

ESTUDIOS DE POSGRADO EN INGENIERÍA

Carlos Aguirre*

* Director del Departamento de Obras Civiles de la Universidad Técnica Federico Santa María.

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis de los posgrados en Ingeniería en Chile, planteando algunas ideas sobre cómo orientar dichos estudios a futuro. Las propuestas se basan en la hipótesis de que esta es una profesión destinada a buscar soluciones a grandes problemas de la sociedad, tarea que requiere de una aplicación creativa e innovadora de los conocimientos teóricos.

Para llevar a cabo dicha misión, la Ingeniería y sus programas de estudio deben desarrollar varios aspectos que en la actualidad carecen del espacio necesario, como lograr un equilibrio armónico entre ciencia y profesión, fomentar la creatividad en los alumnos y acercarse al enfoque multidisciplinario. De esta manera, se establecería un intercambio con otras áreas del saber de aportes tendientes a mejorar el entorno del ser humano.

ABSTRACT

This paper analyzes post-graduate studies in engineering in Chile and proposes some ideas on how to orient such studies in future. The proposals are based on the hypothesis that engineering is a profession meant to search for solutions to society's major problems, a task that calls for a creative and innovative approach based on theoretical knowledge.

To carry out this mission, engineering and its postgraduate programs need to develop several aspects which currently lack the necessary space. These include achieving a harmonious balance between science and the profession, encouraging creativity among the students and moving toward a multidisciplinary approach, exchanging contributions with other areas of human knowledge with a view to improving the human environment, and the like.

ESTUDIOS DE POSGRADO EN INGENIERÍA

Desde que se popularizara la imprenta en el siglo quince, hoy, el mero hecho de entregar información, no justifica la existencia de una universidad.

A. N. Whitehead¹

POSGRADOS E INVESTIGACIÓN

La frase de Alfred North Whitehead, escrita hace algo más de cuarenta años, cobra una fuerte vigencia por la globalización y la consiguiente facilidad para obtener información que brindan internet y todos los elementos multimediales que se comercializan y distribuyen en el día de hoy. De alguna manera, pareciera que las condiciones del mundo actual han terminado con el monopolio que en el pasado tuvieron las universidades, tanto en la entrega de conocimientos como en la formación de profesionales.

En este contexto, una escuela de ingeniería que solamente entrega información resulta un desperdicio costoso. Toda universidad que desee mantener un liderazgo en ingeniería está implícitamente comprometida situarse a la avanzada de la tecnología.

La investigación es una forma de respuesta a este compromiso y se desarrolla a través de una relación natural con los estudios de posgrado o lo que podría llamarse los estudios después del título. Esta denominación, lo único que pretende es enfatizar la cada vez mayor necesidad de ir más allá en la educación superior, sin quedarse en la idea equivocada de que esta etapa termina con el título de Ingeniero Civil. En realidad, el título es solo el principio del camino, una

1. Whitehead, A. N. *The aims of Educations and Other Essays*. Macmillan, 1959. Pp. 138-139.

apasionante ruta, con las satisfacciones y fracasos propios del avanzar. Los posgrados, en la forma básica en que hoy los conocemos, tanto el Master of Science (M. Sc.) como el Philosophy Doctor (Ph. D.), son un producto estadounidense de fines del siglo XIX, y representan la forma de encarar ese nivel de estudios en aquella sociedad. Según Pettit Joseph², el primer Ph. D. en Ingeniería se graduó en 1863 en la Universidad de Yale, mientras que el primer M. Sc. lo hizo en 1879, en el Iowa State College. Se necesitó más de un cuarto de siglo desde esos inicios para que la producción anual de posgraduados en el país del norte superara los diez doctores y los quinientos máster. El aumento más significativo en el número de posgraduados ocurrió como consecuencia de la II Guerra Mundial, que detonó nuevas y mayores necesidades de investigación. En los años setenta se estimaba que, en Estados Unidos, uno de cada tres bachilleres en ingeniería continuaba la maestría y uno de cada siete cursaba el doctorado³.

Chile, en ese sentido, ha seguido los pasos de Estados Unidos, lo cual no parece extraño si se considera la cantidad de académicos chilenos que han realizado sus estudios de posgrado en las universidades de esa nación. Muchos de ellos, además, han desempeñado un rol relevante en la educación en ingeniería, especialmente en las universidades de más tradición. Esta adopción no planificada de un sistema foráneo ha traído inevitablemente consigo a la educación superior chilena las ventajas e inconvenientes propios de la modalidad transplantada.

