La educación del Ingeniero para un mundo cambiante

EDITOR
Luis de Vedia

PUBLICADO POR

ANCEFN
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

SERIE PUBLICACIONES CIENTÍFICAS N°6 (2014)

La Educación del Ingeniero en un mundo cambiante

EDITOR
Luis de Vedia

PUBLICADO POR

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales [ANCEFN]

SERIE: PUBLICACIONES CIENTIFICAS N° 6 (2014)

Vedia, Luis A. de
La educación del ingeniero para un mundo cambiante / Luis A. de Vedia. - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : ANCEFN - Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2014.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: online
ISBN 978-987-46104-6-1 1.

Ingeniería. 2. Educación Superior. I. Título.
CDD 620.007

Esta publicación es propiedad de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

ISBN 978-987-46104-6-1 1
Primera edición, Buenos Aires,

Copyright © by Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Toda la correspondencia referida a esta publicación debe dirigirse a:
All enquires regarding this publication should be addressed to:
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Av. Alvear 1711, 4º piso, (1014) Buenos Aires.
E-mail: biblio@ancefn.org.ar
Sitio web: www.ancefn.org.ar

Queda hecho el depósito previsto por la Ley 11.723

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio electrónico o mecánico, incluyendo fotocopiado, grabación o cualquier otro sistema de archivo y recuperación de información, sin el previo permiso por escrito de la Academia.

ÍNDICE

Palabras preliminares 1
Arturo Bignoli, “Ser Ingeniero” 3
Horacio Reggini, “Educación del ingeniero en un mundo cambiante:
El aprendizaje y la enseñanza de la Ingeniería en el siglo XXI” 11
Raul y Cecilia Lopardo, “Algunos comentarios respecto de la educación de los
ingenieros hidráulicos” 21
Eduardo Dvorkin, “Ciencia, tecnología e innovación productiva” 29
Roberto Williams, “La formación del ingeniero en un contexto de
rápidos cambios tecnológicos” 39
Carlos Lerch y Luis de Vedia, “El conocimiento tecnológico y el conocimiento .
ingenieril en la formación del ingeniero para un mundo cambiante 49

LA EDUCACION DEL INGENIERO EN UN MUNDO CAMBIANTE
Palabras preliminares

La presente publicación tuvo su origen en una inquietud surgida en el seno de la Sección Ingeniería de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la República Argentina. Esta inquietud deriva de tener en cuenta la importancia del rol del ingeniero en el desarrollo de una sociedad moderna, y la relevancia que sobre la forma de ejercer ese rol tiene no sólo la competencia técnica sino también la educación del profesional de la ingeniería, entendiendo aquí por educación la capacidad para entender un mundo en rápido cambio tecnológico y para contribuir positivamente a ese cambio, lo que implica en última instancia, el mejoramiento integral de la calidad de vida de los seres humanos.

Los seis trabajos que integran la presente publicación, corresponden a sendas visiones individuales, ciertamente no idénticas entre sí, sobre el rol y la educación de quien podría ser el "ingeniero ideal" en una sociedad sujeta a rápidos cambios en todos los órdenes de la vida cotidiana pero muy particularmente en aquellos que tienen que ver con el mundo de la tecnología.

Precisamente por este enfoque global sobre la educación del ingeniero en una sociedad moderna, se inicia este trabajo con la contribución del Ing. Arturo Bignoli "Ser Ingeniero" en la que se combina su visión personal de la profesión del ingeniero con recuerdos personales que hacen del texto una grata lectura y un muy apropiado prólogo a las contribuciones que le siguen.

Sigue a este trabajo, el aporte del Ing. Horacio Reggini, para quien la educación del ingeniero ha sido una constante preocupación y motivo de reflexión. En su contribución, el Ing. Reggini se detiene a analizar lo que él considera algunos ejemplos paradigmáticos de la relación simbiótica entre ciencia y tecnología y su vinculación con la innovación tecnológica y el proceso creativo en ese ámbito.

El trabajo del Ing. Raúl Lopardo con Cecilia Lopardo se refiere a un tema específico pero de gran relevancia para un país sediento de energía como el nuestro. Trata de lo que desde el punto de vista de los autores del trabajo, debería ser la orientación en la educación de los ingenieros hidráulicos, habida cuenta de los nuevos paradigmas relacionados con el desarrollo sustentable y la conservación del medio ambiente.

A continuación de los anteriores encontramos el trabajo del Dr.Ing. Eduardo Dvorkin, quien habiendo hecho una carrera que transcurrió en su mayor parte en la frontera entre la actividad científica y su aplicación a la innovación tecnológica, nos brinda su personal visión sobre el triángulo virtuoso de ciencia, tecnología e innovación productiva.

Nos encontramos luego con la contribución del Dr. Roberto Williams en la que analiza y enfatiza el valor de las nuevas tecnologías disponibles hoy por el ingeniero y el rol que estas deberían jugar en la formación de los futuros profesionales y efectúa valiosas consideraciones sobre aspectos relacionados con los programas de ingeniería en la modalidad que adoptan en nuestro país.

El último trabajo, es el de los Ings. Carlos Lerch y Luis de Vedia, que se detiene en el análisis de la naturaleza del conocimiento tecnológico y sus características diferenciadoras con el conocimiento ingenieril. En base a este análisis, los autores efectúan una propuesta acerca de los conocimientos relevantes que sería deseable adquirieran los nuevos ingenieros, los que tendrán que vérselas con la dinámica del cambio tecnológico en las primeras décadas del presente siglo XXI.

Luis A. de Vedia
Instituto de Tecnología (UNSAM-CNEA)
Facultad de Ingeniería (UBA

SER INGENIERO
(Experiencias vividas)

Ing. Arturo J. Bignoli

e-mail: arturobignoli@fibertel.com.ar

***Ser Ingeniero*. No es un tema técnico referido a la Ingeniería, sino a los ingenieros y la Ingeniería.**

Para explicarme, usaré dos episodios, muy distanciados en el tiempo, ocurridos en los casi setenta años transcurridos desde mi graduación (15.12.1943).

Se refieren a lo que he trabajado en lo académico (docencia e investigación) y simultáneamente, en lo profesional (proyecto, ejecución y gestión) en Ingeniería Estructural.

Hay dos caminos que puede seguir un graduado en Ingeniería, según tenga vocación de ser un **científico** o un **técnico**. Que esto último es ser un **verdadero ingeniero.**

En ambos casos, se debe lograr la mayor **aptitud** posible, empleando con sensatez y diligencia, todas las potencias cognitivas, racionales o emocionales, teóricas o empíricas.

Las tres figuras que siguen expresan gráficamente lo que diré literalmente.

Tratar de conocer, con la mayor **veracidad**, aunque inevitablemente, con **incertidumbre**, los "porqués" y los "cómos" de sus ideas "cosificadas".

Mi vocación por la Ingeniería Estructural fue temprana, porque tuve excelentes docentes en las materias relacionadas con la misma, que la incentivaron.

Quiero mencionar especialmente a Enrique Butty (mi profesor) y a Carlos A. Treglia (mi maestro), con admiración, respeto, afecto y gran agradecimiento por todo lo que recibí de ellos.

También recuerdo en igual forma, a Arturo M. Guzmán, que a temprana edad, me sugirió presentarme a concurso, en tiempos difíciles, en la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas (hoy Ingeniería) de la Universidad de La Plata, de la que fui Profesor

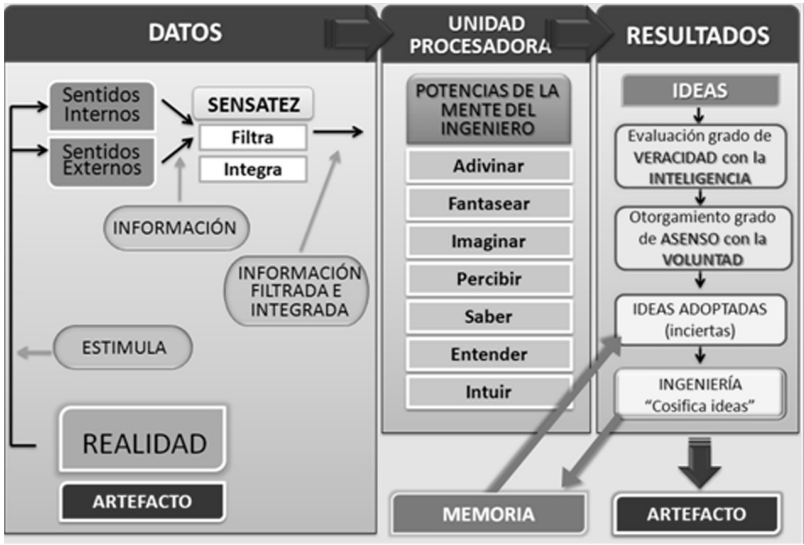


Figura 1

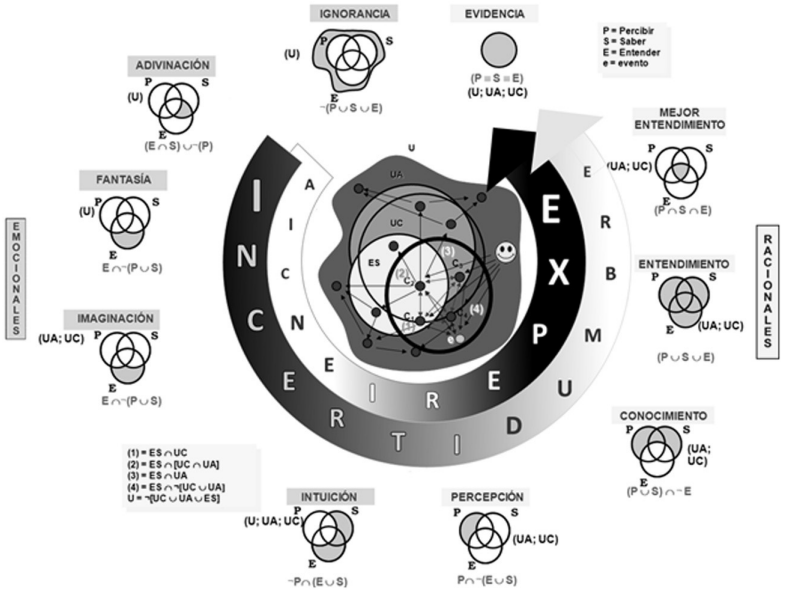
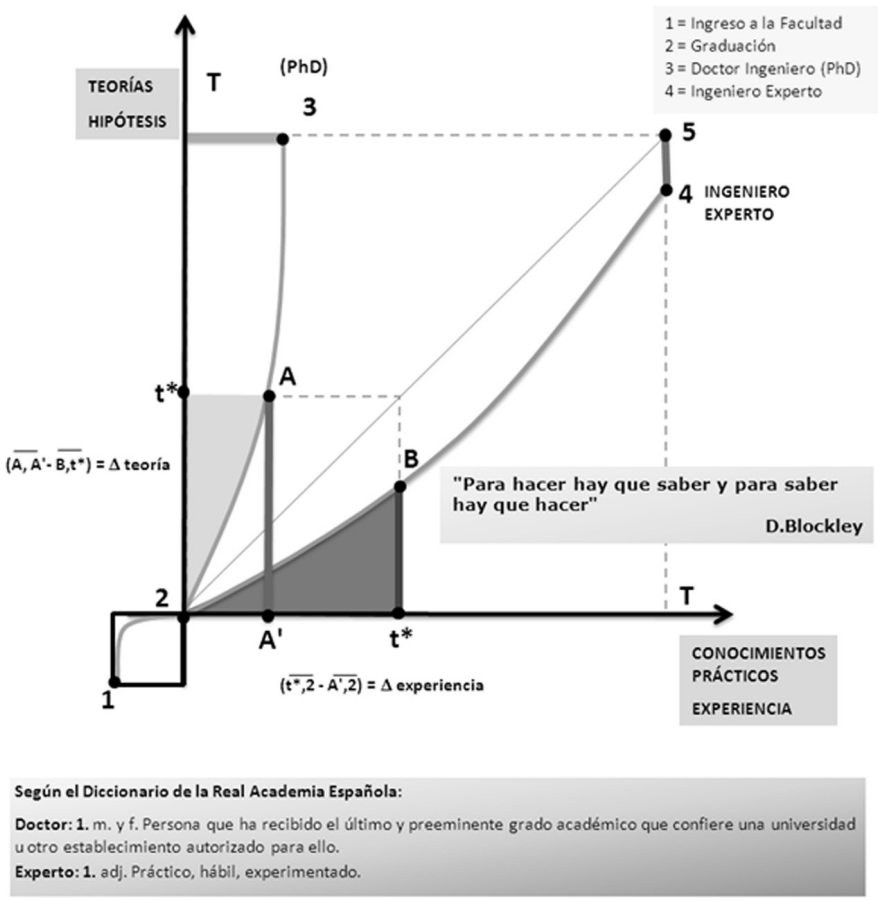


Figura 2



Según el Diccionario de la Real Academia Española:

Doctor: 1. m. y f. Persona que ha recibido el último y preeminente grado académico que confiere una universidad u otro establecimiento autorizado para ello.

Experto: 1. adj. Práctico, hábil, experimentado.

Figura 3

Titular durante algo más de una década (1948~1959). En la de Ingeniería de la U.B.A. un cuarto de siglo (1959~1985) y en la U.C.A. el mismo cuarto de siglo (1959~1984).

Para entrar en el tema propuesto: ¿Qué se debe enseñar a los graduados en el nivel secundario (Bachilleres), es oportuno leer algunos renglones del libro "La Ingeniería", publicado por Enrique Butty en el año 1932, es decir, hace aproximadamente 80 años, que conservan vigencia en el presente.

Comienza Butty el capítulo II de "La Ingeniería" diciendo:

"Imposibilidad de hacer ingenieros en la escuela"

La vastedad de conocimientos que requiere un ingeniero que le hace decir "Stop", que "debe saber de todo y ocuparse de todo", señala naturalmente la imposibilidad de que ellos sean enseñados en la escuela. Las escuelas superiores de ingeniería no deben pues pretender lo imposible. No son capaces de hacer, durante el tiempo que duran los estudios, ingenieros con los conocimientos que corresponden a la acepción actual de este término. Su misión se reduce y debe limitarse, a dar los conocimientos científicos, técnicos-científicos y profesionales generales, que sirvan de base para que el egresado se haga por sí mismo ingeniero en la vida profesional, y esto tanto con la constante aplicación al estudio como con la adquisición del bagaje de elementos prácticos, profesionales, administrativos, financieros, etc. El diploma de ingeniero que otorga la Facultad, no puede tener otro alcance que un documento que certifica que el egresado tiene la disciplina intelectual y el conjunto de dichos conocimientos básicos suficientes para abordar, por cuenta propia, el estudio de las cuestiones técnicas y profesionales que corresponden al ingeniero."[1] (hasta aquí Butty)

Es decir, que antes que yo empezara a cursar Ingeniería, estaba claro que esta resulta de agregar a la teoría que se enseñaba y se continúa enseñando con criterio científico en la Facultad, la práctica, empíricamente adquirida con el ejercicio profesional (guiado al principio según mi criterio, por profesionales experimentados) hasta lograr la aptitud necesaria para ser un verdadero ingeniero y poder **legítimamente matricularse** como tal, asumiendo las correspondientes responsabilidades.

Todavía no es así entre nosotros, **nos matriculamos legalmente, aunque ilegítimamente, como ingenieros**, cuando en realidad somos **Graduados en Ingeniería, porque conocemos los "porqués", pero no los "cómos" para "cosificar" nuestras ideas.**

Entre un Graduado en Ingeniería, que podemos llamar Ingeniero Teórico, y un Verdadero Ingeniero, hay un proceso que comienza al egresar de la Facultad de Ingeniería buscando mayor aptitud y termina cuando nos resulte imposible seguir estudiando, si tenemos vocación de ser verdaderos Ingenieros.

Al graduarse, se presenta una disyuntiva: Hay que optar entre ser un ingeniero teórico, que es un científico, que piensa en teorías basadas en hipótesis que va reemplazando por otras que supone más ajustadas a la realidad, o un verdadero ingeniero, que logra su aptitud profesional practicando, empíricamente.

David Blockley dice***: "Para hacer* (conocer los 'cómos'), *hay que saber* (conocer los 'porqués') *y para saber hay que hacer".***

Los "porqués", resultan de las Ciencias para la Ingeniería y los "cómos" del Arte de la Ingeniería.

La Verdadera Ingeniería es saber hacer, es decir, conocer los "porqués" de los "cómos".

Pensamos que este proceso es similar al que origina la "Verdadera Ingeniería": Lo teórico a partir de hipótesis y lo empírico a partir de la práctica, han aportado lo suyo en el mismo.

---

[1]Enrique Butty, La Ingeniería. Buenos Aires, Publicación del Centro de Estudiantes de Ingeniería, 1932. p. 43.

Saber Hacer y su reconocimiento

Cuando los de mi promoción (año 1943) nos graduábamos, no existía el Consejo Profesional y se consideraba, equivocadamente, que un Ingeniero Teórico era un Verdadero Ingeniero y debía actuar, cumpliendo Reglamentos Técnicos y Pliegos de Condiciones que imponían el Estado y los comitentes privados.

En 1946 se creó el Consejo Profesional de Ingeniería Civil. Yo no había cumplido aún tres años de egresado y para obtener la matrícula tuve que hacer un simple trámite administrativo, con la presentación de mi diploma de egresado. No tuve que demostrar ninguna aptitud profesional; esa simple inscripción, me habilitaba para ejercer la profesión sin limitaciones de tipo técnico, tuviese o no la aptitud necesaria para ello.

El Consejo Profesional sólo vela por el respeto de la Deontología, es decir de la Ética profesional. Hoy todavía es así, lamentablemente, pues equivale a aceptar que actuar profesionalmente sin la aptitud requerida para ello, es éticamente correcto, lo que es falta de sensatez. Se piensa que las "incumbencias" que establece la Facultad para sus egresados, (a veces con criterios reñidos con toda Lógica) demuestran su aptitud y la experiencia necesarias. Se desprecia lo aprendido empíricamente, con la práctica, como de menor valor intelectual.

Todo lo que se enseñaba era como analizar estructuras, que siempre eran un dato del problema. Nadie nos enseñó a proyectarlas, ni a evaluar las acciones que deberían soportar.

La Facultad no estimuló nuestras potencias cognitivas emocionales, indispensables para proyectar.

Esa era la situación, originada por las circunstancias descriptas.

Cuando tuve que realizar mi primera tarea profesional, había egresado dos meses antes y comencé a trabajar en una empresa constructora muy prestigiosa. Lo hice durante tres años, aprendiendo los "cómos" y vinculándolos a los "porqués" que traía de la Facultad.

Me asignaron la revisión del proyecto de las cerchas de madera que soportaban una cubierta de tejas. Era un trabajo de análisis y las acciones estaban dadas por un reglamento. Obtenidos los esfuerzos en las barras, calcular las tensiones, que no debían superar a las admisibles (más análisis) que también daba un reglamento para el caso. No había que pensar casi nada, sólo calcular. Éramos calculistas. La Realidad estaba descripta en los reglamentos, no era la que percibíamos.

En 1943 el Reglamento era un Manual para calcular losas, vigas, columnas y bases, colocadas donde lo permitía el plano de Arquitectura.

