, si uno construye una chapita con esta aleación a alta temperatura y la enfría adecuadamente, tendrá memoria de forma. Es decir, si ahora la doblamos a baja temperatura, permanecerá doblada, pero si la temperatura sube, volverá a enderezarse. Este fue un campo de investigación de la Metalurgia durante mucho tiempo.

Una vez que esas aleaciones empezaron a ser conocidas, los ingeniosos empezaron a encontrarle nuevas aplicaciones, por ejemplo, ponerla en la tapita de un yogurt para asegurar que en ningún momento se interrumpa la “cadena de frío”.

En este caso, el problema es el de garantizar la cadena de frío, y una solución novedosa aparece desde un campo inesperado.

La investigación en Ingeniería, además de ser aplicada, intenta ir un paso más allá, o sea pasar a la innovación tecnológica. La distinción entre investigación aplicada e innovación tecnológica no es trivial, e incorpora la transformación de la innovación en un producto, en algo que tiene valor comercial, que se puede vender.

Como ejemplo, podríamos citar la invención de la *bakelita*, que según parece fue una investigación aplicada a resolver un problema: las bolas de billar eran de marfil, muy costosas y relativamente frágiles. Un ingenioso se dedicó a manipular elementos químicos hasta llegar a ese material. Luego se le vieron otras posibles aplicaciones, porque además era aislante eléctrico, y un tecnólogo diseñó y puso en marcha una cadena de fabricación de teclas de luz, que comercializó con éxito (en esa época se hacían de porcelana, más cara y menos dúctil que la bakelita).

Quizá un ejemplo mejor es el de la industria del automóvil. A comienzos del siglo 20 existían varios fabricantes de automóviles, todos innovadores, ingeniosos, que creaban y construían vehículos de manera artesanal, con un elevadísimo costo. A un ingenioso se le ocurrió una innovación tecnológica: dado que un automóvil tiene muchas partes, pongamos una línea de gente y equipos a fabricar parte por parte, y luego ensamblamos esa parte con la previa. Nació así la línea de montaje, y con ella la fabricación en serie. Mediante esa innovación tecnológica Henry Ford revolucionó la industria del automóvil en el mundo. Por supuesto, el ejemplo se aplicó luego a un sinnúmero de productos.

3. EL ENFOQUE ECONÓMICO

Ingeniosos hay en todas las profesiones; puede haber un abogado ingenioso, un médico ingenioso, un humorista ingenioso, hasta un político ingenioso (aunque en general no parece ser así). Entonces la pregunta es, ¿qué tiene de distinto un ingeniero ingenioso?

Un aspecto fundamental de la Ingeniería, y de la investigación en Ingeniería, viene dado en la formación del ingeniero en sí. Durante toda su formación el ingeniero aprende que tiene que manejarse en el mundo real, con recursos escasos, con escenarios cambiantes, con fondos limitados. Es el enfoque económico de la ingeniería, que es inherente a la ingeniería en sí. Dicho en otros términos, no se concibe un ingeniero en un mundo sin limitaciones.

En ese mundo de limitaciones, el ingeniero es formado para *crear riqueza*. Este concepto es fundamental, y se ve mucho mejor con un par ejemplos.

Un ingeniero civil, toma cemento, hierro, ladrillos, maderas, vidrios, tejas, etc, y con su ingenio diseña y construye una casa. Está claro que la casa tiene más valor que el conjunto de los materiales que la forman.

Un ingeniero electrónico toma algunos chips, transistores, resistencias, teclas, plásticos, algunas láminas de metal, y crea una computadora. Está claro que la computadora vale mucho más que los componentes que la forman.

En realidad, el concepto de creación de riqueza en general no está explicitado en la mayoría de los casos, pero está implícito en todos ellos. Cuando un ingeniero encara un proyecto, siempre tiene en cuenta que lo que se produce debe valer más que lo que se consumió. Esto no quiere decir que siempre se tenga éxito, y desde luego hay muchos proyectos que fracasan desde el punto de vista económico.

El ingeniero investigador no es ajeno a esta formación y a esta concepción, y como consecuencia sus investigaciones siempre tienen enmarcado el enfoque económico. En otras palabras, las investigaciones en Ingeniería tienen, como componente esencial, la optimización en el uso de los recursos (maximización de utilidades netas).

Es llamativo que los países que han logrado despegues económicos importantes (como el caso de Korea del Sur) tienen en sus cuadros dirigentes (presidentes, ministros) a muchos ingenieros. Si un país dirige sus destinos pensando en producir riqueza, a partir de recursos siempre escasos, tiene grandes posibilidades de transformarse en país rico. Si un país dirige sus destinos pensando en la mediación de conflictos (enfoque de los abogados) también están claras sus posibilidades.

En concreto, el enfoque económico está inserto en la investigación en Ingeniería, y aún más dado que entendemos que la investigación en Ingeniería no puede quedarse en ser simplemente aplicada, sino que debe tender al desarrollo tecnológico. En este contexto, la investigación más valiosa en Ingeniería sería entonces aquella que produzca el mayor valor agregado al producto tecnológico que genera. Como ejemplo extremo, el valor agregado que tiene el *software* (como producto tecnológico comercializable) es enorme, ya que su insumo son solamente las ideas de quien lo desarrolla.