En este análisis es necesario no perder de vista que la ingeniería es básicamente una profesión orientada al diseño o, dicho de otra manera, una aplicación juiciosa del conocimiento para mejorar el entorno del ser humano. Esta profesión es un arte de acción y síntesis, no un simple cuerpo de conocimientos, y en su más alta expresión responde al llamado de crear e innovar. La ingeniería es una especialidad que se retroalimenta de las actitudes profesionales, de las habilidades y necesidades de diseño, lo que es difícil de encarar en la

2. Pettit, Joseph M.; Gere, James M. "Evolution of Graduate Education in Engineering". *Journal of Engineering Education*, Vol. 54, N° 2, Oct. 1963.

3. Burr, A. A. "Graduate Education in Engineering", *The Britannica Review of Developments in Engineering Education*. Encyclopedia Britannica Inc., Chicago, 1970. p. 52.

educación, mientras que sus necesidades de crecer resultan aún más difíciles de lograr.

INCONVENIENTES DEL MODELO

Si se revisa la experiencia de Estados Unidos en el campo de los posgrados, vemos que ese país ya en la década de los sesenta⁴ señalaba, entre las falencias del modelo, la brecha que se había creado entre los pregrados, posgrados y la ingeniería práctica. Según Daniel V. de Simone⁵, en ese entonces resultaba una paradoja en la formación de los doctorados en filosofía que, aun cuando la mayor valla a superar era el trabajo de investigación, se hubiese perdido la perspectiva del amplio sentido que el grado de Doctor en Filosofía pareciera implicar, siendo que ambos objetivos no debieran ser incompatibles. En su análisis de los posgrados en Estados Unidos, este autor encontró que en muy pocas oportunidades las tesis de doctorado en ingeniería tenían relación con el diseño creativo. La gran mayoría de ellas correspondían a presentaciones abstractas, analíticas, orientadas a aspectos más bien científicos que de ingeniería.

Para De Simone, es aceptable que los candidatos a un Ph. D. en ciencias no manifiesten interés por la aplicación de nuevos conocimientos para la solución de problemas prácticos. Sin embargo, considera desconcertante que la mayoría de los candidatos a un Ph. D. en ingeniería exhiban la misma despreocupación. Según él, era una tarea imposible encontrar tesis doctorales orientadas a resolver problemas como la contaminación y el transporte urbano, o más simple aún, a la satisfacción de una necesidad industrial. Todo lo que existía, en cambio, eran monótonas disertaciones alejadas de la realidad. Y la pregunta se mantiene válida: “Si quienes están en la avanzada de la ingeniería, al igual que los científicos, son educados en un entorno que desdeña las aplicaciones prácticas de la ciencia, entonces, ¿a quién recurrirá la sociedad para la solución de sus problemas?”⁶. La interrogante deja una profunda sensación de que la educación en

4. L. B. Holland Editors, “*Who Designs America*”. Doubleday: New York, 1966. p. 324.

5. De Simone, D. V. “*Education for Innovation*”. (Pergamon Press, 1968). p. 12.

6. Hollomon Herbert, J. “*Creative Engineering and the Needs of Society, Education for Innovation*”. London: Pergamon Press, 1968. p. 23.

ingeniería ha perdido creatividad para transformarse en una disciplina científica, que olvida su misión de aportar soluciones a la sociedad.

Las aseveraciones de D. V. de Simone no son triviales y ponen una luz de alerta sobre estos temas, que deberían considerarse al importar modelos a nuestra realidad.

Un ejemplo de lo anterior está presente en la formación básica de ingeniería, donde las matemáticas son una herramienta imprescindible. Debido a la rigurosidad de su método, los profesores acostumbran al estudiante a formulaciones en las cuales, frecuentemente, interesa saber si la solución existe y después de esto si la solución es única. A diferencia de este planteamiento, el ingeniero, en su vocación de mejorar el entorno, debe enfrentarse cotidianamente a problemas que tienen, la mayoría de las veces, varias soluciones y consecuentemente varios resultados óptimos. La transición de las matemáticas a la profesión aconseja dar al estudiante la oportunidad de comportarse como un ingeniero⁷, aspecto tanto o más importante para esta profesión como la enseñanza de las ciencias. Cuando el acento se desplaza hacia las ciencias, ello inevitablemente se traduce en una pérdida de calidad de la enseñanza de la ingeniería en la formación universitaria. Se tiende a traer a las facultades a los académicos con los más altos grados, por ejemplo doctorados de tipo científico, pero a menudo con poca o ninguna experiencia en ingeniería. Esto puede conducir a una situación en la cual demasiada ingeniería sea enseñada por no ingenieros, en parte porque las señales del sistema educacional chileno orientan los patrones de medición y evaluación universitaria en esa dirección.