En la actualidad (2013) los Reglamentos son complicados tratados, que no creo que sean correctamente interpretados por la mayoría de quienes los aplican.

La estructura que yo debía verificar, en mi inicio como profesional, era un triangulado aparentemente isostático, de pocas barras; Cremona, Cullmann y Ritter vinieron rápidamente en mi ayuda, pero nada pudieron hacer, porque las uniones entre las barras no eran articulaciones perfectas sin fricción, ni los ejes de las barras se cortaban en las mismas.

Entonces, deduje que la cercha era hiperestática, pero las uniones entre las barras tampoco eran nudos en los que estas se empotraran, eran, en realidad, ingeniosas disposiciones de las barras de madera, resultado del conocimiento de la tradición y la experiencia de un práctico no universitario, para quien Ritter y los otros famosos antes mencionados, eran desconocidos y nunca había escuchado la palabra "hiperestática".

Sentí que me faltaba el conocimiento de la tradición y de la experiencia de ese técnico que nunca fue a la Universidad y comencé a buscarla. Fue una tarea larga y difícil que tuve que realizar solo. Qué veraces las palabras de Butty antes transcriptas. Hoy pienso que la Facultad debería preparar mejor a los que sientan la vocación de llegar a ser profesionales de la Ingeniería para ser "verdaderos ingenieros", aptos para "cosificar" buenas ideas, para proyectar y construir.

La aptitud se adquiere, trabajando y estudiando, puede incrementarse y también puede disminuirse no haciéndolo. Debería disminuir con ella la autorización que implica estar matriculado para ejercer la profesión, hasta perder la matrícula por falta de ejercicio profesional, durante un lapso no mayor de cinco años.

En aquella primera oportunidad tuve que creer en la experiencia del proyectista, como único sustento del proyecto y todo anduvo bien.

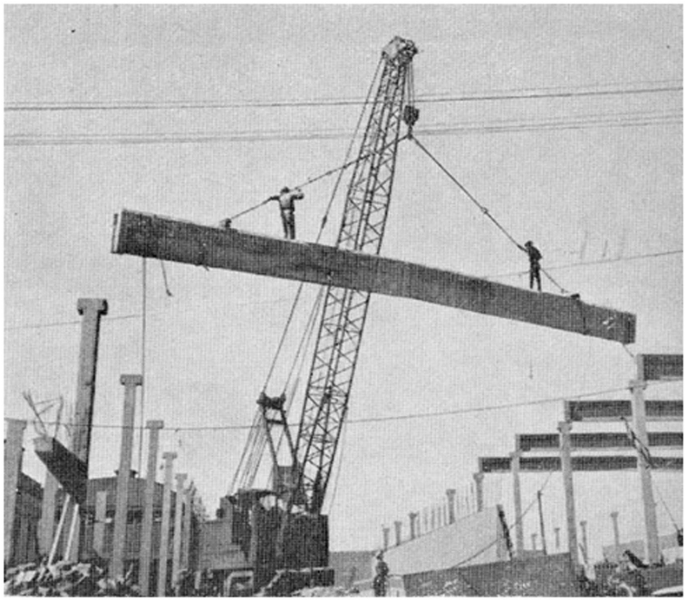
Comencé entonces a tratar de llevar a la práctica lo que resultaba de mis estudios teóricos, necesarios para cumplir mi función docente. A la vez, la práctica me sugería empíricamente ideas que enriquecían la función docente. Este ir y venir de la teoría a la práctica y de esta volver a la teoría, me hizo sentir muy libre para ejercer ambas tareas.

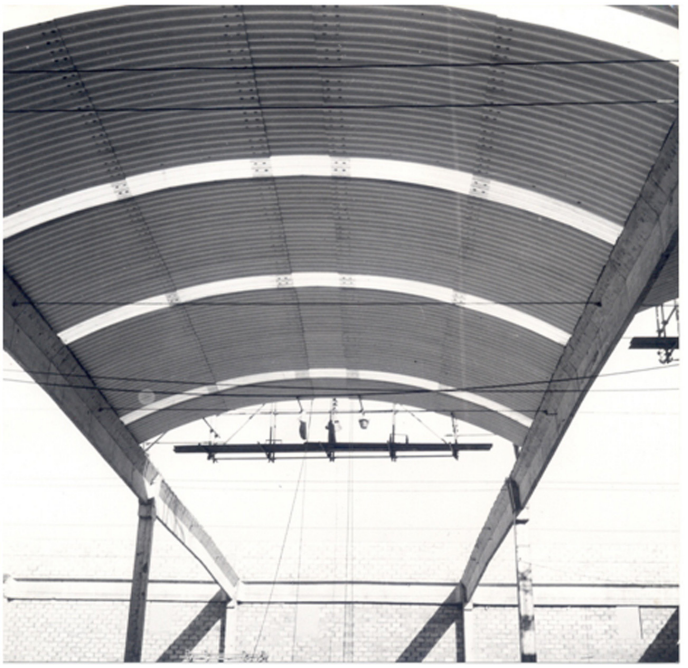
Me sentí muy bien, enseñando a resolver hiperestáticos, pudiendo elegir las incógnitas y el método de resolución del sistema de ecuaciones, porque todos los métodos de resolución de hiperestáticos, según vimos, podían reducirse a uno más general que los incluía. Lo publicamos con Jorge Basaldúa en 1946.

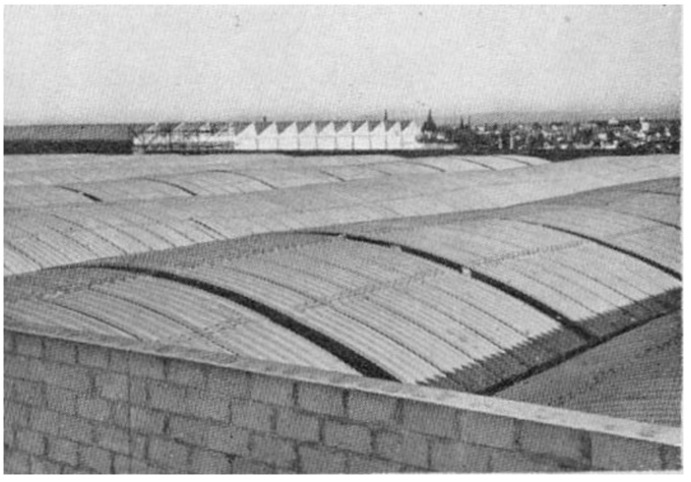
Enseñaba a resolver **hiperestáticos** en la Facultad. Y en la actividad profesional proyectaba **isostáticos** (estructuras sin redundancia) y los construía con piezas de hormigón armado premoldeado, técnica que aprendí empíricamente. Luego los analizaba teóricamente, verificando su seguridad.

La totalidad del proceso me despertaba terribles incertidumbres en relación con la **seguridad estructural**. Algunos sustos lo convirtieron en mi tema predilecto de estudio y pensamiento: **¡Todas las estructuras son propensas a fallar!** No lo duden, mientras exista el campo gravitatorio en que estamos y gracias al que vivimos.

Termino con una anécdota: Un cliente potencial, quería que yo le proyectara y construyera unos 9.000 metros cuadrados de cubierta de chapas curvas de fibrocemento, para un supermercado, en el año 1970 aproximadamente. Le gustaban las estructuras premoldeadas que yo construía, pero quería la solución de menor costo. Me invitó a bajar el precio de una propuesta que tenía, con columnas, arcos y correas de barras de acero redondo, soldadas, que en aquellos tiempos llamábamos “gusanillo”.







Era la misión imposible. Le expliqué que la estructura que yo le ofrecía, tenía más acero pues debía soportar el peso del hormigón, que no era un regalo, y que por lo tanto tenía que ser de mayor costo. Me contestó "suprima la estructura", con lo que me molestó, pero me fui pensando cómo eliminar partes de la estructura. Suprimí las correas de hormigón y los pórticos que las soportarían. Luego construí un arco de prueba, de 10 m. de luz, uniendo las chapas curvas entre sí, con bulones galvanizados. Caminamos sobre él, le pusimos cargas simétricas, o no, y todo lo resistió airosamente.

El precio resultó mucho menor, porque los arcos de chapas eran autoportantes, no había correas ni pórticos bajo ellas y la cubierta se construyó.

Un prototipo de 9.000 metros cuadrados.

La cubierta, de un material frágil, de partes unidas con bulones, sobre la que se podía caminar como sobre un colchón de goma pluma.

El día que lo hice, me sentí un verdadero ingeniero, libre para actuar al margen de reglamentos, observando cuidadosamente la realidad y empleando todas las potencias racionales y emocionales que Dios me regaló.

Conclusión

Hoy tengo clara idea que lo más importante fue que demostré experimentalmente la existencia de mi Ángel de la Guarda y que **"Hacer para saber y saber para hacer"**, es un círculo vicioso que puede transformarse en virtuoso, empleando las potencias mentales emocionales y el conocimiento adquirido empíricamente junto a la razón.

Epílogo

¿Cómo está hoy, cuatro décadas después la cubierta?

No lo sé, fue comenzada su destrucción cuando tenía 30 años de edad, superando por mucho el límite de su vida útil previsible racionalmente, para construir en ese lugar una Villa de emergencia.

Me referí a dos tareas profesionales personalmente realizadas hace bastantes años.

En el caso de las cerchas de madera, un Reglamento me hubiese ayudado, pero, que yo recuerde, no existía.

En el caso de la cubierta de fibrocemento, hice algo aparentemente peligroso, atribuyendo a las chapas de fibrocemento y a sus uniones, una función estructural, basándome en ensayos muy sencillos. Ver las figuras precedentes para tener idea de su construcción y en particular la última que muestra que las uniones entre chapas abulonadas fueron capaces de soportar demandas mayores que las que determinaron la falla antrópica y delictiva de las chapas mismas.

El mensaje que resulta de estos dos relatos valen a mi juicio, como comentarios a la hora de tratar de la enseñanza, las hipótesis, las teorías y la profesión de los ingenieros.

EDUCACIÓN DEL INGENIERO EN UN MUNDO CAMBIANTE. EL APRENDIZAJE Y LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA EN EL SIGLO XXI

Horacio C. Reggini

Miembro de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la Academia Nacional de Educación y de la Academia Argentina de Letras. Miembro de la Academia Argentina de Artes y Ciencias de la Comunicación y de la Academia del Mar. Miembro correspondiente de la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires.

Resumen

Este trabajo es una continuación de mi anterior "La enseñanza de la Ingeniería en el siglo XXI" sobre los sistemas procognitivos vislumbrados en el siglo XX por R. Buckminster Fuller y J. C. Licklider, aplicados a los procesos de interacción, generación, organización y empleo del conocimiento que han revolucionado la práctica de la ingeniería. Fuller entrevió la posibilidad de albergar cada día más conocimiento en las memorias de las computadoras y poder transferirlo de manera cada vez más automática a las aplicaciones. Licklider puntualizó que no parecía aconsejable organizar y explotar el corpus del conocimiento pasando todo su contenido a través del cerebro y que podría manejarse mejor la mayor parte de la interacción con el conocimiento controlando y monitoreando el procesamiento de la información. Estas circunstancias de transferencia de inteligencia a las máquinas se relacionan vivamente con la investigación científica y la práctica profesional, citando principal y extensamente, como ejemplos de la interacción de la ciencia y de la tecnología con la sociedad y la gente, la fabricación y el uso de la lapiceras Birome y las afeitadoras Gillette, incluyendo además del recuerdo del primer ingeniero argentino Luis A. Huergo.

Ingeniería, educación, *sistemas procognitivos*

Abstract

Learning and teaching engineering in the twenty-first century. This paper is a continuation of my former one "La enseñanza de la Ingeniería en el siglo XXI. Teaching engineering in the twenty-first century" about the procognitive systems imagined by R. Buckminster Fuller and J. C. Licklider, applied to the processes of interaction, generation, organization and use of knowledge, which have changed the practice of engineering. Fuller anticipated the possibility to store more knowledge in computer memories and to be able to transfer it to the applications in a more automatic way. Licklider specified that it did not seem advisable to organize and exploit the body of knowledge, by passing its contents through the brain, and that people could better handle the greater part of their interaction with knowledge, if they controlled and monitored the processing of the information, rather than personally handling everything. These facts of transference of intelligence to machines are strongly related to scientific research and professional practice, main and widely mentioning as examples of the interaction of science and technology with society and people, the production and use of Birome pens and Gillette shaving machines, besides the case of Luis A. Huergo.

Engineering, education, *procognitive systems*.

Introducción

Mi escrito no pretende ser un repertorio o un plan ordenado y detallado de cómo debe ser la educación de los ingenieros en los próximos años; sólo esboza algunos ejemplos para orientación.

Insiste en rememorar los hechos y las fuerzas ocurridas en la historia de la ciencia y la tecnología, ya que ejercen influencia en el presente y que se deben conocer para actuar adecuadamente en la configuración del futuro del aprendizaje y de la enseñanza de la ingeniería.

Diseño y proyecto son dos actividades fundamentales a explorar en el ejercicio profesional y en la producción del conocimiento de la ingeniería. En un artículo publicado en el diario "La Nación" (H.C.Reggini "El ingenio en la ingeniería argentina" La Nación, 25 de Agosto, 2009, Bs.As.), puntualizo que el atributo que distingue al ingeniero es el uso del "ingenio" como capacidad mental de innovación y de diseño, y para ello debe combinar sabiduría y conocimiento organizado más inspiración y pragmatismo para modelar y construir sistemas en la práctica. En particular, subrayo que el empleo de la ciencia moderna por parte de los ingenieros requiere de una educación amplia que abarque tanto a la técnica como a la historia. Mi argumentación se basa en que el conocimiento histórico sobre los protagonistas, ingenieros proyectistas y empresas, inspira siempre las acciones del futuro. Pienso que es menester poner a la ingeniería en un contexto de ciencia, técnica y arte, a través del análisis de las posiciones de distintos realizadores.

En línea con ese pensamiento, he publicado este año 2013 el libro "La enseñanza de la ingeniería en el siglo XXI", en el que reseño, entre otras, a la figura de R. Buckminster Fuller, teórico de los sistemas, arquitecto, ingeniero e inventor, constituyendo un arquetipo del profesional que combina conocimientos científicos y tecnológicos más capacidad de diseño a través del empleo de saber y pragmatismo. También me detengo en los ambiciosos sistemas procognitivos vislumbrados en el siglo XX por R. J. C. Licklider, aplicados a los procesos de interacción, generación, organización y empleo del conocimiento que han revolucionando la práctica de la ingeniería.

Creo que evocar a las grandes figuras contribuye a resolver problemas y a revalorizar las instituciones. Es por ello que cuento ahora que, cuando los enviados de Ulises se internan en el país de los lotófagos y prueban el delicioso alimento que estos les ofrecen -el loto- pierden de golpe la memoria y se sumen en un estado de sopor que los paraliza: ya no tienen pasado ni proyectos ni, por lo tanto, anhelo de regresar. Ulises deberá reembarcarlos a la fuerza para alejarlos del país del olvido. Nada más temible para la especie que el nubarrón de la amnesia.

Aquel espacio de "no humanidad" que conocieron los navegantes de Ulises queda hoy a la vuelta de la esquina: acontecimientos y cambios continuos, igual que el manjar de los lotófagos, pueden precipitar el gran baldío del olvido con la consecuente pérdida de toda identidad.

Desde sus comienzos en 1874, la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales ha albergado en su seno a gran número de importantes ingenieros en la Sección Ingeniería, entre ellos los ya fallecidos Luis A. Huergo, Guillermo White, Manuel B. Bahía, Otto Krause, Luis J. Dellepiane, Nicolás Besio Moreno, Claro A. Dassen, Enrique Butty, Rodolfo E. Ballester, Francisco García Olano, Enrique P. Cánepa, José L. Delpini, José S. Gandolfo, Oreste Moretto, Hilario Fernández Long, Arnaldo Bolognesi, Bruno Ferrari Bono, Carlos Volpi, Rodolfo Cota, ... En la actualidad, a los ingenieros destacados los alberga, en Buenos Aires, también la Academia Nacional de Ingeniería y la Academia Nacional de Ciencias Buenos Aires.

En vista de la unidad del hombre y del empobrecimiento que se deriva de dividirlo y aislarlo, deberíamos (atendiendo, por supuesto, a la complejidad del conocimiento de nuestros días) bregar por una ingeniería concebida como actividad más amplia y, también, de una sola rama, es decir, no tantas como las que han brotado en los últimos años.

Justamente Huergo fue ejemplo concreto de coherencia en todo esto: fue constructor de caminos, canales y puertos; veedor de las primeras pruebas telefónicas en Buenos Aires que transmitieron "la voz, el silbido, la música y el canto"; diseñador de transportes

ferroviarios y explotaciones petroleras; una fotografía de 1904 lo muestra en el International Electrical Congress de St. Louis en compañía de Thomas Alva Edison y de Jorge Newbery. Presumiblemente, Huergo recelaría del número abrumador de carreras y títulos distintos del presente.

Es de destacar la decidida voluntad de Huergo de actuar en múltiples tareas amparado en su profunda convicción socializadora, desde la que defendió los intereses de la comunidad y de sus individuos. Con plena conciencia de que la aversión al extranjero es una forma del analfabetismo y un complejo de inferioridad, no dudó sin embargo en alzar la voz contra opiniones no correctas de colegas del exterior cuando fue necesario.

La ingeniería no actúa sobre la sociedad como si fuera un agente externo sino que es parte integrante de la urdimbre social; es una actividad social, de la misma manera que lo son las otras. Se vuelve imperiosa la comprensión honesta de que no hay un sol del científico y un sol del filósofo, sino más bien un solo claroscuro que se piensa en pensamientos singulares. Huergo obraba al calor de esta idea y, consecuentemente, fue un político, un funcionario y un dirigente de actividad extensa y provechosa. En el campo de fuerzas de la vida se cruzan continuamente cuestiones éticas, exigencias de justicia, sentimientos de compasión y de amor. Huergo supo atender a todas ellas. Constituye un ejemplo para los ingenieros de hoy.

Quiero mencionar que el presidente argentino Domingo F. Sarmiento (1811-1888) fue también gran hacedor de "cosas nuevas" con sus notables escritos y acciones realizadoras, mostrando un modelo de ingeniería digno de imitación en nuestro tiempo.

Otro presidente con estas virtudes fue Abraham Lincoln (1809-1865), de los Estados Unidos de Norteamérica, quien hizo contruir, tanto para la paz como para la guerra, vías de transportes y de comunicación, fábricas, viviendas, hospitales y otros servicios públicos, contribuyendo con su visión ingenieril al bienestar de su pueblo.

Pienso además que cuando miramos al futuro de la ingeniería no debemos dejar de recordar a las importantes personas, empresas y marcas, en el mundo, que han desarrollado y promovido muchos productos, frutos de emprendimientos innovadores ingenieriles. Como por ejemplo, Henry Ford, con los autos FORD, László Bíró, con las lapiceras BIROME, King Camp Gillette, con las afeitadoras GILLETE, Giovanni Agnelli, con la fábricas FIAT, Agostino Rocca con siderurgia y productos TECHINT, Horacio Anasagasti, quien construyó el primer auto argentino denominado ANASAGASTI, la compañía MOLINOS – MATARAZZO, de fideos ahora y de juquetes antiguos de lata antes, y numerosas marcas internacionales, MERCEDES BENZ, BMW, BURLATTI, FERRARI, ALFA ROMEO, JAGUARD, VISCONTI, MONT BLANC, HERMES, LAMY, marcas deportivas ADIDAS, TOPPER, DUNLOP, FILA, WILSON, etc.