Como contraejemplo, digamos que no tiene el mismo valor producir *acero* que producir *caramelos*, a pesar de lo que opinaron algunos mandatarios argentinos.

Si la Argentina exporta azúcar, eso implica un cierto valor agregado. Si exporta caramelos, implica un valor agregado mayor. Si exporta máquinas para fabricar caramelos, ese valor agregado es aún mayor. Y si exporta el *software* de control de las máquinas de fabricar caramelos, el valor agregado es todavía mayor. El ingeniero innovador (tecnólogo) tiene en mente ese tipo de escala de valores.

4. EL RIGOR CIENTÍFICO Y EL JUICIO DE LOS PARES

Cualquier investigación (y la investigación en Ingeniería no es la excepción) debe realizarse con rigor científico, y su validez (originalidad y valor) se valida, normalmente, con el juicio de los pares, a través de publicaciones en revistas, libros, congresos o jornadas. Este es el mecanismo clásico de contralor, donde los referentes en cada disciplina, opinan y validan la investigación en esa disciplina.

Sin embargo, el enfoque económico, y el desarrollo tecnológico asociado, lleva también aparejado el hecho de que muchas innovaciones en Ingeniería son objetos de patentes, secretos industriales y reservas por las entidades que financian la investigación. Debido a esta causa, muchas veces los resultados de su investigación no son publicables, o al menos no son publicables íntegramente.

Este hecho, que de algún modo limita el juicio de los pares en el sentido clásico, en realidad está sometiendo la investigación en ingeniería a otros pares, posiblemente todavía más exigentes, que son los encargados de velar por los fondos utilizados. Concretamente, si una empresa financia cierta investigación que implica un desarrollo tecnológico, será muy exigente en cuanto al rigor de esa investigación, la calidad de los resultados y el valor que ellos tengan. Dicho claramente, nadie regala plata.

En muchos países, la capacidad de un investigador de captar fondos para sus investigaciones, son un mérito importantísimo a la hora de evaluar integralmente a esa persona. En la Argentina, hasta el presente se ha dado en general mucho peso a la publicación, y escaso peso a la producción con transferencia a empresas, y aunque esa situación está cambiando, posiblemente el cambio será lento.

Esto hace que haya excelentes investigadores-tecnólogos en nuestro medio, que realmente contribuyen de manera significativa al desarrollo nacional, y que no son reconocidos por sus pares.

5. MULTIDISCIPLINARIO, INTERDISCIPLINARIO, TRANSDISCIPLINARIO

El origen de la investigación en Ingeniería, la solución de problemas, no está limitada a las ciencias exactas y naturales, sino que abarca en casi ilimitado abanico de áreas de aplicación. Como problemas hay en todas las disciplinas, entre las diversas disciplinas, y muchas veces las soluciones se extrapolan de unas disciplinas a otras, podemos decir que el enfoque de la investigación en Ingeniería es multidisciplinario, interdisciplinario y a veces transdisciplinario.

Pongamos algunos ejemplos: si un ingeniero investigador está desarrollando un nuevo proceso tecnológico, además de las disciplinas propias del producto que desea lograr (física, química, matemática, termodinámica, fluidodinámica, etc.) tiene que contemplar el enfoque económico y la penetración en el mercado (disciplinas de las ciencias económicas), hacerlo en un entorno de trabajo que maximice la productividad (disciplina de las ciencias sociales, psicología, ergonomía), cumpliendo con requisitos de seguridad industrial (disciplina de las ciencias médicas), dentro de un marco legal (disciplina de las ciencias legales), etc. El contexto multidisciplinario e interdisciplinario es pues, común a la mayoría de los desarrollos tecnológicos que llegan adelante los ingenieros investigadores.

También existen muchos ejemplos donde los desarrollos en ciertas disciplinas son tomados por los tecnólogos y aplicados a áreas diferentes. Esta extrapolación en muchos casos es transdisciplinaria. Como ejemplo se puede citar la transferencia de modelos probabilísticos (Montecarlo, Markov) inicialmente propuestos para explicar fenómenos físicos, hacia empresas dedicadas al manejo de stocks y cotizaciones en bolsa. También es interesante la extrapolación de modelos genéticos (basados en la teoría de Darwin) desde las ciencias médicas, a la resolución de problemas tales como el trazado óptimo de un gasoducto en la selva, o la forma óptima de una torre de alta tensión.

Esta multiplicidad de posibles aplicaciones tecnológicas hacen que la investigación en Ingeniería sea muy *rica*, en el sentido que no está limitada a una sola disciplina, sino por el contrario, toma elementos de diversas disciplinas, los mezcla, los prioriza, los aplica a disciplinas nuevas, y trata todo el conjunto en un contexto real, con recursos limitados. Es lo más cercano que uno puede imaginar a un desarrollo integral.