Esta afirmación de ninguna manera pretende revertir un proceso bien encaminado en muchos aspectos, más bien apunta a establecer la necesidad de un equilibrio entre ciencia e ingeniería. Es indiscutible que la investigación científica es para la universidad esencial e irrenunciable, lo mismo es válido para la profesión y las señales de la academia deberían reflejar este balance en el sistema universitario. Si se traslada el centro de gravedad del sistema universitario hacia la investigación científica, la experiencia profesional de los académicos

7. *The Process of Education*. Harvard University Press, 1960. p. 14.

pierde importancia o no cuenta. El resultado es una universidad abundante en investigadores y escasa en ingenieros, salvo aquellos casos de académicos que pueden ejercer simultáneamente ambas labores. Parece necesario, en este balance, al momento de incorporar nuevos académicos a las universidades, tener un criterio que dosifique el ingreso a las escuelas de ingeniería de manera de producir un equilibrio armónico entre quienes enseñan la profesión y quienes enseñan las ciencias de la ingeniería. Lo anterior equivale a aceptar que la materialización de un proyecto de ingeniería es de tanto valor como una publicación científica en una revista seriada. Es probable que quien haya desempeñado solo una de las funciones, sea la de investigador o la de ingeniero, asigne mayor relevancia a la actividad que conoce mejor, mientras que quien haya tenido la posibilidad de ejercer ambas funciones, seguramente entenderá la necesidad de lograr este balance.

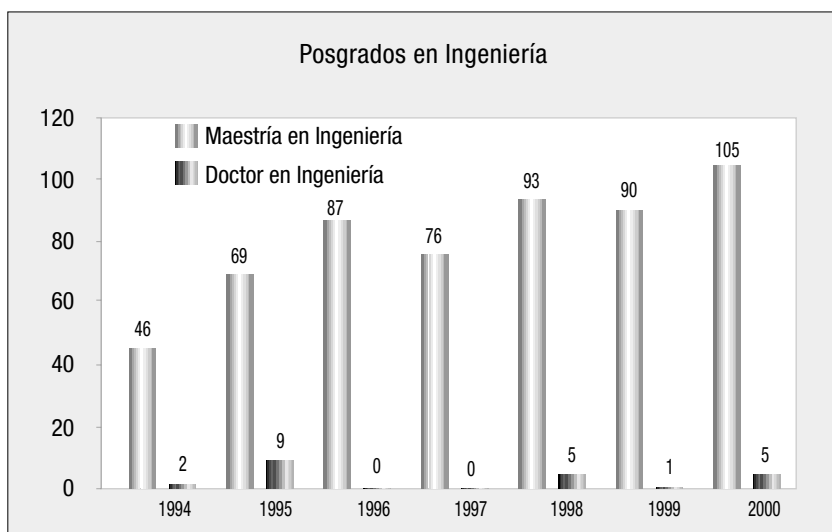
LOS POSGRADOS EN CHILE

Las universidades que tienen programas de posgrado, sean de maestría o de doctorado, de alguna manera obedecen al postulado enunciado en la primera parte de este trabajo, en el sentido de responder en su más alta expresión al llamado de crear e innovar. De esta manera la academia pretende estar en la avanzada del conocimiento.

Al instante de adoptar el modelo de Estados Unidos, es necesario tener presente que para obtener el M. Sc. en ese país se requiere unos dos años de estudios después de haber logrado el grado de Bachelor, que es un programa de cuatro años. Es decir, la extensión total de los estudios es de seis años, equivalente a la duración de las carreras de ingeniería civil en Chile, y los programas también son similares en intensidad. En ese sentido la maestría, como un programa posterior al título de Ingeniero Civil, es un camino demasiado largo y no parece una buena adaptación del sistema norteamericano.

En la Figura N° 1 se muestra la cantidad de posgraduados en ingeniería en Chile en el período 1994-2000. Se puede apreciar que el énfasis está en las maestrías, mientras que los doctorados representan una fracción casi despreciable del universo de los posgraduados.