Las grandes y exitosas innovaciones en productos y obras se producen cuando responden a las necesidades y expectativas de la gente, como ha ocurrido con los dos ejemplos siguientes, Birome y Gillette, que paso a historiar brevemente.

Birome

La Birome (en inglés: biro, *ballpoint pen* o *ball pen*) fue un invento que cambió la manera de escribir y hoy se ha convertido en un instrumento habitual en todo el mundo. Despide una tinta viscosa desde un depósito portátil a través de una bolita giratoria en su extremo inferior. Sus divesos modelos forman parte de una colección permanente en el Museum of Modern Art de New York.

La primera versión elemental de una Birome fue patentada en 1888 por John J. Loud, pero no tuvo éxito técnico ni comercial alguno.

László Bíró, un editor periodístico húngaro frustrado por la cantidad de tiempo que se perdía en cargar de tinta las lapiceras fuente y las numerosas manchas de tinta en los

papeles, observó que las tintas que se utilizaban en la impresión de los diarios se secaban rápido. Acudió entonces a su hermano químico György, para conseguir una tinta viscosa. Con éxito utilizó esa nueva tinta para una innovación en el mecanismo de la bolita de la punta de una lapicera que le permitía que la tinta no se secara en el cilindro contenedor y que a la vez le permitía salir fluidamente. De esa manera Bíró obtuvo una patente británica en 1938.

En 1941, los hermanos Bíró y un amigo, Juan Jorge Meyne, se trasladaron de Alemania a Argentina, donde crearon la empresa *Bíró Pens of Argentina*, y patentaron una nueva birome en 1943. La fabricaron y vendieron en la Argentina con el nombre *Birome* (juntando los apellidos Bíró y Meyne), y desde entonces, así se llaman en la Argentina. El mismo diseño se fabricó en Gran Bretaña, con el nombre *Biro* y se empezó a usar en los vuelos aéreos ya que no chorreaban en los vuelos de la Royal Air Force como las lapiceras fuente.

Dado el éxito de la birome en la Argentina, en 1945, la compañía *Eversharp* Co., fabricante de lápices mecánicos, asociada con Eberhard Faber Co. compraron los derechos de la birome para la venta en los Estados Unidos.

Un norteamericano Milton Reynolds de viaje de negocios en la Argentina, se llevó algunas biromes a Estados Unidos, y formó la *Reynolds International Pen Company* introduciendo algunas alteraciones en el diseño para obtener así una nueva patente en los Estados Unidos. Vendió muchísimas con un gran éxito comercial: debutó en la tienda Gimbel's de New York donde se vendía a US$9.75 cada una.

Continuaron con la biromes muchas otras firmas en 1950, entre ellas las denominada Paper Mate Pen en Estados Unidos y Canada. En 1954 la firma Parker Pens anunció la *The Jotter* –la primera birome de esa firma– argumentando nuevas mejoras, tal como incluir bolitas hechas de carburo de tunsteno en sus lapiceras.

Marcel Bich introdujo en 1953, una nueva birome en el mercado norteamericano con licencia de Bíró y de sus diseños en la Argentina, y la llamó Bic, y así se comenzó a llamar a las biromes en todo el planeta; los precios bajaron apreciablemente. Su campaña de marketing en 1960, decía: "Writes The First Time, Every Time!".

En el CAI, Centro Argentino de Ingenieros de Buenos Aires, se puede ver en el hall de entrada al Salón Ing. Alberto R. Costantini, un panel de recuerdo al invento del húngaro-argentino László Bíró.

Gillette

La compañía Gillete fue fundada en 1901 en Boston por King Camp Gillette (1855-1932) para producir afeitadoras de seguridad y obtener denominadas afeitadoras perfectas. El eslogan de marketing: "*The Best a Man Can Get*".

Mientras King C. Gillette trabajada en la Crown Cork and Seal Company en la década de 1890, se dio cuenta que los tapones de corcho que él vendía para botellas, eran tirados cuando la botella se abría y consumía. Esto lo llevó a pensar en negocios en los cuales el producto era usado una sola vez o sólo unas pocas veces y luego era descartado. Las navajas

de afeitar eran relativamente muy caras y se arruinaban muy pronto con el uso, y precisaban afilado continuo. Pensó entonces en una navajita pequeña y barata que pudiese tirarse de inmediato cuando perdía el filo; cumpliría así una necesidad importante y produciría ganancias al fabricante, e inventó entonces la "Gillette".

Gillette era un socialista utópico y escribió los libros *The Human Drift* (1894), *World Corporation* (1910), and *The People's Corporation* (1924).

La Gillette comenzó a venderse en 1903 para una máquina que él había diseñado y que fue paulatinamente mejorando. En 1934 introdujo el modelo "Aristocrat". con una innovación importante: era "Twist to Open", o diseño TTO que permitía cambiar la gillette sin separar la manija de la máquina. En 1947 apareció el modelo "Super Speed", que fue superado en 1954, con versiones diferentes para afeitadas más cercanas y con colores distintos para las manijas. La famosa hojita Gillette desapareció con el tiempo y no fue posible encontrarla más para sacar punta a los lápices –como algunos hacíamos–, y las navajitas fueron colocadas armadas en pequeños cartuchos de dos, tres o cuatro unidades, que se colocaban cómodamente cada una a presión en las cabezas de las máquinas.

Entre 1958 y 1986, se fabricaron las máquinas "adjustables" que permitían regular girando la manija, acercar más o menos, la veterana hoja Gillette o las nuevas navajitas a los pelos de la barba. Estas navajitas reemplazaron a las gillettes más grandes, que eran peligrosas ya que uno podía cortarse los dedos al colocarlas en las máquinas o utilizarlas para otros menesteres. La máquina Tract II con dos hojitas, en lugar de una única, debutó en 1971 para disminuir la irritación de la piel. La máquina Tract II Plus agregó una lámina de plástico lubricante arriba para disminuir más la irritación de la piel, según la firma. De continuo fueron apareciendo nuevos modelos: la Atra introducida en 1977 mostró una cabeza que pivoteaba; idem la Atra Plus con una tira lubricante anunciada como *Lubra-Soft*. La Gillette Sensor debutó en1990, con hojitas más elásticas, que la firma afirmaba que se acercaban más a la piel y no la lastimaban. En 1993 apareció la Sensor Excel. Gillette dijo que las hojitas casi se ocultaban y no irritaban la cara. Luego siguió la Sensor 3 con tres navajitas y en 1998, la Mach3, la Mach3 Sensitive, y en 2001, la Mach3 Turbo.

La M3Power es una versión de la Mach3 Turbo con pilas que hacen vibrar a sus cinco hojitas, que poseen además una fina película en sus superficies que la firma describe como "PowerGlide". Gillette Fusion es una máquina con cinco hojitas producida en 2006. La Gillette Fusion Power es un modelo motorizado con pilas agregadas a la máquina Fusion. La Fusion Power emite "micropulses", la firma dice que el temblor resultante, facilita suavemente el deslizamiento de las hojitas sobre la piel. Los modelos Fusion ProGlide y Fusion ProGlide Power fueron lanzados en Estados Unidos en 2010. La serie ProGlide, dice la propaganda, posee hojitas con filos más delgados y con películas lubricantes más finas que los de la serie Fusion lo que les permitiría moverse más fluidamente entre los pelos de la barba.

Los usuarios de todos estos modelos son diversos y con opiniones distintas: algunos, cuando aparece un nuevo modelo, no lo compran y siguen con su modelo antiguo diciendo que

es mejor; otros, en cambio, influenciados por el marketing y el consumismo, van corriendo a comprarlo, ya que creen que es mucho mejor.

La firma **Gillette** es desde 2005 una firma de propiedad de la poderosa compañía internacional Procter & Gamble.

Bibliografía

Libros relacionados con la ingeniería, la ciencia y la educación

E. García Camarero, *La ciencia española entre la polémica y el exilio pasando por el Ateneo de Madrid y la Junta para la Ampliación de Estudios,* www.elgranerocomun.net, Madrid, 2012.

C.J. Lerch y L.A. De Vedia, *El conocimiento tecnologico y el conocimiento ingenieril en la formación del ingeniero para un mundo cambiante,* Buenos Aires, 2013.

D.E. Goldberg, *The Missing Basics& Other Philosophical Reflections for the Transformation of Engineering Education,* Illinois Foundry for Innovation in Engineering Education (iFoundry), University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801 USA, *The future of engineering education and practice, (2013).* (In preparation).

F. Grementieri y C. Shmidt, *Arquitectura, educación y patrinomio. Argentina 1600-1975,* Editorial Pamplatina, Buenos Aires, 2010.

Fundación Escuela Goleta del Bicentenario, *La Escuela Goleta Santa María de los Buenos Aires*, , Buenos Aires, 2010.

N. J. Salvia, *Ingeniería y algo más. Mis 50 años con la Ingeniería,* Editorial Apóstrofe, Jujuy, 2008.

Henry Petroski, *To Enginner is Human. The Role of failure in Successful Design,* Vintage Books, Random House, New York, 1992.

Henry Petroski, *The Essential Engineer. Why Science Alone will not Solve our Global Problems*, Alfred A. Knopf, New York, 1910.

M. Salvadori, *To Enginner is Human. The Role of failure in Successful Design,* Vintage Books, Random House, New York, 1992.

Henry Petroski, *To Enginner is Human. The Role of failure in Successful Design,* Vintage Books, Random House, New York, 1992.

Barnett, Ronald, *Realizing the University in an age of supercomplexity,* The Society for Research into Higher Education & Open University Press, London, 2000.

Bok, Derek, *Universities in the Marketplace. The Commercialization oh Higher Education*, Princeton University Press, Princeton and Oxford, 2003.

Brand, Stewart, *The Media Lab. Inventing the Future at MIT*, Viking Penguin Inc, New York, 1987. *El Laboratorio de Medios. The Media Lab. Inventando el futuro en el M.I.T.,* Ed. Galápago, Buenos Aires, 1988. Prólogo de Horacio C. Reggini.

Bunge, Mario, *Filosofía de la tecnología y otros ensayos,* Fondo Editorial de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Nuevos Tiempos. Nuevas Ideas, Lima, 2012.

Burucúa, José Emilio, *Corderos y elefantes. La sacralidad y la risa en la modernidad clásica –siglos XV a XVII–*, Universidad de Buenos Aires, Miño y Dávila Editores, Buenos Aires, 2001.

Camacho, Horacio C., *Las Ciencias Naturales en la Universidad de Buenos Aires. Estudio histórico*, EUDEBA, UBA, Buenos Aires, 1971.

FIFA, Fédération Internationale de Football Association (English: International Federation of Association Football) is the international governing body of football-soccer games. Its membership comprises 209 national associations and its headquarters are in Zurich, Switzerland. FIFA is responsible for the organisation of football's major international tournaments, notably the World Cup. http://en.wikipedia.org/wiki/FIFA_World_Cup

Fuller, Richard Buckminster, *Operating Manual for Spaceship Earth*, Simon and Schuster Inc, New York, 1969.

García Camarero, Ernesto, *La Ciencia Española, entre la polémica y el exilio,* 2012. Versión digital http:// elgranerocomun.net/La-Ciencia-Espanola-entre-la,323.html.

García Camarero, Julio, *El crecimiento mata y genera crisis terminal,* Libros Catarata, Madrid, 2009.

García Camarero, Julio, *El decrecimiento feliz y el desarrollo humano,* Libros Catarata, Madrid, 2010.
Goowin, Doris Kearns, Team of Rivals: *The Political Genius of Abraham Lincoln,* Simon & Schuster, New York, 2006.
Gvirtz, Silvina, *De la tragedia a la esperanza. Hacia un sistema educativo justo, democrático y de calidad,* Academia Nacional de Educación, Premio Vigésimo Aniversario, Buenos Aires, 2005.
Hoevel, Carlos, *Catholic Business Schools and the Crisis of Academic Industry,* Buenos Aires, 2012.
Kovadloff, Santiago, *Los apremios del día. Notas sobre el presente y sus desafíos*, Emecé Ed., Buenos Aires, 2007.
Laura, Guillermo, *10.000 Km de Autopistas por 10 Centavos*, Fundación Metas Siglo XXI, Ediciones Realidad Argentina, Buenos Aires, 1999.
Laura, Guillermo, *Metas para el año 2010 - Argentinos, a las obras,* Fundación Metas Siglo XXI, Ediciones Xavier Verstraeten, Buenos Aires, 2002.
Laura, Guillermo y Sturzenegger, Adolfo, *Abundancia de lo indispensable para todos. Gobierno + Mercado: Sustentar el desarrollo y derrotar el desempleo*, Pearson-Prentice Hall, Buenos Aires, 2004.
Licklider, Joseph Carl, *Libraries of the Future*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1965.
Magris, Claudio, *Utopía y desencanto. Historias, esperanzas e ilusiones de la modernidad*, Edit. Anagrama, Barcelona, 2001.
Marx, Leo and Smith, Merrit Roe, Eds*., Does Technology drive History? The Dilemma of Technological Determinism,* The MIT Press, Cambridge, 1995.
Minsky, Marvin, *The Society of Mind*, Simon and Schuster, New York, 1986, *La sociedad de la mente. La inteligencia humana a la luz de la inteligencia artificial*, Ediciones Galápago, Buenos Aires, 1986.
Minsky, Marvin, *The Emotion Machine. Commonsense Thinking, Artificial Intelligence and the Future of the Human Mind*, Simon and Schuster, New York, 2006.
Moravec, Hans, *El hombre mecánico. El futuro de la robótica y la inteligencia humana*, Colección Nueva Ciencia, Ediciones TH, Temas de Hoy, Madrid, 1990. Orig.: *Mind Children. The Future of Robot and Human Intelligence*, Harvard University Press, 1988.
Mujica, José, Presidente de la República Oriental del Uruguay, en la cumbre Río+20, *Consumir, comprar y tirar. Búsqueda de felicidad,* Conferencia en el cierre de la 20ª Conferencia Regional de la OIE para las Américas, Montevideo, 20 de junio de 2012. http://www.youtube.com/watch?v=3cQgONgTupo
Negroponte, Nicholas P., *Being Digital*, Alfred A. Knopf, Inc., New York, 1995.
Papert, Seymour, *Mindstorms. Children, Computers and Powerful Ideas,* Basic Books, Inc., New York, 1980.
--- *Desafío a la mente. Computadoras y Educación,* Ed. Galápago, Buenos Aires, 1981. Prólogo de Horacio C. Reggini.
Pigem, Jordi, *Buena crisis. Hacia un mundo postmaterialista,* Ed. Kairós, Barcelona, 2009.
Popper, Karl R., *La responsabilidad de vivir. Escritos sobre política, historia y conocimiento*, Edic. Paidós, Buenos Aires, 1995.
Porter, Luis, *La Universidad de papel. Ensayos sobre la educación superior en México*, Colección Educación Superior, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., 2003.
Postman, Neil, *Tecnopoly. The Surrender of Culture to Technology,* Vintage Books, Random House Inc., New York, 1993.
Postman, Neil, *Amusing Ourselves to Death,* Vintage Books, Random House Inc., New York, 1985, *Divertirse hasta morir. El discurso público en la era del show business,* Ed. de la Tempestad, Barcelona, 1991.
Postman, Neil, *The End of Education. Redefining the Value of School*, Alfred A. Knopf, Inc., New York, 1995.
Postman, Neil, *Building a Bridge to the 18th Century. How the Past Can Improve our Future,* Alfred A. Knopf, Inc., New York, 1999.
Sarmiento, Domingo Faustino, *Abraham Lincoln*, Obras Completas XXVII, Universidad Nacional de la Matanza, Buenos Aires, 2001.
Schifer, Claudio A. y Porto, Ricardo A., *Libertad de expresión y derecho a la información en las constituciones de América,* EDUCA, Ed. de la Universidad Católica Argentina, Buenos Aires, 2010.
Zichichi, Antonino, *Galilei Divine Man*, SEPS, Secretariato Europeo per le Publicazioni Scientifique, Bologna, 2009.

Libros, artículos y notas de Horacio C. Reggini relacionados con la ingeniería, la ciencia y la educación

Alas para la mente. Logo: un lenguaje de computadoras y un estilo de pensar, Ed. Galápago, Buenos Aires, 1983. Prólogo de Hilario Fernández Long.

Logo, Des ailes pour l'esprit, Cedic/Fernand Nathan, Paris, 1983. *Logo, Ali per la mente: il linguaggio di programmazione ideato per l'educazione e il gioco creativo,* Arnoldo Mondadori Editore S.p.a., Milano, 1984.

Problemas de aplicación de computadoras en la enseñanza de la Ingeniería, Report of the Advanced Science Seminar, Summer 1963, on Use of Computers in Engineering Education, College of Engineering and Computing Center, University of Houston and National Science Foundation.

El proyecto MAC del Instituto Tecnológico de Massachusetts para la aplicación de computadoras en escala nacional, IV Jornadas Argentinas de Investigación Operativa, INTI, agosto 1964.

La estructura resistente del Banco de Londres y América del Sud de Buenos Aires, M.I.T. Dep. Civil Engineering, Cambridge, Mass., 1966.

Humanismo y Automatismo (Humanisme et automatisme); *(Computers in classrooms are for people)*, Agora 15, 1984/1, IBI, Roma. *Towards an artisanal use of computers - Their application to the design and study of three-dimensional forms,* LOGO-86 Proceedings of the Third International Logo Conference, M.I.T., Cambridge, Mass., July 1986.

Popper y Papert, Revista del Instituto de Investigaciones Educativas, I.I.E., Buenos Aires, Año 14, N° 63, agosto 1988.

Computadoras: ¿Creatividad o Automatismo?, Ed. Galápago, Buenos Aires, 1988.

Creación y representación de formas tridimensionales, Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Buenos Aires, Tomo 40, 1988. Conferencia de incorporación a la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Ciencia y tecnología en la Argentina,* Diario La Nación, Buenos Aires, 17 de junio de 1990.

El perfil del ingeniero y su papel en la sociedad, Revista Ciencia Energética, Oct.-Dic.1991, Año XXIII, N° 79. Texto de la conferencia pronunciada el 6 de septiembre de 1991 en el Consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista, Buenos Aires.

Reseña histórica de los cables submarinos de comunicaciones y de las telecomunicaciones, Monografía N° 12, Academia Nacional de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales, Buenos Aires, 1995.

Los caminos de la palabra. Las telecomunicaciones de Morse a *Internet,* Edic. Galápago, Buenos Aires, 1996.

Construcción de formas espaciales en computadoras, Revista La Ingeniería del CAI, Centro Argentino de Ingenieros, N° 370, Buenos Aires, diciembre 1986.

Tecnología, palabra y reflexión, Revista Telos 50, julio-septiembre 1997, Fundesco, Madrid, España. Texto de la conferencia pronunciada el 8 de abril de 1997 en el Primer Congreso Internacional de la Lengua Española, "La Lengua y los Medios de Comunicación", Zacatecas, México.