El investigador ingeniero en general tendrá, a lo largo de su carrera, una innumerable cantidad de ideas con posible aplicación, y desarrollará aquellas que impliquen un avance tecnológico técnica y económicamente viable. Desde luego que podrá trabajar para una empresa de medicamentos, para una empresa agrícola, para una empresa de recursos humanos, para entidades con fines sociales, en fin, casi para cualquier actividad humana. Los campos de desarrollo de la investigación en ingeniería y su correlato en aplicaciones tecnológicas son casi ilimitados. Por supuesto, se incluye la investigación en ingeniería desde la Universidad.

6. INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DESDE LA UNIVERSIDAD

La Universidad constituye un ámbito muy apropiado para la investigación, y hoy se contempla que las actividades de un universitario deben ser de tres tipos: de docencia y formación de recursos humanos, de investigación, y de transferencia. No todos los docentes son investigadores, ni todos están involucrados en transferencia, pero las disciplinas de la Ingeniería en particular, brindan un marco para el desarrollo de estas tres actividades desde la Universidad.

Ahora bien, cuando hablamos de Ingenierías dentro de Universidades Públicas, la realización de esas tres actividades cobra mayor importancia. Es un esquema muy deseable que el ingeniero investigador

forme nuevos recursos humanos, investigue soluciones novedosas a problemas diversos, y transfiera los resultados de las investigaciones a entidades del medio y empresas, ya que la sociedad en conjunto es la que sustenta a la misma Universidad Pública, en Argentina. En este sentido, dado que la sociedad financia el funcionamiento del sistema universitario público, está claro que debe recibir en retorno una *producción de riqueza*, y en ese contexto los ingenieros ingeniosos tienen su rol definido.

De las tres actividades del profesional en la Universidad, la de la transferencia resulta la más compleja, sobre todo porque implica interactuar con otras disciplinas, en otros esquemas de tiempos, compromisos y cumplimientos, dentro de esquemas planificados y muy estructurados, y hasta hablando en una terminología que muchas veces no es académica, sino propia del mundo de los negocios. En Ingeniería, esta actividad es la equivalente al desarrollo tecnológico, en el sentido que se pasa de una idea, plasmada a través de un prototipo, a un producto con valor comercial. Es decir, que el investigador ingeniero en la Universidad pública, no sólo debe ser capaz de enseñar e investigar, sino también de gestionar la transferencia e interactuar con empresas y otras instituciones de la sociedad. Concretamente, un investigador ingeniero no puede estar *encerrado* en la Universidad.

7. ACCIONES EN MARCHA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

La Universidad Nacional de Cuyo (Argentina) y en particular la Facultad de Ingeniería, han sido objeto de varias evaluaciones internas y externas, dentro de las pautas de la CONEAU (Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria). Entre las recomendaciones efectuadas por la CONEAU, aparece como recurrente la de incentivar la investigación entre los estudiantes de Ingeniería.

Este incentivo es difícil de lograr, a menos que se produzcan cambios estructurales en los Planes de Estudio, de manera de que la actividad de investigación sea reconocida desde el punto de vista académico. Se ha observado que el simple mérito de participar en un Proyecto, o de publicar resultados en un Congreso, no es suficiente para lograr una mejora significativa en la cantidad de estudiantes que realizan tareas de investigación.

En base a estas recomendaciones, se han introducido mejoras en los Planes de Estudio, de aplicación reciente, por las cuales se reconoce como actividad curricular la investigación. Es equivalente a una materia optativa de 120 horas de duración, y está concebida como una “pasantía” dentro de un proyecto de investigación acreditado y vigente.

Esta materia se encuentra implementada en dos de las cuatro Carreras que dicta la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, tiene un reglamento propio y un Profesor a cargo. Desde el punto de vista operativo, el alumno debe elegir un Proyecto donde insertarse, para lo cual tiene que contar con el acuerdo del Director de ese Proyecto. Juntos deben elaborar un plan de tareas para el alumno, durante un año, en el cual deberá realizar las tareas previstas, con una dedicación no menor a 120 horas en todo el año.

Además, se incluyen en la Materia “Investigación en Ingeniería” la realización de dos talleres metodológicos, de 9 horas cada uno, donde los alumnos reciben la necesaria formación metodológica y epistemológica para poder llevar adelante su plan de tareas.

La evaluación de esta Materia se hace a través de un informe técnico que debe elaborar el alumno, y ser aprobado por su Director de Proyecto y luego por el Profesor de la Materia. No tiene examen y por ello la aprobación es en el régimen de “promocional”.

8. A MODO DE CONCLUSIÓN

Es indiscutible la necesidad de formar, no solamente ingenieros, sino también ingenieros que innoven, y que finalmente generen nuevos conocimientos. Ahora bien, la iniciación en la investigación no es sencilla, y en la Universidad de Cuyo se ha encarado un proyecto académico innovador en este sentido.

No se dispone todavía de resultados o conclusiones, pero claramente resulta valioso contar con una herramienta académica de incentivo. Al presente, un 15% de los alumnos en condiciones de optar por esta opción, lo han hecho, siendo 2008 el primer año de inscripción.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editors no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.