Figura 1
Posgraduados en Ingeniería



Fuente: DGIP-UTFSM⁸

Esto tampoco debería sorprender, puesto que los estudios de doctorado los siguen mayoritariamente académicos o ingenieros que quieren dedicarse a la universidad. Para ellos siempre será de mayor interés un doctorado en una universidad extranjera, que se encuentre en la frontera de su disciplina. Incluso en la eventualidad de que alguna universidad chilena esté en esa posición privilegiada, aún será menos atractiva a la hora de decidir, pues hay otros elementos a considerar, como contactos, facilidades de acceso a la información, apoyo para publicar e incluso instalaciones que no existen en Chile. Esto dificulta la consecución de alumnos para los programas de doctorado en ingeniería que son impartidos en universidades nacionales; tal vez se requiere de un mayor tiempo de maduración y desarrollo para que dichos programas puedan entrar en competencia.

Sin embargo, para ofrecer posgrados se requiere de a lo menos tres condiciones: un cuerpo académico idóneo, buenos estudiantes

8. Dirección de Investigación y Postgrado. "Actividades de Investigación Período 1994-2001". Universidad Técnica Federico Santa María.

que deseen proseguir su preparación y recursos para financiar los programas y la investigación que esos programas sustentan. Estas condiciones se dan cuando las universidades alcanzan un grado de maduración tal que sus cuerpos académicos son capaces de preparar buenos alumnos, conseguir fondos concursables para la investigación y a la vez generar grupos de trabajo aptos para llevar a cabo con éxito dichos proyectos.

En la mayoría de los casos el sistema educacional está tan estructurado que termina ahogando la creatividad y reduciendo con ello las posibilidades de crecimiento de este arte-profesión. Se ha estudiado cómo dotar de este atributo a los ingenieros y se han realizado muchos análisis en busca de entender qué es lo que detona las habilidades mencionadas. No obstante, aún no se llega a una metodología de enseñanza acorde con estos requerimientos. Parece necesaria una enseñanza estructurada, pero ella atenta contra la creatividad y, recíprocamente, si se desea estimular la creatividad, debe en alguna forma romperse con la estructura de la enseñanza.

La investigación original y con ella la posibilidad de patentar –objetivos universitarios no necesariamente explícitos– está asociada a la capacidad de crear e inventar. Este es un tema recurrente en educación en ingeniería, sobre el cual se han escrito numerosos artículos. Lo cierto es que dichos atributos requieren de habilidades difíciles de conseguir en la educación actual, pues se deben desarrollar desde el pregrado e incluso antes. Un ejemplo típico es la forma de calificar al estudiante, que por lo general se limita a medir la fidelidad con la que él puede reproducir la información absorbida de sus clases y lectura de textos, dejando de lado todo lo que es inventivo e innovador. Lo óptimo, para la mayoría de los profesores, es una reproducción fiel de lo que ha sido preparado y ensamblado para el alumno. Los individuos creativos resultan así oprimidos por este régimen y, como resultado, el mundo real de invención e innovación termina siendo extraño para ellos.

LA INFLUENCIA DE LAS UNIVERSIDADES PRIVADAS

Con el crecimiento del número de universidades, ha aumentado la oferta de estudios en ingeniería, y el país ha debido generar un sistema de calidad –también importado– como es la acreditación de las carreras. El procedimiento aplicado en Estados Unidos por Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET), prácticamente sin diferencias esenciales en el modelo, se está utilizando en varias universidades chilenas. En el modelo estadounidense, es decisión libre de cada universidad el acreditar sus carreras, y en el caso chileno pareciera mantenerse esa idea; sin embargo, aún no aparece totalmente definido si la acreditación está asociada con la distribución de recursos. De implementarse en el modelo chileno esta premisa, se produciría una discriminación entre las universidades acreditadas y las que no lo estén, aumentando las diferencias.

Se ha conseguido mejorar la calidad de los grados que se otorgan en ingeniería mediante fondos concursables, tales como el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF), el Programa de Mejoramiento de la Calidad de la Educación Superior (MECESUP), entre otros, que buscan estimular ciertas funciones de las universidades como la investigación, el desarrollo y la calidad de la educación. Esta es una buena opción, y se ha aplicado poniendo un fuerte énfasis en los resultados esperados, con el requisito de que se den a conocer los logros de las iniciativas. En el caso de proyectos de investigación, se exige realizar publicaciones en revistas científicas de calidad garantizada, requisitos que han tenido una acogida inmediata en los académicos cuya labor está asociada a las ciencias, donde es más frecuente este tipo de publicaciones. Además, la política central de las escuelas de ingeniería ha orientado los recursos y esfuerzos en esa dirección, con lo que mejora el nivel de las colaboraciones en revistas foráneas, y los académicos de más jerarquía centran sus esfuerzos en publicar. Sin embargo, no queda claro que el impulso a las publicaciones mejore sustancialmente la educación de los ingenieros.