Sarmiento y las telecomunicaciones. La obsesión del hilo, Ed. Galápago, Buenos Aires, 1997.

Comunicaciones, Suplemento Cien años en la vida cotidiana argentina, Diario La Nación, 18 de diciembre de 1997.

Civilización técnica y barbarie política, Anales de la Academia Argentina de Artes y Ciencias de la Comunicación, N° 5, Buenos Aires, 1988. Texto de la conferencia de incorporación, el 7 de mayo de 1998, a la Academia Argentina de Artes y Ciencias de la Comunicación.

El pensamiento de Ismael Quiles ante la técnica y los medios de comunicación social, Revista Signos Universitarios: Identidad y Futuro, Año XVII, N° 33, enero-junio 1998. Texto de la conferencia pronunciada en el ciclo Las humanidades y la ciencia: visión actual y prospectiva, Facultad de Ciencias de la Educación y de la Comunicación Social, Universidad del Salvador, Buenos Aires, 29 de octubre de 1996.

Logo: Philosophy and Implementation in Argentina, chapter on *Computers in Education*, Logo Computers Systems Inc., Québec, Canada, 1999.

AT&T Theodore Vail Leader's Argentine Sojourn: 1895-1906, Comments, AMCHAM, American Chamber of Commerce in Argentina, Vol. 82, N° 1, Buenos Aires, March 2000.

El ejemplo de un ingeniero, Diario *La Nación,* 12 de junio de 2001, Buenos Aires. Reproducido en la *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería,* 6**,** Año 4 (2003), Facultad de Ingeniería de la Universidad de Río Cuarto, Córdoba,.

Educación, ciencia y técnica, Boletín N° 50 de la Academia Nacional de Educación, Buenos Aires, marzo 2002. Texto de la comunicación leída en la sesión de la Academia Nacional de Educación del 1° de octubre de 2001, reproducido en los Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Tomo 53 (2001).

El ingeniero en el presente: perfil y visión, Publicación UCA, octubre 2002, y Revista La Ingeniería del CAI, Centro Argentino de Ingenieros, N° 1081, Buenos Aires, noviembre 2002.

Miradas a la ingeniería actual, Diario La Nación, 28 de octubre de 2002, Buenos Aires. Revista Coordenadas del Consejo Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones, Electrónica y Computación, marzo-abril 2003, Año XVII, N° 58. Revista El Ingeniero de Lima, N° 41, ago./sept. 2003, del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú.

Elogio de la ingeniería, Revista del Consejo Profesional de Ingeniería Industrial, N° 69, Buenos Aires, noviembre-diciembre 2003. Texto de la conferencia en el panel La Ingeniería en la Sociedad, Seminario La Ingeniería en la Obra Pública, Cámara Argentina de Consultoras de Ingeniería (CACI) –de la Federación Panamericana de Consultores (FEPAC)– en el Centro Argentino de Ingenieros, Buenos Aires, 26 de septiembre de 2003. *La educación superior, en la encrucijada,* Diario La Nación, Buenos Aires, 28 de noviembre de 2003. Revista del Consejo Profesional de Ingenieros Industriales, N° 70, Buenos Aires, 2004. Revista Quaderns Digitals, Edición N° 31, España, www.quadernsdigitals.net. Revista *UMAI*, Unión Mexicana de Asociaciones de Ingenieros, México, 2003. Revista Construir, Red Castle Group, Edición N° 13, Costa Rica.

La Universidad en discusión, Boletín de la Academia Nacional de Educación, No. 58, Buenos Aires, octubre 2004. Texto de la conferencia pronunciada, el 7 de junio de 2004, en la Academia Nacional de Educación. Boletín Digital, Nro. 74, Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe, UNESCO-IESALC, 18 de junio de 2004. *Revalorizar la misión de la Universidad,* Boletín de la Academia Nacional de Educación No. 59, noviembre 2004. Texto de la conferencia, el 1° de noviembre de 2004, en la Jornada de Reflexión Anual de la Educación Superior. Diario La Prensa, *Buenos Aires, 4 de noviembre de 2004.*

Algunos principios y comentarios para el diseño de planes de nuevas carreras de ingeniería, Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, N° 56 (2004). Revista La Ingeniería del CAI, Centro Argentino de Ingenieros, N° 1091, octubre-diciembre 2005. Texto de la conferencia pronunciada, el 28 de octubre de 2005, en la Facultad de Ciencias Físico- Matemáticas e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica Argentina.

El futuro no es más lo que era. La tecnología y la gente en tiempos de Internet, EDUCA, Edit. de la Univ. Católica Argentina, Buenos Aires, 2005.

Neil Postman y la educación. Trascendencia en la educación de la palabra y de la historia, Boletín N° 65, Academia Nacional de Educación, Buenos Aires, agosto 2006.

George Steiner y la educación, Boletín N° 287-288, Buenos Aires, Academia Argentina de Letras, sept.-dic. 2006.

Homenaje a Luis Federico Leloir, Boletín N° 287-288, Buenos Aires, Academia Argentina de Letras, sept.-dic. 2006. Texto de la conferencia pronunciada en la Academia Argentina de Letras el 23 de noviembre de 2006.

Eduardo Ladislao Holmberg y la Academia, Ediciones Galápago, Buenos Aires, 2007. Boletín de la Academia Argentina de Letras, t. LXXI, N.° 285/286, mayo-agosto 2006. Texto de la conferencia en la recepción pública como académico de número.

La lengua española en la ciencia, Boletín N° 289-290, Buenos Aires, Academia Argentina de Letras, enero-abril 2007 Texto de la conferencia en el IV Congreso Internacional de la Lengua, Cartagena de Indias, Colombia, marzo de 2007. Revista La Gaceta de Cultura. Idea Viva, N° 25, noviembre de 2007. Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, N° 57 (2007).

El ingenio en la ingeniería argentina, Diario La Nación, 25 de agosto de 2009.

Año Internacional de la Astronomía. Noticias de la ciencia a 400 años de Galileo y a 200 de Darwin, Boletín No 80, Academia Nacional de Educación, Buenos Aires, abril 2010.

Tradición y Modernidad de la Ingeniería Argentina, Boletín COPITEC, diciembre 2010. Texto de la conferencia de apertura, el 21 de octubre de 2010, del Primer Congreso Argentino de Tecnología de Información y Comunicaciones: "Las Nuevas Tecnologías en la Sociedad de la Información y del Conocimiento".

El futuro sigue sin ser lo que era, Academia Nacional de Educación, Serie Abordajes N° 2, Buenos Aires, abril 2011.

Put a Brain in Your Camera: Nonstandard Perspectives and Computer Images in the Arts, "Mind, Brain, and Education", pp. 12-18, March, 2011. http://onlinelibrary.wiley.com/ doi/10.1111/j.1751-228X.2011.01104.x/full#ss5

El mundo al compás del Twitter, Revista Criterio, N° 2375, octubre 2011.

Steve Jobs: el mago de las herramientas, Revista Criterio, N° 2376, noviembre 2011.

Praga: la ciencia, el arte y la magia, Revista Criterio, N° 2377, enero/febrero 2012.

El búho vuela a toda hora. Owls fly at all times, Ed. Galápago, *Buenos Aires,* 2012.

Prólogo al libro *Sarmiento, los ríos y el mar argentinos* de Néstor A. Domínguez, Editorial Instituto de Publicaciones Navales, Buenos Aires, 2012.

El retorno del libro y sus metamorfosis. Back to Books and their Metamorphosis, Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture, Seventh International Summer School on Mind, Brain and Education, Teaching: A New Frontier of the Neurocognitive Education and Culture, Erice, Sicilia, Italia, 4 de agosto de 2012. Revista Fundación Cultural, Fundación Cultural Santiago del Estero, No 52, 2012.

La enseñanza de la Ingeniería en el siglo XXI, Editorial Galápago, Buenos Aires, 2013.

ALGUNOS COMENTARIOS RESPECTO DE LA EDUCACIÓN DE LOS INGENIEROS HIDRÁULICOS

Raúl Antonio Lopardo (*) y María Cecilia Lopardo

Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Argentina
rlopardo@ina.gob.ar

Resumen

Un análisis cuidadoso de los sucesos acaecidos en los últimos cincuenta años indica la necesidad de introducir modificaciones conceptuales en la formación de los ingenieros en este nuevo siglo XXI. Esta conclusión se sustenta en la ocurrencia de notables cambios en el panorama socioeconómico del mundo e incluyen aspectos fundamentales, entre otros menos evidentes, la revolución informática y la revolución ambiental. Por otra parte, es fundamental desarrollar el espíritu de la experimentación, de la búsqueda de datos reales, del análisis de información obtenida probablemente mediante los más modernos instrumentos a los que las revoluciones electrónica e informática han permitido acceder. La indispensable formación ambiental del ingeniero no puede ser alcanzada mediante la mera incorporación de temas aislados o mediante una única materia. Para una moderna pedagogía de la Ingeniería Hidráulica es esencial desarrollar el método de "aprender a aprender". Por ello, será necesaria la previa formación personalizada de los docentes de todas las materias de la carrera, posiblemente a través de un equipo de especialistas dedicados a la "formación de formadores". Finalmente, debe revertirse la falla que se manifiesta en la formación de los especialistas en cuanto a su capacidad de comunicar en tiempo y forma sus proyectos hidráulicos a la sociedad y expresar sus beneficios, costos e impactos de modo creíble para su comprensión.

Palabras clave: *educación, experimentación, ambiente, ingeniería hidráulica*

Abstract

Some comments about the hydraulic engineers' education. A careful analysis of the events of the last fifty years indicates the need for conceptual changes in the training of engineers in this new century. This conclusion is based on the occurrence of important changes in the world socio-economic point of view and includes fundamental aspects, among other less obvious, such as the information revolution and the environmental revolution. Moreover, it is essential to develop the spirit of experimentation, to search real data, to analysis the information obtained probably by the most modern instruments that electronic and information revolutions have allowed access. The necessary Environmental Engineer training cannot be achieved by mere incorporation of isolated issues or by a single subject. For a modern pedagogy of Hydraulic Engineering is essential to develop the method of "learning to learn". It will therefore be necessary first of all to customized training for teachers of all subjects of the profession, possibly through a team of specialists dedicated to "training of trainers". Finally, the fault manifested in the training of specialists must be reversed in their ability to communicate in time and form its hydraulic projects to the society and express their benefits, costs and impacts for their understanding credibly.

Key words: *education, experimentation, environment, hydraulic engineering*

Introducción

Puede adquirirse una idea acabada de la importancia social de la Ingeniería si se piensa que involucra las obras más gigantescas y los insumos más pequeños que haya construido

el hombre en su historia, llevando bienestar y desarrollo a zonas naturalmente inhóspitas. Como contrapartida, esta relevancia se ve enfatizada si se analizan los lamentables accidentes de las grandes obras y los ruinosos resultados de tecnologías erróneas. Los mismos plantean graves consecuencias sociales que pueden incluir fuertes pérdidas de vidas humanas, desastres económicos y alteraciones dramáticas irreversibles del medio natural. Es que la historia de las realizaciones prácticas de la Ingeniería está jalonada por monumentales demostraciones de capacidad e inventiva, pero reconoce también importantes desaciertos.

Un análisis cuidadoso de los sucesos acaecidos en los últimos cincuenta años indica la necesidad de introducir modificaciones conceptuales en la formación de los ingenieros del siglo XXI. Esta conclusión se sustenta en la ocurrencia de notables cambios en el panorama socioeconómico del mundo e incluyen aspectos fundamentales, entre otros menos evidentes, la revolución informática y la revolución ambiental [1].

El auge de la modelación matemática, fundada en aparentes menores costos y mayor agilidad de alternativas para probar en tiempos limitados, ha puesto en tela de juicio la evolución futura de las técnicas experimentales sin observar que aún es indispensable dedicar grandes esfuerzos en la hidráulica experimental, pues la cantidad y variedad de fenómenos y problemas a estudiar por esa vía resultan muy numerosos y muy importantes para la ingeniería y en el campo de las ciencias del ambiente. La investigación experimental ha sido históricamente la que efectivamente ha ampliado las fronteras del conocimiento en el campo de la hidráulica, así como la que brindara una base para la formación de ingenieros hidráulicos con sólidos conceptos físicos sustentados en la observación real de fenómenos complejos de la mecánica de fluidos y del comportamiento de las obras.

1. La formación del ingeniero

La Ingeniería está íntimamente vinculada al desarrollo de la comunidad. Su relación con aspectos energéticos y productivos no le permite permanecer ajena a estos cambios, de modo que debe incorporar las ideas propugnadas por las revoluciones informática y ambiental, a fin de seguir siendo útil para la sociedad.

La revolución informática, asociada al éxito de la electrónica, ha permitido que la ingeniería convencional presente hoy medios insospechados para atacar los problemas más complejos. Sólo a modo de ejemplo muy parcial, es posible citar el caso de la información satelital, desde el posicionamiento mediante GPS, que ha permitido demostrar con precisión la deriva de los continentes, hasta la utilización de imágenes satelitales para el monitoreo y alerta de desastres de origen hídrico.

Sin duda, las tecnologías de la información ofrecen una nueva infraestructura que ha de modificar las formas de aprender, pero se corre el peligro de utilizarlas para hacer, en rigor, lo mismo que se hacía antes y, a veces, peor. "Ante el avance de la marea informática parece cundir la ilusión de que Internet es la piedra filosofal, y se olvida que el contexto para el desarrollo humano, la educación, es siempre una cultura, nunca una tecnología aislada" [2].

Como lo expresa el mismo autor "suponer que cualquier contenido de la era digital posee excelencia por el mero hecho de estar representado en el nuevo lenguaje, es caer en una nueva forma de fundamentalismo. Debe tenerse presente que la difusión de información no reemplaza el verdadero sentido de la educación, que no es precisamente la mera obtención de datos". La masa desbordante de información hoy disponible supera las posibilidades de comprensión y asimilación de quien quiera incorporar verdaderos conocimientos. Leonardo Da Vinci, ese notable ingeniero hidráulico que alcanzara la fama por otras vertientes de su notable creatividad, supo decir simplemente: "si hablamos del agua, primero la experiencia y luego la razón", expresando de modo implícito la importancia de la investigación experimental para el conocimiento de los fluidos.

La experimentación hidráulica presenta una rica y prolongada historia de nombres ilustres. Ella ha evolucionado paulatinamente desde los tiempos más remotos a través de perplejidades y tropiezos, errores y aciertos, disputas y plagios, propuestas y constataciones de teorías efímeras, transitorias o perdurables. Hoy, sigue siendo fundamental en la formación de los ingenieros.

Con respecto a la revolución ambiental, debe tenerse presente que desde hace ya varios años se viene produciendo una toma de conciencia a nivel mundial referida a la necesidad de resguardar al planeta de la inminente degradación del ambiente. Es por ese motivo que en los claustros universitarios es tema de debate definir la mejor manera de formar profesionales capacitados para las diversas actividades que plantean esos estudios ambientales.

La característica más saliente de los estudios ambientales es que requieren una comunicación fluida de especialistas de variadas disciplinas, a priori de difícil compatibilidad. Es por ello que se habla de "grupos transdisciplinarios", que implican mucho más que la acción individual de personas que ponen en juego los conocimientos de su especialidad independientemente del resto [3]. Para ello, una adecuada contribución es formar ingenieros con amplitud de criterio para el desarrollo sostenible.

La sustentabilidad es un laborioso proceso de cambios pactados. Es un camino hacia un objetivo asintótico, dotado de nuevos códigos de conducta. El concepto ambiental debe estar presente en todos los pasos de cualquier proyecto de ingeniería, como un requerimiento adicional. El objetivo debe ser formar un ingeniero para el desarrollo sostenible, capaz de producir proyectos que sean estables y factibles no sólo técnicamente sino también ambientalmente. Este objetivo básico no puede ser alcanzado mediante la mera incorporación de temas aislados o mediante una única materia.

Esos temas deben estar presentes durante el dictado de todas las materias para una formación integral del ingeniero, independientemente de su posterior especialización en temas ambientales para participar en equipos de evaluación de impacto. Esta metodología requiere de la previa formación personalizada de los docentes de todas las materias de la carrera, posiblemente a través de un equipo de especialistas dedicados a la "formación de formadores", que sea capaz de transferir a cada profesor la mejor manera de plantear los aspectos ambientales en su cátedra.

Dado lo vertiginoso de los cambios que se producen el egresado debe estar preparado con una sólida formación básica en la especialidad, debe estar comprometido con la sociedad y debe estar capacitado para su permanente actualización. Para ello se requiere efectuar una cuidadosa selección en la masa desbordante de informaciones disponibles para poder alcanzar una mejor interpretación.

Una premisa general de la educación del nuevo milenio estará centrada en asegurar la reflexión en torno a la idea de un nuevo modelo de desarrollo que sea más respetuoso de la naturaleza y de los ritmos del individuo. Podría convenirse que la educación se basa en cuatro pilares [4]: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a convivir y aprender a ser. Para "aprender a conocer" es indispensable combinar una cultura general suficientemente amplia con la posibilidad de profundizar los conocimientos en un pequeño número de materias, lo que supone además poder aprovechar las posibilidades que ofrece la educación formal e informal a lo largo de la vida.

Es necesario "aprender a hacer" a fin de adquirir no sólo una calificación profesional sino una competencia que capacite al ingeniero para hacer frente a gran número de situaciones de carácter técnico.

"Aprender a convivir" implica el desarrollo de la comprensión hacia el otro y la percepción de las formas de interdependencia, capacitando al estudiante al trabajo en equipo, a realizar proyectos comunes y prepararse para tratar la solución de conflictos.

Finalmente, debe destacarse el *aprender a ser*, para que florezca mejor la propia personalidad y se esté en condiciones de obrar con creciente capacidad de autonomía, de juicio

y de responsabilidad personal. Con tal fin no se debe menospreciar en la educación ninguna de las posibilidades de cada individuo: memoria, razonamiento, sentido estético, capacidades físicas, pero también aptitudes para comunicar...

Una contribución valiosa para que ese aprendizaje continúe a lo largo de toda la vida se produce a través del acceso a nuevos conocimientos que pueden lograrse con adecuada sinergia entre las universidades, los institutos de investigación y las asociaciones profesionales.

2. La formación del ingeniero hidráulico

En la Argentina no es habitual otorgar el diploma de "Ingeniero Hidráulico". De las siete universidades nacionales tradicionales que conformaban hasta la década del sesenta el nivel universitario nacional, sólo ello era posible en la Universidad Nacional de La Plata. En el presente se propugna que esa carrera continúe y, además, que se mantenga el nivel de conocimientos que distinguieran también a los ingenieros civiles de la Universidad Nacional de La Plata en ese campo temático. Se pueden considerar algunas razones fundamentales para que se continúe con esta especialidad: a) la necesidad de crecimiento de América Latina, que impone disponer de expertos en recursos hídricos para sus obras de protección contra desastres, generación hidroeléctrica, caminos, puentes, saneamiento, puertos y vías navegables, b) el evidente crecimiento de demanda de profesionales especialistas en temas del agua, en virtud de los requerimientos que se observan en la Argentina en sectores públicos y privados, c) que gran parte de las inversiones del Banco Mundial y el BID en obras que se anuncian en el país están ligadas a aspectos del agua, y d) la tradición e historia de la especialidad hidráulica en la Universidad Nacional de La Plata, conocida y respetada más allá de las fronteras del país .

El diseño de una obra hídrica exige el estudio hidrológico que determina una "crecida de diseño" y un proyecto hidráulico de la estructura de control y del cuenco amortiguador de energía, sujeto a flujo de alta turbulencia. Ello supone un desafío a la hidrología y a la hidráulica para su correcto dimensionado.

El 50% de las obras menores argentinas fueron diseñadas y construidas antes de la década del cincuenta, es decir previamente a la aplicación al menos de la teoría del hidrograma unitario, que importara el Ing. Félix Langmann de su visita por los Estados Unidos. Ellas no han sido convenientemente evaluadas para definir una crecida de diseño, por lo que en realidad, hoy no se tiene conocimiento del riesgo que cada una de ellas implica para el medio.

Por otra parte, el diseño de disipadores de energía de estructuras hidráulicas desde un punto de vista global y macroscópico ha merecido numerosas investigaciones en el pasado cercano, estando suficientemente consolidado en la actualidad. A pesar de lo expuesto, los problemas y defectos de esas estructuras no tienden a disminuir. El retraso argentino en la concreción de sus mayores emprendimientos en la materia, la velocidad del crecimiento de la electrónica y la informática (que han permitido acceder a una nueva tecnología y contar con medios adecuados) y la participación de un laboratorio nacional en la casi totalidad de los proyectos nacionales y binacionales, han permitido desarrollar una nueva tecnología para analizar ese tema [5].

A través de ese trabajo experimental se ha tratado de superar el viejo modelo de la hidráulica de los valores medios utilizado para estudiar fenómenos en la realidad regidos por variables de valores instantáneos, de carácter aleatorio, determinados y analizados a través de instrumentos y medios de tratamiento de datos impensables hace cuarenta años. Ese cambio casi filosófico no es menor, si se piensa que la mayoría de los textos de grado en las diversas facultades de ingeniería del país no han tomado nota de este proceso.

3. La ingeniería, el agua y los medios de difusión

En oportunidad de la participación de uno de los autores como panelista oficial por la República Argentina en "Tribuna del Agua", dentro del marco de la Exposición Internacional Zaragoza 2008, durante la semana correspondiente al campo temático "Agua y Sociedad", se planteó un interesante debate acerca del tratamiento de aspectos sobre el agua en los medios de comunicación [6]. Dentro de lo complejo y amplio del tema se ha tomado nota de la particular relevancia que el país anfitrión le otorgaba a los medios televisivos, a los que se les asignara una fundamental acción sobre la información de la sociedad en su conjunto [7].

El tema de mayor interés y controversia se planteó en una encuesta sobre la participación en los "telediarios" españoles de los temas del agua. En términos generales, resultados preliminares de este trabajo, que estaba en ese momento sin concluir, destacan que el 74% de la población de España se informa sólo a través de la televisión, en particular de los noticieros, a los que se da crédito muy por encima de los "programas de opinión", que se estima no son suficientemente objetivos. Para el público masivo, la "noticia" dada por el locutor es impersonal y digna de confianza, mientras que la de otros programas está teñida de tintes ideológicos. Este resultado pone de manifiesto la enorme responsabilidad de quienes dirigen estos noticieros, pues son dueños de una suerte de "verdad absoluta".

Por otra parte, ha surgido de esa encuesta que de cuatro mil noticias censadas en cuatro telediarios durante un período de dos meses sólo el 3,8% de ese volumen informativo tuvo relación con temas del agua. Dentro de ese escaso total, el periodista menciona que el 32% se refiere a lluvias, el 20% a inundaciones de cursos fluviales, el 28,6% a problemas oceánicos, en particular a contaminación de regiones costeras, el 11,3% a sequías y sólo el 8% a la gestión de los recursos hídricos.

Según fue planteado, los telediarios presentan en general una imagen catastrófica del agua, así como una marcada preocupación por la salud ambiental de los océanos. Ellos presentan en cambio escaso interés en cuestiones de carácter tecnológico, económico, social y político vinculadas con la gestión del agua. El periodista considera el agua, a la que se asocian los desastres, como parte de la "estética de lo sublime", por lo que la belleza siniestra de los fenómenos es la que sigue dominando en las informaciones televisivas.

Para hacer frente a esta problemática, será necesario contar con ingenieros hidráulicos capaces de elaborar material adecuado para su difusión en los medios de comunicación o tener la capacidad de enfrentar a esos medios con participación activa.

Al margen de la importancia de la difusión de los proyectos a través de medios masivos, es de fundamental importancia que el ingeniero tenga una adecuada formación para integrar grupos transdisciplinarios que puedan abarcar aspectos ambientales.

El ingeniero hidráulico debe estar capacitado para mantener un constructivo diálogo con los miembros de la sociedad, para prestar atención a sus reclamos y opiniones y, en caso de estar seguro de poseer la alternativa de obra más conveniente, debe tener la disposición, interés y habilidad para transmitir ese proyecto a esos medios sociales y defenderlo con convicción, pero alertando siempre acerca de sus impactos negativos así como exponiendo claramente los positivos. Por otra parte, se observa la necesidad cada vez mayor de que el ingeniero deba difundir sus conocimientos en lenguaje comprensible para el resto de la sociedad, a través de su presencia en audiencias públicas y reuniones de discusión política o popular, donde la influencia de los medios de comunicación resulta también determinante.

Tomando el caso de audiencias públicas, el profesional debe estar preparado no sólo para hacer frente a críticas y objeciones respecto de los eventuales impactos de su proyecto, sino para mostrar con equilibrio y comprensión que las opiniones del medio social serán tenidas en cuenta, evaluando la pertinencia de las mismas sin descalificaciones previas. Debe actuar con amplio criterio docente y explicar de modo adecuado la razón de las decisiones tomadas.

El caso más complejo puede darse cuando el ingeniero se encuentra ante una comunidad que ha sufrido los efectos destructivos de un desastre de origen hídrico y es convocado a una reunión con dirigentes, periodistas y afectados. Allí debe centrarse en transmitir las causas reales, en general más de una, tratando de plantear las posibles soluciones, aunque el interés esté focalizado en la búsqueda de culpables, en los que los medios de comunicación y la sociedad misma están normalmente interesados.

Conclusiones

Incumbe a la educación la tarea de inculcar las bases culturales que permitan descifrar en la medida de lo posible el sentido de las mutaciones que se están produciendo aceleradamente. Estando las revoluciones informática y ambiental en marcha, los sistemas educativos deben responder entonces a los múltiples retos que les lanza la sociedad de la información, en función siempre de un enriquecimiento continuo de conocimientos y del ejercicio de una ciudadanía adaptada a las exigencias de la época y del ambiente. Por lo tanto, cabe pensar sólo un profesional con sólida formación básica estará en condiciones de afrontar las exigencias futuras.

Como el número de temas a proponer para una carrera de grado está limitado por el tiempo existe una verdadera crisis en la definición de las materias que son indispensables para la formación de cualquier especialidad de ingeniero. En consecuencia, se sugiere poner el énfasis en las materias formativas y en una adecuada educación científica desde los niveles más elementales. Para ello se requiere efectuar una cuidadosa selección de informaciones disponibles para poder alcanzar una mejor interpretación.

La investigación experimental ha sido históricamente la que efectivamente ha ampliado las fronteras del conocimiento en el campo de la hidráulica, así como la que brindara una base para la formación de ingenieros hidráulicos con sólidos conceptos físicos sustentados en la observación real de fenómenos complejos de la mecánica de fluidos y del comportamiento de las obras. Por ello, su fortalecimiento resulta una misión ineludible de las instituciones que seriamente tienen como objetivo la investigación y desarrollo en el ámbito de las ciencias del agua, las que deben brindar la máxima atención al mantenimiento de las instalaciones, equipamiento e instrumentación de sus laboratorios especializados y a la formación de recursos humanos en las diversas líneas experimentales.

Además, un importante problema que hoy enfrentan las obras hidráulicas, sumado a temas de financiamiento, es la necesidad de revertir una imagen desafortunada ante los sectores sociales a los que tiene el propósito de beneficiar.

En general, la opinión del profesional capacitado es habitualmente puesta en tela de juicio por los propios periodistas y supuestos idóneos. Sin embargo, ello no sólo es culpa de los periodistas y los grupos económicos que los contienen, pues debe reconocerse que existe una falla en la formación de los ingenieros en cuanto a su capacidad de difundir en tiempo y forma sus proyectos a la sociedad y expresar sus beneficios, costos e impactos de modo creíble para su comprensión. Se requiere un gran esfuerzo en la educación del ingeniero actual para lograr que los profesionales del futuro puedan estar preparados para revertir una debilitada imagen.

Referencias Bibliográficas

[1] Lopardo, R.A. y Bombardelli, F., On the interdisciplinary formation for the water-environment engineering, en A. Van der Beken, M. Mihailescu, P. Hubert & J. Bogardi (Eds) , *"The Learning Society and the Water-Environment",* UNESCO, París, 1999, pp. 158-162.

[2] Reggini, H.: *Internet no resolverá todos los problemas*. La Nación, Buenos Aires, 4 de julio, 2000.

[3] Delors, J., *Learning: the Treasure Within,* UNESCO, Paris, 1996.

[4] Pesci, R., *La ciudad de la urbanidad,* Kliczowski Publisher, ASPPAN, 1999.

[5] Lopardo, R.A., Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, tomo 46, 1994, pp. 95-100.
[6] Lopardo, R.A.: *La educación experimental y ambiental en las ciencias del agua*, "Expo-Zaragoza 2008", (http://www.tribunadelagua.es/ media/ uploads/ repositorio_ficheros/S-Panelista_Antonio_ Lopardo-PPT.pdf), Zaragoza, 2008
[7] Lopardo, R.A. y Lopardo, M.C.: *FIDS World Engineering Congress* (http://www.ingenieria2010-argentina.info/programa/ programaExtendido.php? sala_=20&dia_=11&idioma=), Buenos Aires, 2010

CIENCIA Y TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PRODUCTIVA

Eduardo N. Dvorkin

e-mail: edvorkin@simytec.com

Resumen

En el presente trabajo se discute la relación entre ciencia, tecnología y técnicas productivas, como así también la relación entre ciencia aplicada e ingeniería. La innovación productiva, entendida como el proceso que lleva a la creación e introducción en el mercado de un producto nuevo o de un servicio nuevo para una empresa es analizada. Se discute asimismo el esquema con que nuestro país puede acoplar la ciencia y la tecnología para aumentar el valor de la producción nacional.

Palabras clave: ciencia, tecnología, innovación.

Abstract

In this paper we discuss the relationship between science, technology and production techniques, as well as the relationship between applied science and engineering. Technological innovation, understood as the process leading to the creation and introduction in the market of a new product or a new service for a company is analyzed. A scheme that can lead to the interaction between science and technology, to increment the value of our national production, is also discussed.

Key words: science, technology, innovation.

1. Ciencia, Tecnología y Técnica

Es necesario diferenciar entre tres conceptos que utilizaremos en lo que sigue: *técnica, tecnología y ciencia* [Dv-1996] y [Dv-1997].

El concepto de *técnica* lo utilizamos en relación a los procesos físicos mediante los cuales se le da forma a los materiales con los medios de producción disponibles: los útiles (herramientas) y los instrumentos (herramientas para hacer herramientas).

El concepto de *tecnología* es más abarcativo: definimos a la tecnología como el conjunto de habilidades, conocimientos, útiles, instrumentos y organización que permiten producir un bien o servicio [Br-1993].

Siguiendo a Bernal [Be-1986], intentaremos una aproximación gradual al concepto de *ciencia*:

a. Conocemos y nos es fácil identificar lo que se denomina el *método científico* (ver Figura 1): el estudio de un fenómeno determinado comienza con la observación del mismo, seguida de la formulación de hipótesis sobre el mecanismo causa - efecto inherente a dicho fenómeno (abstracción). El paso subsiguiente en el método científico es comprobar la validez de las hipótesis formuladas mediante la experimentación; es decir, mediante la reproducción controlada del fenómeno en estudio. El paso experimental permite corroborar las hipótesis formuladas o provee datos para su corrección o indica la necesidad de reformular dichas hipótesis.

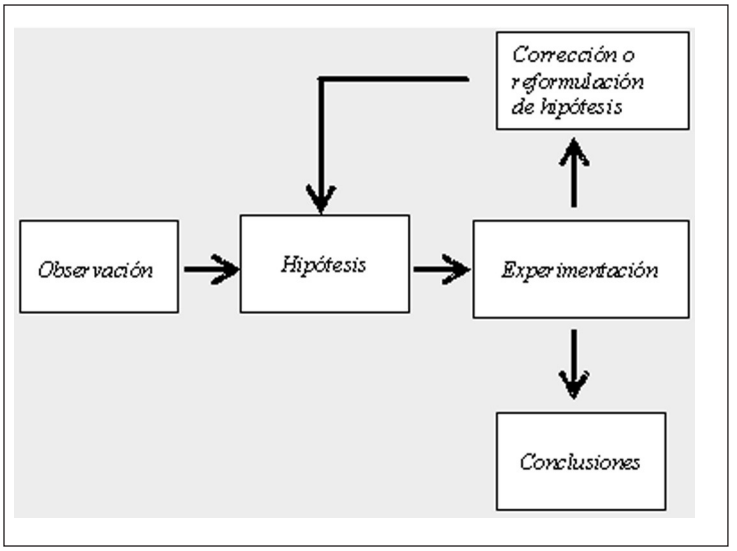


Figura 1. El método científico

b. Podemos también distinguir los *aparatos científicos*; es decir, instrumentos de medición y análisis usados en las fases de observación y experimentación, cuando para el estudio de un fenómeno se utiliza el método científico.
c. Identificamos un lenguaje diferenciado del cotidiano, que es utilizado por quienes empleando como herramienta al método científico trabajan sobre temáticas afines. Es el denominado *lenguaje científico*.
s. Aquellos que utilizan el método, los aparatos y el lenguaje científico conforman una *comunidad científica* que intercambia experiencias, que establece valoraciones de las diferentes contribuciones que realizan sus miembros (juicio de pares), que produce sus publicaciones, etc. A los miembros de la comunidad científica los denominamos *científicos*.

Por lo tanto, siguiendo a Bernal, podemos definir como *ciencia* a aquello que hacen los científicos.

Es importante resaltar algunas diferencias notables entre ciencia y tecnología:

a. *El fin último:* la ciencia trabaja sin necesidad de imponerse un objetivo final, en tanto que la tecnología es dependiente de dicho objetivo final [Ca-1995] (por ej., se desarrolla tecnología para fabricar tal producto en tales condiciones y con tales medios, pero se estudian científicamente las propiedades de un material independientemente de la posibilidad o aún de la necesidad de producirlo).
b. *La propiedad del resultado:* en ciencia la propiedad es social, los resultados y las teorías que se desarrollan se publican; todo aquél que tenga los conocimientos necesarios para acceder a la lectura de una publicación científica puede disponer de los resultados y teorías publicadas e incorporarlas a su propio trabajo o demostrar su no-validez. En tecnología el resultado es decididamente una propiedad particular [Br-1993] (y no nos referimos a ningún sistema económico en especial, puede ser propiedad de una empresa, privada, cooperativa o estatal).
c. *La difusión de los resultados:* en ciencia la difusión es amplia e irrestricta. En tecnología, la difusión es restringida, existen las patentes que supeditan la difusión de una nueva tecnología o producto a la voluntad de su propietario, al menos por un cierto tiempo a partir de la introducción de la novedad; pasado ese tiempo la novedad pasa a ser propiedad social de libre difusión.

El desarrollo: en la ciencia es acumulativo, tal como lo describió Isaac Newton "*Yo vi más lejos porque estaba parado sobre los hombros de gigantes"* (cit. en [Wi-1994]). En tecnología, por el contrario, la característica es el desarrollo desigual y el avance a saltos.

La metodología: la ciencia adopta una tecnología excluyente, el método científico (Figura 1). En tecnología no hay una metodología preferencial; desde el tecnólogo intuitivo hasta el desarrollo basado en la aplicación de una metodología científica, pasando por la copia y adaptación, son todas metodologías válidas.

La repercusión: en un desarrollo científico puede ser inmediata o diferida; invariablemente en tecnología se busca un impacto inmediato.

Como punto en común debemos anotar que tanto la ciencia como la tecnología tienen alta repercusión lateral: se pueden realizar desarrollos en una disciplina y obtener resultados inmediatamente aplicables en otra. Norbert Wiener [Wi-1994] proporciona un ejemplo de investigadores que trabajando en la formulación matemática de problemas de combustión, encontraron que el desarrollo matemático que habían realizado era directamente aplicable a la descripción de problemas de epidemiología.

Las diferencias y similitudes entre ciencia y tecnología las resumimos en la Tabla I

Ilustramos nuestra visión de las relaciones entre ciencia, tecnología y técnica con el diagrama de la Figura 2. Como aportes *no-científicos* al desarrollo tecnológico podemos listar entre otros: la intuición educada, el método de prueba y error, la copia y adaptación, la compra de tecnología incorporada en equipos, la compra de *"know-how"*, etc.

Tabla I.– Ciencia y Tecnología

	CIENCIA	TECNOLOGÍA
PROPIEDAD	Social	Particular
FIN ULTIMO	Independiente	Dependiente
DIFUSIÓN	Irrestricta	Restringida
DESARROLLO	Acumulativo *"Yo vi más lejos porque estaba parado sobre los hombros de gigantes"* *Isaac Newton* *citado en [Wi-1994]*	Desigual
METODOLOGÍA	Científica	Indiferente
REPERCUSIÓN EN EL TIEMPO	Inmediata o diferida *Método de Jacobi para cálculo de autovalores/autovectores presentado hace más de un siglo y hoy de utilización intensiva en algoritmos computacionales*	Inmediata
REPERCUSIÓN LATERAL	Mucha *La descripción matemática de problemas de combustión y epidemiología es similar* *N. Wiener*	Mucha

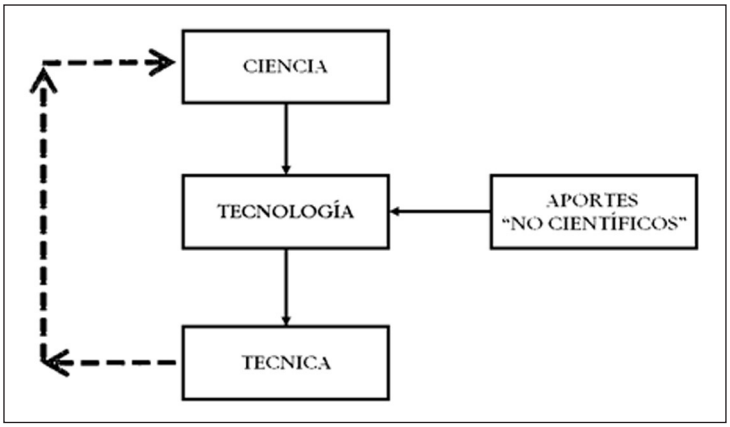


Figura 2. Relación entre Ciencia y Tecnología

Interpretando esquemáticamente el diagrama de la Figura 2 concluiríamos que el desarrollo científico debe necesariamente preceder al desarrollo tecnológico. Esto no es necesariamente así, ni ha ocurrido así históricamente. Bernal [Be-1986] propone los siguientes ejemplos:

- los remos y las balanzas eran usados antes de que Arquímedes formulara la ley de la palanca. Sin embargo, la ley de la palanca proporcionó un concepto que a posteriori permitió el desarrollo de aplicaciones tecnológicas más complejas que las de remos y balanzas;
- la construcción de catedrales durante la edad media se realizaba antes de que existiesen los conocimientos científicos que posibilitan el cálculo estructural de las cúpulas.