Es sabido que cualquier expansión o masificación de los estudios de posgrado necesariamente conlleva un aumento en la necesidad de

los recursos, destinados a ayudantías de investigación, fondos concursables y otros gastos. La importancia de contar con recursos para desarrollar programas de posgrado queda en evidencia al observar las estadísticas de países más desarrollados como Estados Unidos y Japón, donde el crecimiento de tales programas ha traído asociados aumentos importantes de financiamiento.

EL RUMBO DE LOS POSGRADOS

En algunas universidades de Estados Unidos se suele hacer la distinción entre posgrados con y sin tesis. Se habla de *Master of Science* en el primer caso y de *Master in Engineering* en el segundo, modalidad cercana esta última a los denominados postítulos. En aquellos estudios que requieren una tesis, el énfasis está en el trabajo de investigación; mientras que en los sin tesis, el acento se encuentra en las asignaturas o talleres que se debe cursar. La tesis es especialmente importante para aquellas personas que estén optando por el camino académico. Los estudios sin tesis están orientados a quienes tengan interés por profundizar en su especialidad, por lo cual se requiere de un trabajo docente interactivo, con seminarios dictados por profesionales de experiencia y talleres que recreen la problemática a la cual se enfrentará el egresado.

Entre ambos grupos, son más aquellos alumnos que continúan estudios de posgrado sin tesis, por lo que resulta más factible financiar programas de este tipo en ingeniería, especialmente si se facilita que la empresa empleadora pague el costo de esos estudios, directamente o vía exención tributaria. En algunas universidades estos programas reportan pocos beneficios a los académicos, quienes tienden, por lo tanto, a las labores universitarias más rentables como la investigación, la docencia y las asesorías especializadas. De esta manera, las necesidades educacionales del profesional no siempre son adecuadamente resueltas por los establecimientos de educación superior y se pierde una interacción rica con los alumnos. Afortunadamente, esta situación pareciera estar cambiando.

Los postítulos son un aspecto más de lo que se denomina enseñanza continua, y nacen como una necesidad profesional directamente derivada de la obsolescencia de teorías, conceptos o

técnicas, que resultan menos efectivas para atacar ciertos problemas que aquellas surgidas en un campo dado de especialización. De allí la gran demanda por esta enseñanza, lo que ha llevado a muchos institutos, consultoras y sociedades profesionales a apoyar la búsqueda de respuestas a estas necesidades, incluso con más énfasis e interés que las universidades.

Como ya se ha dicho, la ingeniería está en gran medida destinada a tratar de resolver conflictos de la sociedad como la contaminación, la sobrepoblación, el tránsito en las ciudades y los centros de pobreza, problemas muchas veces de índole más sociopolítica que tecnológica. Cabe entonces preguntarse si se puede esperar de los posgraduados un aporte a la solución de estas dificultades y, dada su complejidad, si no es mejor para ello una asociación de tipo interdisciplinaria que intentos científicos aislados. Algo de esto se está dando en centros universitarios relacionados con temas como infraestructura, medio ambiente y biotecnología, entre otros.

Estas experiencias han dado muy buenos resultados, de manera que la idea de buscar enfoques interdisciplinarios, además de ser provocativa, está reorientando la dirección de algunos posgrados en ingeniería. El enfoque interdisciplinario requiere profesionales que lideren y coordinen las diferentes disciplinas, rol equivalente al de un gerente en un proyecto de ingeniería. Esta necesidad se refleja en que hoy es cada vez más fácil conseguir especialistas, pero no es igual cuando se trata de encontrar un gerente capaz de dirigir un proyecto complejo de ingeniería. Esto marca un fuerte contrapunto con la actividad científica, la cual sí permite en muchos casos ser realizada exitosamente por investigadores solitarios con un nivel bajo o nulo de interacción con otras disciplinas.