La línea punteada que en la Figura 2 va desde la técnica a la ciencia esquematiza el hecho de que muchos desarrollos técnicos tuvieron importante influencia sobre posteriores avances científicos : un ejemplo es el de la construcción de relojes mecánicos que instaló la posibilidad de desarrollar instrumentos científicos de precisión, poniendo además de manifiesto la necesidad de explicar científicamente algunos fenómenos dinámicos sobre los que se basa el funcionamiento de un reloj mecánico : la primera evidencia de un mecanismo de reloj mecánico data del 1286 [Ca-1995] y las bases científicas que permiten describir el funcionamiento de un reloj mecánico (y perfeccionarlo) se tuvieron recién gracias a los estudios de Galileo (1564-1642) y Newton (1643-1727).

2. La cadena de I+D científico - tecnológico

En una sociedad determinada, la posibilidad de generar aportes científicos al desarrollo tecnológico implica el pre-requisito de haber establecido en dicha sociedad la que llamaremos *cadena de I+D (investigación y desarrollo) científico - tecnológico* y que esquematizamos en la Figura 3.

En esta figura hemos esquematizado cuatro áreas de trabajo (investigación en ciencia, I+D industrial, implante industrial y producción industrial) mostrando solapes entre ellas. Estas superposiciones son indispensables para que el sistema funcione; sin embargo, si en un dado caso las zonas de superposición son demasiado extensas, existe un problema de definición de funciones / objetivos. En el gráfico también mostramos las cuatro instituciones normalmente ligadas a las áreas de trabajo descriptas.

Los ámbitos típicos para desarrollar investigación científica son las instituciones sin fines de lucro: universidades, algunos laboratorios nacionales y fundaciones.

Los ámbitos de desarrollo tecnológico son las empresas (privadas, cooperativas o estatales) del sector productivo o de servicios.

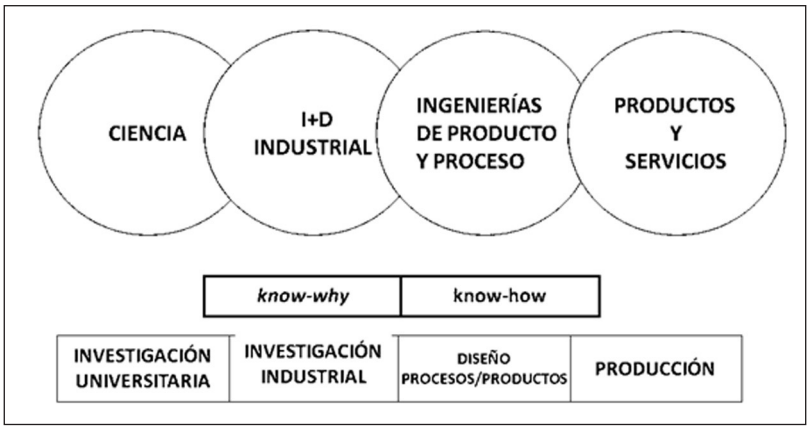


Figura 3. Cadena de I+D científico - tecnológico

La investigación científica aplicada puede ser compartida por ambos tipos de instituciones.

Es fundamental comprender que un desarrollo tecnológico puede involucrar un desarrollo científico (ciencia aplicada) pero lo excede.

El tecnólogo no solo debe desarrollar un producto o proceso en abstracto sino que debe ocuparse de una diversidad de temas conexos. Por ejemplo,

- Durante el desarrollo de un nuevo proceso o la optimización de un proceso existente: de la posibilidad de suministro de materia prima adecuada, de la posibilidad de obtener un adecuado suministro de energía, de identificar la maquinaria adecuada al proceso, de identificar los instrumentos de medición adecuados, de estudiar la estabilidad del proceso frente a cambios aleatorios de las variables de control, etc.
- Durante el desarrollo de un nuevo producto: de la posibilidad de su fabricación utilizando la maquinaria disponible, de desarrollar controles de calidad sobre la materia prima a ser utilizada, de establecer límites de tolerancia que no desvirtúen las propiedades del nuevo producto ni encarezcan innecesariamente su producción, de analizar la estabilidad de las propiedades del producto en una fabricación seriada, etc.

Resulta evidente que el desarrollo tecnológico, con la definición que del mismo hemos venido utilizando, no puede desarrollarse en el ámbito universitario.

Sin embargo es posible, y de hecho es normal en el mundo, que empresas productivas o de servicios financien en las universidades ciertos desarrollos científicos en los que están interesados para sus desarrollos tecnológicos: ciencia aplicada desarrollada por encargo de estas empresas.

Con el esquema de la Figura 3 no queremos significar que el desemboque necesario de toda producción científica sea concatenarse en un desarrollo tecnológico, ni que todo desarrollo tecnológico deba ser precedido por investigación científica.

La investigación científica guiada por curiosidad es un valor en si mismo: por sus potencialidades como creadora de conocimientos y por su rol en la formación de futuros científicos e ingenieros. Es correcto y necesario que nuestro país haga todo lo necesario para promocionar la investigación científica de calidad.

El desarrollo tecnológico no requiere como pre-requisito imprescindible un poderoso sistema científico que lo respalde y el caso coreano es un ejemplo destacado de esto [KL-1999].

Sin embargo, cuando un país logra acoplar el sistema científico y el desarrollo tecnológico, ese país puede dar un salto cualitativo en la producción de valor agregado.

La visión sobre este tema de Vannevar Bush, fundador de la NSF [Bu-1944]:

> *"Los avances de la ciencia, cuando son puestos en uso práctico, producen más puestos de trabajo, mayores sueldos, menos horas de trabajo, cosechas más abundantes, más horas de descanso y recreación, más tiempo para estudiar y para aprender cómo vivir sin el trabajo penoso que ha sido la carga del hombre común en las épocas pasadas.*
>
> *Los avances en la ciencia también traerán mayores estándares de vida, conducirán a la prevención ó cura de enfermedades, van a promover la conservación de nuestros limitados recursos nacionales y van a asegurar medios de defensa contra la agresión. Pero para lograr estos objetivos – para asegurar un alto nivel de empleo, para mantener una posición de liderazgo mundial – el flujo de nuevos conocimientos científicos debe ser continuo y sustancial".*

La visión sobre este tema de Bernardo Houssay, fundador del CONICET [Ho-1960]:

> *"Algunas personas piensan que la ciencia es un lujo y que los países más desarrollados gastan en ciencia porque son ricos.*
>
> *Gran error, gastan en ciencia porque es una gran inversión y de esta forma se vuelven aún más ricos.*
>
> *Ellos no invierten en ciencia porque son ricos y prósperos sino que son ricos y prósperos porque invierten en ciencia.*
>
> *Nada produce mayores ganancias que la investigación en ciencia y en tecnología".*

En la Figura 4 hemos compilado para diferentes países el % del PIB que dichos países invierten en ciencia y tecnología como función de dicho PIB. Vemos que como tendencia muy marcada, el porcentaje es mayor para los países más ricos.

El caso de USA, por estar fuera de la escala de los otros países en lo que hace a su PIB, sólo puede considerarse una singularidad.

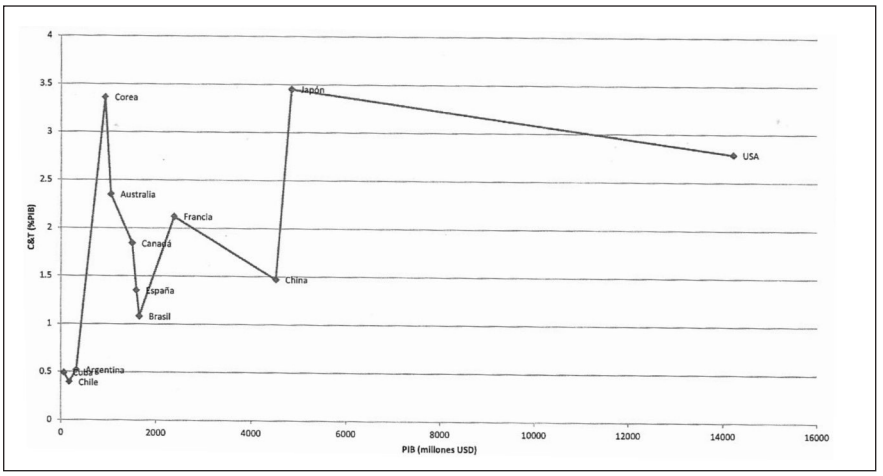


Figura 4. Porcentaje de PBI invertido por diferentes países en C&T.
(Datos del Banco Mundial correspondientes al año 2008)

3. Ciencia aplicada e ingeniería

La ciencia aplicada, en el esquema que hemos propuesto, resulta un híbrido que se enfoca hacia un fin último, como la tecnología, pero es válida aún sin alcanzar dicho fin, por ser en definitiva ciencia. Los resultados de la investigación científica aplicada también se publican, con el posible retardo de los tiempos necesarios para obtener patentes o para preservar secretos industriales.

El objetivo de los científicos es entender la naturaleza para poder establecer leyes que permitan predecir sus fenómenos. Este objetivo no necesita justificarse con consideraciones económicas o sociales y vale por si mismo.

El objetivo de los tecnólogos es modificar la naturaleza para satisfacer las necesidades de los hombres. Este modificar de la naturaleza puede basarse, como hemos discutido arriba, en conocimientos científicos o en el puro empirismo y obtenidos los resultados esperados no resulta importante justificar las metodologías de obtención y uso de los conocimientos necesarios.

Los filósofos griegos, a los que les resultaba inaceptable la justificación de su trabajo en base a necesidades prácticas (salvo los médicos) constituyen el hito histórico que marca el nacimiento de la ciencia y los romanos que construían acueductos, viaductos y grandes estructuras sin tener el conocimiento previo de los fundamentos científicos de sus diseños son el hito histórico que marca el comienzo del desarrollo de la ingeniería [Be-1986].

Dos importantes novedades del siglo XX fueron:

- el desarrollo intensivo de la *"ingeniería científica"*, que incrementa fuertemente la posibilidades de desarrollo de tecnologías mediante la aplicación de conocimientos y metodologías científicas;
- el fuerte desarrollo de la *"ciencia aplicada"*, que poniendo el foco en el impacto tecnológico del trabajo científico incrementa su valor social y consecuentemente los fondos que la sociedad está dispuesta a invertir en el desarrollo científico en general.

Donald E. Stokes [St-1997] propuso el esquema que presentamos en la Figura 5 para representar los motores de las diferentes actividades científico-tecnológicas,

Utilizaremos el esquema de la Figura 5 para representar nuestra visión del estado actual de la relación entre las motivaciones científicas ("Interés por la búsqueda de conocimiento básico" en el eje vertical) y las motivaciones ingenieriles ("Interés por la aplicación" en el eje horizontal):

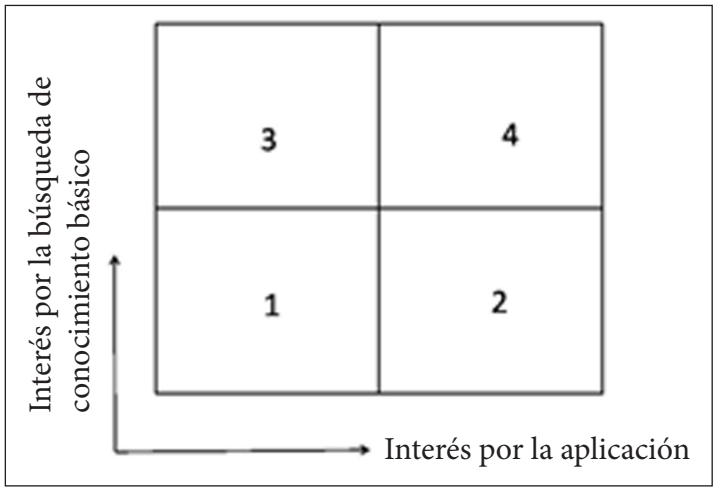


Figura 5. Los cuadrantes del sistema de C&T

- El cuadrante 1 es en el que ubicamos las aplicaciones ingenieriles estándar.
- El cuadrante 2 es en el que ubicamos las aplicaciones ingenieriles avanzadas (el cuadrante de *Edison* en la terminología de Stokes). En este cuadrante hay poca actividad en el país y principalmente se localiza en unas pocas empresas innovadoras.
- El cuadrante 3 es en el que ubicamos la ciencia pura o ciencia motivada por la curiosidad (el cuadrante de *Bohr* en la terminología de Stokes). En este cuadrante en general se localiza la actividad que desarrollan los investigadores argentinos, mayoritariamente miembros de la carrera del CONICET.
- El cuadrante 4 es en el que ubicamos la articulación científico-tecnológica (el cuadrante de *Pasteur* en la terminología de Stokes). Este cuadrante en nuestro país se encuentra prácticamente desierto y es, notablemente, el que está relacionado con el diseño y producción de productos innovativos de alto valor agregado.

Es interesante notar que hoy en nuestro país, mientras la mayoría de los científicos localiza su actividad en el cuadrante 3 (Bohr), la mayoría de los ingenieros lo hace en el cuadrante 1. [Dv-2009]

Si queremos estar en el cuadrante de Pasteur… ¿por qué no estamos?

Existen dos visiones encontradas e incompatibles sobre nuestro modelo de país: la visión neoliberal que apunta a un país que basa su crecimiento en la fertilidad de nuestros campos y en el bajo precio de nuestra energía y de nuestra mano de obra. Esta visión de país es incompatible con la de un país productor de tecnologías, este es un país en que el desarrollo de la ciencia es un lujo y el único objetivo del trabajo científico es el lucimiento internacional.

Por el contrario un país que decida desarrollar productos innovativos y de alto valor agregado, que desarrolle la ciencia como una necesidad y no como un lujo, que desarrolle la educación primaria y secundaria conjuntamente con puestos de trabajo de complejidad creciente es el país que necesita transitar hacia el llamado cuadrante de Pasteur.

4. La innovación tecnológica

Un tema relacionado con los desarrollos tecnológicos y que constituye una preocupación permanente por sus implicancias para el progreso económico y el bienestar de la sociedad es el tema de la ***innovación***.

Sin embargo deberemos precisar con certeza a que nos estamos refiriendo con el concepto innovación, que varía de acuerdo al contexto en el que es empleado.

- En Ciencia el concepto es el de ***innovación absoluta***: es hacer lo que nadie hizo antes, eso y sólo eso es innovación, hacer algo diferente y obviamente válido. Si intentamos publicar en un journal científico de prestigio algo que alguien ya hizo antes vamos a recibir un rechazo de parte de los referees. Hay tecnologías que tienen el mismo criterio sobre la innovación que la Ciencia, son las que llamamos "tecnologías de punta". La industria de la computación y la biotecnología constituyen ejemplos típicos. En la época en la que los EE.UU. y la U.R.S.S. volcaron sus esfuerzos nacionales en la competencia por poner el primer hombre en la Luna, ambos países intentaban hacer algo que el otro no hubiese hecho antes, cada paso adelante en esa competencia constituía una innovación en sentido absoluto, en el sentido de la innovación científica. La industria armamentista durante la guerra fría fue un ejemplo similar y hoy en día las empresas líderes de producción de computadoras y teléfonos celulares compiten entre sí lanzando al mercado productos que constituyen innovaciones absolutas.

- En las tecnologías menos de punta (ej. siderurgia, maquinarias de construcción, etc.) el concepto de innovación es distinto. Existe un proceso de ***innovación local***, mediante el cual una empresa que no fabricaba un determinado producto o no prestaba un determinado servicio empieza a hacerlo; lo que constituye una innovación en el medio productivo de referencia independientemente de que en el mundo o en el mismo país hubiese otras empresas que ya produjesen el producto o prestasen el servicio en cuestión.

Los EE.UU. comenzaron a preocuparse por el tema de la innovación local cuando caída la U.R.S.S. y debilitado el empuje sobre el desarrollo de armas de alta sofisticación, comenzaron a tratar de volcar el alto potencial científico - tecnológico de laboratorios como Los Alamos o Sandia hacia temas que hacían al adelanto de su industria manufacturera, en algunos casos notablemente atrasada frente a su competencia japonesa o europea [Br-1993].

Branscomb [Br-1993] define: *" innovación es el proceso que lleva a la creación e introducción en el mercado de un producto nuevo o de un servicio nuevo para la empresa"*.

En el sentido arriba expuesto podemos asimilar la innovación a la creación de cultura tecnológica en un ámbito productivo local.

Norbert Wiener, un matemático del MIT muy involucrado en el desarrollo de innovaciones tecnológicas, definió en los años 50 las cuatro condiciones necesarias para la innovación [Wi-1994]:

1. ***Generación de un nuevo concepto***: es una tarea individual[1] que está condicionada por el clima intelectual del momento. Este primer paso, el de generación de un nuevo concepto, es independiente de la futura aplicación tecnológica de dicha novedad.
2. ***Grado de desarrollo tecnológico del momento que haga factible el desarrollo del nuevo concepto:*** (a) Leonardo tenía que materializar sus desarrollos tecnológicos usando madera o cuero, los materiales que la tecnología de la época ponía a su disposición; la baja dureza y la baja resistencia al desgaste de estos materiales hizo que muchos de los desarrollos de Leonardo fracasaran en su implementación concreta. (b) Watt, que ingenierizó en el siglo XVIII la primera máquina a vapor, era no casualmente relojero y fabricante de instrumentos científicos; dado que en esa época los últimos adelantos tecnológicos en mecánica de precisión estaban en dominio de los relojeros.
3. ***Integración social de científicos y productores:*** Wiener propone el ejemplo de Edison que además de sus aportes específicos a la innovación tecnológica fundó el primer centro de investigación industrial de la historia. Los laboratorios de Edison fueron el primer grupo de científicos y tecnólogos reunidos específicamente para cumplir un fin de interés productivo y de esa forma dieron origen al complejo científico - tecnológico de los EE.UU., que ha revolucionado la visión histórica de C&T.
4. ***Estímulo a la innovación:*** Es fundamental que una sociedad que quiere gozar los frutos de la innovación tecnológica disponga estímulos, sobre todo económicos, a aquellos que estén dispuestos a asumir el riesgoso camino de la innovación. En el Capítulo 4 volveremos sobre este tema.

5. De la ingeniería inversa a la innovación

La innovación tecnológica normalmente arranca con la copia y adaptación de productos originales de empresas que internacionalmente lideran un sector productivo. Este proceso de ninguna forma es simple desde el punto de vista ingenieril: comienza por la *ingeniería inversa* del producto original. La ingeniería inversa consiste en determinar, en base a un número no

[1] *"Our species is the only creative species, and it has only one creative instrument, the individual mind and spirit of a man. Nothing was never created by two men. There are no good collaborations, whether in music, in art, in poetry, in mathematics, in philosophy. Once the miracle of creation has taken place, the group can build and extend it, but the group never invents anything. The preciousness lies in the lonely mind of a man."*, J. Steinbeck, East of Eden, Chapter 13.

demasiado grande de muestras del producto original, sus tolerancias y especificaciones de fabricación y continua con el entendimiento de las condiciones que aseguran la performance esperable del producto; la que llamaremos la *ventana tecnológica* del producto[1].

Una empresa productiva, normalmente de menor envergadura que las líderes del correspondiente mercado, comienza así lo que arriba hemos llamado el proceso de la innovación local.

No existen límites éticos a esta actividad dado que la tecnología es finalista y no discrimina medios. Obviamente el único límite es legal: la propiedad intelectual. La copia y adaptación de productos de renombre con patentes vencidas facilita los aspectos legales.

Si se trata de un producto de consumo masivo deberá convencerse a un determinado mercado que la réplica tiene propiedades iguales ó superiores a las del producto replicado; si se trata de un insumo industrial deberán aprobarse, ante las industrias compradoras de dicho insumo, las pruebas de performance de igual forma que si se tratase un producto nuevo … y más aún, ya que existe la sospecha (no necesariamente infundada) que el nuevo proveedor no conoce el producto que está tratando de producir de la misma forma que el productor original.

El aspecto económico de la operación es decisivo para su factibilidad. La empresa que comienza un proceso de copia y adaptación, para poder desarrollarse debe no tener que competir de entrada contra las empresas líderes: mercados nacionales protegidos ó bajos costos de producción y comercialización hacen posible entrar al mercado con adaptaciones que inicialmente carecen del renombre del producto original.

Si el camino de la copia y adaptación es recorrido prolijamente: explorando las *ventanas tecnológica* del producto que se quiere reproducir y de su proceso productivo, la empresa que lo recorre va ganando, junto con la experiencia productiva, conocimientos (*know how* + *know why*) lo que en el mediano plazo terminará abriendo el camino que la llevará de la innovación local a la absoluta.

Referencias

[1] [Be-1986] Bernal J.D., *Historia Social de la Ciencia*, Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, 1986.

[2] [Br-1993] Branscomb L.M., *Empowering Technology - Implementing a U.S. Strategy*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1993.

[3] [Bu-1944] Bush V., *Science the Endless Frontier*, 1944 (*http://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm*).

[4] [Ca-1995] Cardwell D., *The Norton History of Technology*, W.W.Norton & Co., New York, 1995.

[5] [Dv-1996] Dvorkin E.N., "Mecánica Computacional: desarrollos teóricos y aplicaciones industriales", *Anal. Acad. Nac. Cs, Ex. Fís. y Nat.*, Vol. 49, Buenos Aires, Argentina, 1997.

[6] [Dv-1997] Dvorkin E.N., "Ingeniería : del tecnólogo intuitivo a la modelización computacional" en ¿Qué es investigar hoy ? Reflexiones al borde del nuevo milenio, Serie Ciencia y Tecnología en la UBA (Ed. A. Fernández Cirelli), 1997.

[7] [Dv-2009] Dvorkin E.N., "La ciencia necesaria", *Revista Encrucijadas* (UBA), N°47, Octubre 2009.

[8] [Ho-1960] Houssay B.A., "Investigadores y técnicos como base de la supervivencia y el progreso de un país", Conferencia de clausura de la Segunda reunión Conjunta de Comisiones Regionales del Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, 4 de abril de 1960 en *CD Bernardo A. Houssay,* Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1997.

[9] [KL-1999] Kim D.-W. and Leslie S.W., "Winning markets or winning nobel prizes? – KAIST and the challenges of late industrialization", *Osiris*, Vol. 13, pp. 154-185, 1999.

[10] [St-1997] Stokes D.E., *Pasteur´s Quadrant – Basic Science and Tchnological Innovation*, Brookings Inst. Press, Washington D.C., 1997.

[11] [Wi-1994] Wiener N., *Invention - The care and feeding of ideas*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1994.

[1]La ventana tecnológica de un producto es el lugar geométrico en el espacio de las variables que gobiernan la performance del mismo en servicio, en el cual el comportamiento del producto y su costo de producción son aceptables.

LA FORMACIÓN DEL INGENIERO EN UN CONTEXTO DE RÁPIDOS CAMBIOS TECNOLÓGICOS

Roberto J. J. Williams

Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Mar del Plata, Av. J. B. Justo 4302, 7600 Mar del Plata
E-mail: williams@fi.mdp.edu.ar

Resumen

La comercialización de avanzados programas de cálculo y simulación para el diseño ingenieril hacer necesario discutir la manera de formar un ingeniero. Aunque es evidente que estas herramientas avanzadas deben utilizarse desde los cursos iniciales, es también necesario desarrollar actividades tendientes a formar lo que se conoce como criterio ingenieril. El proyecto final y las prácticas experimentales en escala banco o planta piloto son útiles para este propósito. En lo que hace a los educadores, se recomienda su rotación anual o cuatrimestral entre diferentes cursos con el fin de facilitar una visión integral de la ingeniería correspondiente. Además, ingenieros con actuación profesional deben ser invitados a enseñar en sus campos de especialización. Se discuten algunas medidas que es necesario tomar para no prorrogar innecesariamente la duración real de los estudios. Estas incluyen la evaluación definitiva al término del dictado de cada curso y regulaciones para limitar la duración del proyecto final.
Palabras clave: criterio ingenieril; herramientas avanzadas de simulación; plan de estudios

Abstract

Engineering education in a context of fast technological changes. The commercialization of powerful mathematical calculation software and advanced simulation software for engineering design makes it necessary to discuss changes in the engineering education curriculum. Although it is evident that these advanced tools must be used from the initial undergraduate courses, there is also need for education activities intended to develop engineering criteria such as a final project and experimental work at bench or pilot plant scales. Regarding the educators it is proposed that they rotate their undergraduate teaching, on a semester or an annual basis, among different courses. This must lead to educators with an integral vision of the discipline. Besides, engineers working in the real world must be invited to teach aspects of their specialization fields. Measures to limit the actual period of time necessary to reach the engineering diploma must be adopted. These include a definitive evaluation at the end of courses and regulations about the maximum extension of the final project.
Key words: advanced simulation software; engineering criteria; engineering curriculum.

Introducción

Quienes recibimos una formación ingenieril o tecnológica varias décadas atrás, podemos describir los grandes cambios producidos en las herramientas disponibles para realizar cálculos. Cincuenta años atrás, la primera clase práctica de un curso de álgebra consistía en explicar el uso de la regla de cálculo. Esta era una herramienta insustituible en trabajos prácticos y exámenes. Como la regla de cálculo solo da el resultado en términos de cifras significativas (por ejemplo: 1,53 por diez a alguna potencia), debíamos realizar un cálculo mental previo de orden de magnitud para poder obtener el resultado final. Esto nos

exigía una verificación previa de la consistencia de unidades y de la razonabilidad física del número que buscábamos. Por otra parte, en esa época muchos problemas se resolvían gráficamente usando papel milimetrado con escalas lineales, semilogarítmicas y logarítmicas, o construyendo gráficas en esas escalas. La facilidad de interpolar en escalas logarítmicas se fue perdiendo con el tiempo.

A la regla de cálculo le siguió la calculadora científica de mano. Las primeras versiones de estos pequeños instrumentos podían hacer cálculos incluyendo una gran variedad de funciones matemáticas. Las versiones mas avanzadas podían admitir programaciones que efectuaban secuencias de cálculos. El uso de estas calculadoras se extendió rápidamente en la enseñanza de la ingeniería y en la vida profesional. En ese entonces no era necesario estimar el orden de magnitud del resultado, algo que, desafortunadamente, se fue perdiendo en la formación del ingeniero (la denominación ingeniero incluye, aquí y en lo que sigue, a mujeres y hombres que desarrollan esta actividad profesional).

El siguiente cambio profundo vino de la mano de las computadoras personales en versiones cada vez mas pequeñas, con mayores velocidades de procesamiento y capacidad de memoria. Al mismo tiempo se desarrollaron distintos tipos de herramientas matemáticas programables (por ejemplo Mathcad), que permiten resolver integrales y derivadas, sistemas de ecuaciones diferenciales y algebraicas, y diversos tipos de problemas matemáticos. Con una programación adecuada se pueden realizar cálculos complejos relacionados con equipos, procesos, estructuras y dispositivos. A partir de estas herramientas, los cálculos ingenieriles se volvieron mucho mas simples y precisos. Para usar estas herramientas se deben introducir las ecuaciones que interpretan el comportamiento del sistema y los valores de los parámetros necesarios para resolverlas. A título de ejemplo muy simple: si se quiere calcular el calor necesario para calentar una mezcla gaseosa entre dos temperaturas, es necesario suministrar las funciones del calor específico de sus componentes en función de la temperatura y plantear la integral correspondiente. La herramienta matemática se encarga de dar una rápida respuesta.

Pero en la última década se produjo una verdadera revolución con la aparición de simuladores que no solo contienen las herramientas matemáticas necesarias sino que también incluyen bancos de datos de propiedades o de ecuaciones que permiten su estimación, y, fundamentalmente, incluyen las ecuaciones que interpretan el comportamiento del sistema. En el ejemplo simple del párrafo anterior, el operador abre una pantalla adecuada en la que indica la composición del gas y su temperatura inicial y final. El simulador le devuelve el valor del calor intercambiado. El simulador realiza los mismos cálculos que haría un ingeniero en forma mucho más rápida y sin margen de error alguno. Para la realización de cálculos el ingeniero actúa como un operador de estos simuladores. Su papel es elegir la arquitectura del sistema (en una planta química sería la disposición de reactores, equipos de separación, bombas y compresores, corrientes de reciclo, etc.), las ecuaciones usadas para la estimación de propiedades (en procesos de separación implica la selección de una ecuación de estado), los requisitos del diseño y las condiciones iniciales. En poco tiempo de cálculo el simulador arroja todos los resultados requeridos (en la planta química, se obtienen las condiciones de cada corriente, calores intercambiados, dimensiones de equipos, etc.).

El uso de simuladores se extiende a todas las ramas de la ingeniería, en versiones cada vez mas sofisticadas. En definitiva, todo lo que pueda ser descripto por ecuaciones puede, en principio, ser incorporado a un simulador. Técnicas de inteligencia artificial podrían incrementar su capacidad para proveer distintas alternativas de diseño. Sin lugar a dudas, el futuro del diseño ingenieril va a estar estrechamente ligado al desarrollo de estos simuladores. Si comparamos esta situación con las imbatibles máquinas de última generación que juegan al ajedrez, podríamos pensar que algún día las tareas de diseño y cálculo de los ingenieros podrían ser reemplazadas por el conjunto simulador/operador. Sin embargo, la

práctica de la ingeniería requiere intervenir en situaciones que están fuera del alcance de un simulador. Imaginemos la puesta en marcha de un equipo (o conjunto de equipos) en una planta química, cuyo diseño ha sido realizado con ayuda de un simulador adecuado. Realizado el protocolo de puesta en marcha, es probable que su funcionamiento no corresponda al de diseño por distintas causas: errores humanos en la conexión de cañerías (ejemplo variar entradas y salidas en equipos de intercambio de calor), variaciones aleatorias en el caudal y la composición de corrientes, fugas de fluidos o entradas de aire, elementos de control automático que no funcionan adecuadamente, materiales que no cumplen con requisitos fijados, caída de presión en el suministro externo de gas, etc. Ante estos problemas el ingeniero debe dar una respuesta rápida y simple. Esta respuesta conjuga el conocimiento de los principios básicos en los que se basa su especialidad, combinada con alguna dosis de intuición y creatividad. A título de ejemplo simple: debido a un desperfecto de un control de nivel, un tanque que separa una fracción líquida de una fracción vapor, se está vaciando lentamente (el nivel de líquido va descendiendo en forma continua). Solución no ingenieril: parar la planta, reparar el elemento de control y volver a arrancar. Solución ingenieril: hacer una U en la cañería de salida del líquido, tal que la elevación de la rama de salida lleve el nivel del tanque al valor requerido. La solución propuesta es simple, practicable en forma rápida y no requiere de elemento de control alguno para mantener el nivel deseado de líquido en el tanque. El mismo tipo de criterio ingenieril se requiere en situaciones mucho mas complejas como es el caso de accidentes. Esto indica que la formación del ingeniero no debe incluir solamente principios y leyes básicas expresados en ecuaciones de diseño, herramientas de cálculo y simuladores, sino además conceptos que conforman un criterio ingenieril.

Si bien el criterio ingenieril se va consolidando en el ejercicio profesional, es importante que en la formación de grado el futuro ingeniero sea expuesto a proponer soluciones a problemas totalmente abiertos a múltiples soluciones. En estos problemas es frecuentemente necesario realizar estimaciones de órdenes de magnitud y usar distintos tipos de criterios (técnicos, económicos, medio-ambientales, etc.) para desechar a priori algún tipo de soluciones frente a otras.

¿Cómo se forma un profesional con la exigencia de que conozca los principios básicos de su disciplina, la existencia de herramientas de cálculo y simuladores cada vez mas avanzados, las sorprendentes posibilidades que brindan nuevas tecnologías (nanotecnologías y tecnologías de información y comunicaciones), y, que, al mismo tiempo tenga espíritu emprendedor y criterio ingenieril? El objetivo de lo que sigue es reflexionar sobre algunos aspectos que pueden contribuir a este tipo de formación.

1. Herramientas de cálculo y simuladores en la enseñanza de la ingeniería

Los planes de estudio de las ingenierías incluyen ciclos de formación básica, de formación en ciencias de la ingeniería y de formación profesional. Las cargas horarias y contenidos mínimos de cada ciclo han sido consensuados y regulados por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), y considerados en las acreditaciones de las carreras de ingeniería que realiza la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU). Dentro de este marco institucional consideraremos algunas acciones específicas que pueden contribuir a la formación del ingeniero con el perfil descripto en la Introducción.

Es obvio que el estudiante de ingeniería debería disponer, conocer y manejar las múltiples herramientas de cálculo y simuladores avanzados disponibles en el mercado. Estas herramientas incluyen también las facilidades de dibujo de los equipos y dispositivos diseñados. Las viejas clases de uso de la regla de cálculo y dibujo (a mano alzada), deben ser reemplazadas por minicursos en los que se introduzcan las distintas herramientas de cálculo

y dibujo disponibles en la actualidad. Los simuladores deberían ser utilizados en forma progresiva a partir del ciclo de ciencias de la ingeniería. A título de ejemplo: en asignaturas donde se enseñen conceptos termodinámicos el simulador provee rápidamente resultados que antes requerían cálculos iterativos engorrosos (composiciones de fases multicomponente en equilibrio, puntos de burbuja y rocío, etc.). La enseñanza debe acoplarse a la existencia del simuladores. Por ejemplo, ya no es necesario describir una gran cantidad de ecuaciones de estado con sus ventajas y limitaciones o detallar la forma de realizar cálculos iterativos. Se deben enseñar todos los conceptos necesarios y luego ir al simulador a buscar soluciones en casos específicos. La posibilidad de obtener soluciones rápidas permite explorar el juego de distintas variables y parámetros en las respuestas obtenidas. En algunos casos se pueden buscar soluciones por métodos tradicionales sin hacer uso del simulador. Esto implica utilizar las ecuaciones de diseño pertinentes, buscar o estimar parámetros y realizar la programación del método numérico necesario para obtener la solución (tareas todas que un simulador realiza en forma de caja negra). El docente debe buscar el equilibrio necesario entre la enseñanza de conceptos básicos, la realización de cálculos en forma tradicional para fijar conceptos y el uso de simuladores para obtener soluciones rápidas que permitan investigar la influencia de distintos parámetros y variables sobre las soluciones obtenidas. Pero en ningún caso debería ignorarse la existencia de simuladores avanzados en la formación de un ingeniero.

Un ejemplo propio del campo de la Ingeniería Química, permitirá ilustrar la ventaja de combinar la enseñanza tradicional con la enseñanza que deriva del uso de simuladores. Creo no equivocarme al afirmar que todo ingeniero químico egresado de una universidad ubicada en cualquier país del mundo, aprendió el diseño y funcionamiento de columnas de destilación binarias usando el método de McCabe-Thiele. La destilación es una operación que separa los componentes de una mezcla binaria utilizando su distinta volatilidad relativa. A través del contacto múltiple entre una fase vapor y una fase líquida, se produce el enriquecimiento de la fase vapor en el componente mas volátil y el de la fase líquida en el menos volátil. Cada componente puede purificarse hasta cualquier grado requerido. El diseño implica conocer el número de etapas de contacto necesarios o la altura de un relleno que permite el contacto de ambas fases, para producir el grado de pureza requerido para ambos componentes. Existen determinados parámetros que debe fijar el diseñador (relación de reflujo, presión de operación, tipo de condensador, condición de la alimentación), que determinan el diseño final. El método de McCabe-Thiele es un método gráfico, propio de la época en que se construían gráficos para resolver problemas ingenieriles, que permite resolver el problema. Lo interesante es que al analizar el gráfico se puede comprender rápidamente el efecto de todos los parámetros sobre el funcionamiento del equipo. El simulador resuelve el mismo problema como respuesta a un click en la pantalla de una computadora. Esto permite investigar distintas alternativas de diseño en forma rápida (por ejemplo, el efecto de la presión sobre las temperaturas en el condensador y el re-evaporador y el efecto de la relación de reflujo sobre los intercambios calóricos en ambos equipos). La idea es que la enseñanza es mas eficiente cuando se realiza en términos de conceptos básicos, empleo de métodos de cálculo tradicionales que fijan conceptos y uso de simuladores que permiten avanzar en la exploración de distintas alternativas.

Para enseñar ingeniería en la forma propuesta es imprescindible que las autoridades de los Departamentos vinculados con las carreras de Ingeniería, planifiquen e incentiven el uso de herramientas de cálculo y simuladores avanzados a partir del inicio de la carrera y, lo que puede ser mas problemático, pongan a disposición de los alumnos el uso de estas facilidades. Los programas de cálculo son accesibles y en muchos casos los alumnos ya los tienen instalados en sus computadoras personales. Algunos simuladores pueden ser también accesibles. Otros son muy costosos y se requiere el pago de una licencia de uso. Pero hay programas desarrollados para uso exclusivamente académico que pueden ser mas accesibles.

Afortunadamente, la formación de ingenieros es una actividad que recibe fuertes incentivos públicos a través de programas especiales. En este marco, el costo de los simuladores en sus versiones académicas no debería ser un obstáculo para su incorporación masiva a la enseñanza. Probablemente haya que vencer resistencias de docentes que, con distinto tipo de argumentos, se oponen a su empleo. En cualquier caso, esta tendencia es irreversible y mas temprano o mas tarde, el uso de herramientas de cálculo y simuladores avanzados será un hecho cotidiano en todas las carreras de ingeniería.

2. Integración de la enseñanza a través del proyecto final

El Proyecto Final (o Trabajo Final) es una asignatura presente en los planes de estudio de las distintas Ingenierías. Independientemente de los contenidos mínimos que se establecen en el plan, esta asignatura tiene características muy diversas cuando se compara la forma en que se lleva a cabo en distintas Facultades y aún en diversas carreras de una misma Facultad. Estas diversas características surgen de asignar distintos objetivos para la realización del proyecto final. Analicemos este punto con mayor detalle.