Los estudiantes de ingeniería pueden enriquecer mucho su nivel de preparación interactuando con otras áreas y recíprocamente. Hay efectos colaterales positivos de esta interacción de carácter multidimensional, pues las perspectivas de otras disciplinas suelen aportar soluciones que la ingeniería no encuentra fácilmente. Al mismo tiempo, esos otros ámbitos también son beneficiados: hay variados casos en los que la ingeniería ha hallado soluciones para la medicina, ciencias sociales, y otros.

Otro ingrediente que debe considerarse en cuanto a la evolución de los posgrados es el avance notable que ha experimentado la tecnología de la información y de las comunicaciones. Tal progreso ha fomentado en las universidades la incorporación progresiva de programas de enseñanza a distancia, acción que podría extenderse mucho más aún en el futuro. Esto, además de aumentar la velocidad de la interacción, pone los conocimientos al alcance de mayor número de personas, reduce las necesidades de crecimiento físico de los establecimientos educacionales y, eventualmente, permite acceder a la enseñanza de catedráticos ubicados en puntos distantes del orbe y poder comparar puntos de vista diferentes. Los componentes para propagar estas realidades están, y quienes trabajan hoy en las universidades son los encargados de producir y focalizar los cambios para llegar a programas de ingeniería adecuados a las necesidades de la sociedad.

INVOLUCRAR A LOS ESTUDIANTES

Un aspecto importante para iniciar el desarrollo de talentos inventivos y de innovación es involucrar a los estudiantes en proyectos y experiencias que estimulen y requieran de esas capacidades, puesto que no se puede enseñar sin relacionar las aulas con la realidad.

En este sentido, es necesaria una asociación universidad-sector productivo que estimule y facilite el trabajo asociado a problemas reales. Es importante la participación de ingenieros con experiencia que interactúen con los alumnos, desde el pregrado, en la búsqueda de soluciones a problemas prácticos. Traer profesionales experimentados a la academia no es una tarea fácil, se requiere que la universidad valore sus talentos y experiencias y, por otro lado, que el sector productivo facilite esta comunicación con las universidades. Hoy en día, los grandes proyectos son de tipo interdisciplinario. Debiera involucrarse a los alumnos en este tipo de actividades y permitirles actuar como ingenieros desde una etapa temprana.

Hay numerosos ejemplos en los cuales la creatividad ha sido estimulada a través de proyectos reales. El motor del turbo-jet inventado independientemente por Whittle en la Universidad de Cambridge en Inglaterra y por Hans von Ohein en la Universidad de

Göttingen en Alemania es uno de ellos; Werner von Braun en su tesis doctoral en Berlín desarrolló la física de la propulsión de cohetes; Frank Malina dirigido por Theodore von Karman en el diseño y fabricación de cohetes dio origen al Laboratorio de Propulsión de Jets en Caltech. Es importante enfatizar la necesidad de dar atención especial a la creatividad de los estudiantes en la primera fase de su aprendizaje que es cuando están más receptivos a desarrollar esas habilidades. Esta tarea no parece fácil pero tampoco es imposible. El temor al fracaso, la ansiedad del éxito, la excesiva precaución, la conformidad, el excesivo pesimismo o criticismo, la timidez o la falta de confianza o de agresividad, la predisposición a la sobrecompetitividad y el temor a experimentar, sin duda son barreras para la creatividad. La clave parece ser un equilibrio entre disciplina e imaginación, mucha ciencia es mucha disciplina y mucha imaginación es poca ciencia.

La posibilidad de que los alumnos experimenten por sí mismos se está incrementando con la ayuda de nuevos y mejor equipados laboratorios instalados en algunas universidades. Los proyectos para mejorar la calidad de la educación pueden dar una buena respuesta a estas ideas en los estudios de pregrado. En el caso de los posgrados, los laboratorios producen buenos y concretos resultados para la sociedad, sobre todo en el corto y mediano plazo. La simulación computacional ofrece una excelente posibilidad para experimentar procesos, situación que en definitiva complementa y en algunos casos reemplaza los laboratorios.

Los esfuerzos por optimizar la instrucción de los estudiantes de posgrado necesariamente están asociados a la preparación de los alumnos en pregrado. El estímulo y desarrollo desde la formación temprana de sus condiciones en cuanto a creatividad, acercamiento ingenieril a los problemas, capacidad de experimentar y de interactuar con otras disciplinas, redundará en mejores candidatos postulando a los programas de posgrado en el futuro, elevando la calidad de la profesión y, por ende, de las soluciones que van en beneficio de toda la sociedad.