El proyecto final es en muchas carreras de Ingeniería, la asignatura con la que el alumno se recibe de Ingeniero. De alguna manera, es la bisagra entre su paso por la Universidad y su actividad profesional. A esa altura de su carrera, el alumno ha pasado por un conjunto de asignaturas conducidas por docentes especializados en las mismas, donde ha aprendido concepto básicos, práctica experimental en distintas escalas y el análisis y diseño ingenieril en áreas específicas. En este contexto, el objetivo primario del Proyecto Final debe ser el de integrar los conocimientos adquiridos en las asignaturas troncales de la carrera. Esta integración debe realizarse a través del planteo de un problema totalmente abierto que puede tener múltiples respuestas que son desconocidas de antemano para los docentes a cargo. El problema planteado puede tener distintas características dependiendo de la carrera de ingeniería en cuestión. Puede corresponder a un diseño teórico (por ejemplo, el análisis y diseño de un conjunto de equipos de una planta química en proyectos finales de ingeniería química), o puede consistir en el diseño y construcción de un dispositivo, equipo o material específico (característica habitual de proyectos finales de ingeniería en materiales o ingeniería electrónica). Pero en todos los casos se requiere que el proyecto se constituya en un integrador de conocimientos y se base en un diseño/desarrollo que presente distintas alternativas posibles. En la ejecución del proyecto los alumnos ejercitan el criterio ingenieril. Deben elegir alternativas, realizar aproximaciones, tomar decisiones en ausencia de toda la información necesaria, estimar costos e inversiones y, cuando corresponda, analizar aspectos éticos y ambientales que resultarían de la ejecución del proyecto. En algunos casos el proyecto final puede contribuir a su formación como emprendedor si encuentra facilidades para incubar una empresa como resultado adicional del proyecto. Si se cumple con estos objetivos el ingeniero no solo saldrá con el título bajo el brazo sino con la formación adecuada para comenzar la aventura de su desarrollo profesional.

Pero en nuestras Universidades existe otra forma de realizar el Proyecto Final, en la cual los alumnos participan en un proyecto de investigación, llevando a cabo parte del mismo. El alumno recibe un entrenamiento en actividades de investigación que, eventualmente, puede despertar su vocación por la misma. Pero este objetivo está totalmente alejado del objetivo primario de integración de conocimientos en un problema abierto. Considero, entonces, que este tipo de proyectos finales deben ser desalentados.

Un aspecto del Proyecto Final que ha dado origen a controversias y problemas judiciales, es el relacionado con la propiedad de los resultados generados en el mismo, particularmente cuando estos resultados pueden tener valor comercial o constituir la base de una futura empresa. El primer consejo debe ser el de resguardar la confidencialidad de los

resultados generados. A diferencia de las Tesis de Maestría o Doctorado que deben ser públicas y obrar en las Bibliotecas correspondientes, los Proyectos Finales no deben integrarse a los archivos de repositorios o bibliotecas. Esto los protege además de un posible plagio o copia parcial en el futuro. Pero, resguardado el aspecto de confidencialidad queda por dirimir quienes son los que tienen la propiedad de los resultados generados. Parece claro que ésta debe ser compartida entre el alumno (o la comisión de alumnos), el equipo docente y la Universidad. La forma en que se establece este acuerdo puede ser negociada en casos particulares o puede ser objeto de una legislación previa establecida por la Universidad.

3. La práctica experimental

La mayor parte de las ingenierías tiene una componente de la enseñanza en los ciclos superiores que es netamente experimental. Usualmente los equipos, dispositivos y sistemas experimentales que se construyen y operan, corresponden a una escala banco o planta piloto, intermedia entre la escala de laboratorio y la que se encuentra en el mundo real. La práctica experimental en esta escala permite fijar fuertemente los conceptos básicos de la disciplina. A título de ejemplo simple, en la mecánica de fluidos se enseñan y analizan las ecuaciones que permiten predecir la pérdida de carga de un fluido que atraviesa un lecho relleno. Es notable observar la sorpresa de los alumnos cuando comprueban que el valor medido experimentalmente concuerda casi exactamente con el predicho, validando las hipótesis en las que se basan las ecuaciones teóricas. El alumno adquiere confianza en el uso de ecuaciones predictivas y fija fuertemente los conceptos básicos relacionados con su uso. En el ejemplo mencionado, pueden observar la influencia de distintos tipos de relleno y la dependencia con el flujo másico en regímenes laminar y turbulento.

La práctica experimental cumple un rol fundamental en la formación del criterio ingenieril. Para esto hay que dar total libertad a los alumnos para que construyan o modifiquen parte del sistema experimental y analicen los resultados obtenidos con las variantes introducidas. Al experimentar se producirán errores y fallas. Al mismo tiempo habrá que tomar decisiones entre distintas alternativas. El aprendizaje que deriva de la práctica experimental queda grabado a fuego en la formación del alumno.

Existe una condición necesaria para fomentar la realización de prácticas experimentales en los ciclos superiores de la enseñanza de ingeniería. Esta condición consiste en separar la enseñanza de contenidos teóricos y la práctica experimental, en asignaturas diferentes. La validez de esta condición surge de un ejemplo real relacionado con una carrera de Ingeniería Química. Las asignaturas troncales de los ciclos superiores de esta disciplina están relacionadas con las ingenierías de las operaciones (cantidad de movimiento, calor y materia) y las ingenierías de procesos (reactores químicos, control y automatización). Desde el punto de vista didáctico lo mas razonable es incluir los contenidos teóricos y la práctica experimental en la misma asignatura. En la práctica este es un craso error. La teoría y los seminarios se desarrollan siempre de acuerdo con un cronograma prefijado. Las prácticas experimentales dependen de docentes que dediquen mucho tiempo a su puesta a punto, de que no se produzcan fallas o roturas inoportunas y del presupuesto disponible para adquirir todos los insumos y bienes necesarios para su realización. La consecuencia real es que al finalizar la asignatura se cumple con el dictado de todas las clases teóricas y de seminarios y un porcentaje bajo o nulo de las prácticas experimentales programadas. ¿Cómo se revirtió esta situación histórica? Separando los contenidos teóricos de la práctica experimental en distintas asignaturas. Las prácticas experimentales se concentraron en 2 asignaturas: Planta Piloto 1 y Planta Piloto 2. Los docentes a cargo tienen la obligación exclusiva de preparar un conjunto de prácticas experimentales para cada ciclo lectivo, que respondan a los contenidos teóricos de las asignaturas mencionadas. La tarea adicional es incentivar a los alumnos para

que pongan mano en las mismas, analicen resultados y saquen conclusiones. Esta experiencia ha sido muy exitosa.

4. ¿Quiénes deben enseñar ingeniería?

Este es el punto mas relevante de cualquier análisis sobre la formación de ingenieros. De poco sirve tener un buen edificio, biblioteca y hemerotecas bien provistas, disponibilidad de herramientas de cálculo y simuladores teóricos avanzados, una planta piloto (o equivalente), y un plan de estudios bien estructurado, si los docentes a cargo de la enseñanza de las asignaturas ingenieriles no manejan los conceptos básicos de la disciplina o no saben transmitirlos. La situación es similar a la de un club de fútbol que cuenta con un excelente estadio y campo de juego, un buen técnico pero malos jugadores.

Si observamos la evolución de los departamentos ingenieriles en Universidades de países avanzados, notamos algunos aspectos mayoritariamente comunes. Estos Departamentos desarrollan actividades de grado y posgrado y tienen alumnos en ambos niveles, los profesores tienen dedicación exclusiva (en ese mismo departamento o en otro relacionado) y desarrollan actividades de investigación, transferencia y extensión. Los nuevos profesores se incorporan sobre la base de sus antecedentes académicos y de su potencial para captar fondos públicos (subsidios de investigación) o privados a través de contratos con empresas. La capacidad de los docentes para generar empresas a través de su actividad universitaria es un plus muy importante en su valoración.

Un ejemplo paradigmático de este perfil de profesor de ingeniería es Robert (Bob) Langer del MIT [1]. Sus logros han sido tan populares que ha sido tapa de revistas y aparece frecuentemente en entrevistas en distintos medios de comunicación. Langer es ingeniero químico egresado de Cornell en 1970, se dedica a la bioingeniería y dirige un grupo multidisciplinario de unas 80 personas, incluyendo ingenieros químicos y mecánicos, matemáticos, físicos y biólogos, médicos de distintas especialidades y expertos en ciencias de materiales. Tiene mas de 1000 trabajos publicados, 300 patentes y otras tantas en trámite de aprobación. Estas patentes han sido licenciadas a mas de 200 compañías, de las cuales unas 24 fueron fundadas por él mismo. Da charlas en el Foro Económico Mundial (Davos, Suiza) y ha obtenido el Charles Stark Draper Prize en 2002 (U$S 500.000), considerado el Premio Nobel de la Ingeniería. Además de ocuparse de asignaturas específicas, enseña a estudiantes de ingeniería sobre aspectos de la vida real del ingeniero, particularmente relacionados con la creación de empresas.

Si bien el caso de Langer es excepcional, su perfil sirve para caracterizar las actividades de un Departamento de Ingeniería en una Universidad de primer nivel. El Departamento está integrado por un conjunto de profesores con dedicación exclusiva que realizan tareas de investigación, fundamentalmente a través de la dirección de estudiantes de doctorado y post-doctorado, transferencia al sector industrial a través de actividades de consultoría, contratos y licenciamiento de patentes, y, en los casos mas exitosos, generan empresas de base tecnológica. Estos profesores son los que enseñan la Ingeniería a los estudiantes de grado.

En nuestro país, a partir de la creación y consolidación de los Doctorados en Ingeniería, los Departamentos de Ingeniería están aumentando la proporción de profesores con dedicación exclusiva. Programas de mejoramiento de la enseñanza de la ingeniería gestionados a nivel ministerial, promueven las dedicaciones exclusivas. Esta tendencia es mas manifiesta aún en países como Brasil y Chile y seguramente se acentuará en forma notoria en el futuro. En nuestras Facultades de Ingeniería las actividades de investigación están creciendo fuertemente así como los contratos con empresas. Sin embargo, la generación de empresas de base tecnológica es todavía una deuda pendiente.

Pero es obvio que la enseñanza de la Ingeniería, particularmente en su ciclo profesional, debe tener un fuerte punto de contacto con la actividad profesional del ingeniero. En parte, este aspecto se cubre con la Práctica Profesional Supervisada, asignatura obligatoria en los planes de ingeniería. Pero además, es importante integrar docentes provenientes del mundo profesional en asignaturas vinculadas con su campo de especialización. Esto pone un cable a tierra en la formación del ingeniero.

También es necesario señalar algunas actitudes que deben promoverse en los Departamentos de Ingeniería basados en un cuerpo de profesores con dedicación exclusiva. La primera es que todos los profesores deben dictar al menos una asignatura de grado, independientemente de cualquier otra actividad que realicen en el post-grado. La segunda, es que todos los profesores deben rotar cuatrimestralmente o anualmente en la enseñanza de un conjunto de asignaturas afines (cuanto mas amplio mejor). Esto refresca la enseñanza, minimiza el uso de apuntes del docente y, por sobre todas las cosas, forma docentes que distinguen los conceptos básicos de cada asignatura y la integración de conceptos entre distintas asignaturas. Docentes con esta capacidad son los mas adecuados para conducir el Proyecto Final del ingeniero.

5. Duración de la carrera

El plan de estudios define en forma nominal la duración de la carrera. Aprobadas todas las asignaturas, el ingeniero sale de la Universidad con el título bajo el brazo y listo para encarar su actividad profesional. No es necesario interponer otro ciclo de formación entre su título de ingeniero y la actividad profesional. La Universidad le ofrece otros ciclos de formación a través de carreras de Especialización (típicamente de un año de duración), de Maestría (típicamente de dos años de duración) y de Doctorado (de 4 – 5 años de duración). Las carreras de Especialización brindan los conocimientos necesarios para orientar la actividad profesional hacia un campo específico. Las carreras de Maestría y Doctorado estás destinadas a la formación en la investigación científica. Pero ninguna de estas carreras de post-grado debe ser considerada necesaria para que el ingeniero desarrolle su actividad profesional.

La duración de los planes de estudio de ingeniería ha sido objeto de duras discusiones en el pasado. En la actualidad parece existir una opinión consensuada sobre una duración nominal de 5 años para un plan de estudios de cualquier ingeniería. Pero, duración nominal no es equivalente a la duración real de los estudios de ingeniería, que suele ser uno o mas años mayor que la que fija el plan de estudios. Esta mayor duración deriva en muchos casos de la necesidad de trabajar en paralelo con los estudios o de cuestiones de tipo personal. Pero en otros casos, la mayor duración de la carrera se origina en falencias de la propia Universidad. Este es el aspecto que aquí analizamos.

El primer problema está relacionado con los requisitos fijados para la aprobación de las asignaturas. En la mayor parte de las carreras de ingeniería existe un régimen de doble aprobación. En primer lugar se debe aprobar la cursada y luego (período que a veces abarca varios años), el examen final. Este régimen duplica las evaluaciones necesarias y alarga los estudios en forma significativa. La otra posibilidad es realizar la evaluación final y definitiva de cada asignatura dentro de un corto período de tiempo posterior a la culminación de su dictado. Las asignaturas deberían tener un régimen de promoción y dos o tres instancias de evaluación definitiva para los alumnos que no hayan cumplido con las exigencias de la promoción. Las carreras de ingeniería que han adoptado este régimen de estudios muestran un aumento en la fracción de alumnos que se reciben en el tiempo nominal establecido en el plan de estudios. Estos jóvenes ingenieros se insertan con éxito en la actividad profesional.

Otra de las causas perniciosas en la prolongación de la duración de la carrera es el Proyecto Final. Como se mencionó antes esta asignatura es una de las mas importantes en

la formación del ingeniero. Pero es una asignatura mas adentro del plan de estudios y debe completarse dentro de la duración nominal del plan de estudios. El Proyecto Final puede desarrollarse durante el último año de la carrera, con comienzo en marzo y con finalización en diciembre, sin prórroga alguna. Si bien en un problema abierto no puede establecerse un cronograma rígido, los docentes a cargo del proyecto deben manejar su desarrollo de modo que en la fecha final establecida para su culminación se haya cumplido con el objetivo de integración de conocimientos de áreas troncales de la ingeniería correspondiente. Desafortunadamente, prolongar la duración del Proyecto Final es una práctica habitual en nuestros Departamentos de Ingeniería. Deberían disponerse reglamentaciones que eviten estas prácticas arbitrarias.

Conclusiones

En este trabajo se ha reflexionado sobre la formación del ingeniero en un contexto de fuertes cambios, caracterizado por la existencia de poderosas herramientas de cálculo y simuladores que incorporan todos los pasos del diseño ingenieril. Estas herramientas avanzadas deben ser incorporadas a la formación del ingeniero. Pero además resulta necesario incorporar actividades que forman el criterio ingenieril. Entre estas actividades se destacan la Práctica Experimental y el Proyecto Final. En el marco de la tendencia de conformar el cuerpo docente con dedicaciones exclusivas se ha sugerido la conveniencia de integrar docentes provenientes del mundo profesional, en asignaturas vinculadas con su campo de especialización. Se ha sugerido también la conveniencia de rotar los docentes con dedicación exclusiva en un conjunto amplio de asignaturas afines. Al mismo tiempo que refresca la enseñanza, esto lleva a una formación integral de los propios docentes. Por último, se han analizado algunas causas que prolongan innecesariamente la duración de los estudios. Se sugiere que la evaluación final del alumno se realice al culminar el dictado de la asignatura. También debe eliminarse la tendencia de alargar la duración del Proyecto Final. Estas acciones permiten formar ingenieros jóvenes para su inserción en la actividad profesional.

Referencias bibliográficas

[1] H. Pearson, *"Being Bob Langer"*, News Feature, *Nature* **458**, 22 (2009).

EL CONOCIMIENTO TECNOLOGICO Y EL CONOCIMIENTO INGENIERIL EN LA FORMACION DEL INGENIERO PARA UN MUNDO CAMBIANTE

Carlos J. Lerch(*), Luis A. de Vedia(**)

(*) Dpto. de Ingeniería, Universidad Nacional de La Matanza; Centro de Estudios Avanzados, UBA.
E-mail: carloslerch@gmail.com
(**) Instituto de Tecnología (UNSAM-CNEA); Dpto. de Mecánica, Facultad de Ingeniería (UBA)

Resumen

El objetivo del presente trabajo es, por un lado, analizar la naturaleza del conocimiento tecnológico, –conocimiento determinante en la ingeniería– que tiene características propias que lo distinguen del conocimiento científico, así como el proceso que lleva a la generación de dicho conocimiento tecnológico. Por el otro, a la luz del análisis anterior, efectuar una propuesta acerca de los conocimientos relevantes que sería deseable adquirieran los nuevos ingenieros, los que tendrán que vérselas con la dinámica del cambio tecnológico en las primeras décadas del presente siglo XXI.

Palabras clave: Conocimiento tecnológico, conocimiento ingenieril, abducción, diseño ingenieril, proyecto.

Abstract

Technological knowledge and engineering knowledge in the shaping of an engineer for a changing world. The objective of this work is, on one hand, to analyze the nature of technological knowledge, –determinant in engineering– that bears specific characteristics that distinguish it from scientific knowledge, as well as the process that leads to the generation of such technological knowledge. On the other hand, under the light of the previous analysis, to make a proposal on the relevant knowledge that should desirably be acquired by new engineers, given that they will have to face the dynamics of technological change in the first decades of the present century.

Key words: Technological knowledge, engineering knowledge, abduction, engineering design, project.

"Our lives are more than our financial successes. It's crucial for us as human beings to try to think in a comprehensive way about who we are and what we're doing in the world in which we live" Carl Mitcham **[1]**

Introducción

Este trabajo analiza el problema del conocimiento tecnológico y del conocimiento ingenieril y cuál es su relevancia en la formación profesional del ingeniero, desde un punto de vista general, es decir no se pretende abordar en detalle lo que podría ser la currícula ideal para la formación de esos profesionales. Más bien, se ha hecho una revisión de las distintas opiniones que expresan distinguidos pensadores sobre el tema y se espera que este estudio sirva como disparador para el mejoramiento de las estrategias de formación de ingenieros, particularmente en la Argentina.

Desde hace ya algunos años se observa en un número creciente de países, una progresiva toma de posición por parte de distintos organismos de gobierno e instituciones públicas y privadas, asociaciones profesionales, etc. interesadas en el desarrollo industrial y el progreso tecnológico de las sociedades en las que se encuentran insertas, en el sentido que si se quiere garantizar y en lo posible acelerar dicho proceso de desarrollo, es condición ineludible aumentar de manera significativa la cantidad de graduados en distintas ramas de la ingeniería.

No hace falta enfatizar la importancia del Ingeniero en la sociedad moderna. El ingeniero Marcelo Sobrevila ha expuesto elocuentemente este hecho: "*Si todos los ingenieros del mundo en un acto demencial, decidiesen cerrar sus lugares de trabajo con llave e irse con ella a sus casas por una semana, la humanidad se quedaría sin: energía eléctrica; agua potable; combustibles líquidos y gaseosos; transportes aéreos, marítimos y terrestres; comunicaciones telefónicas, televisión e internet; alimentos y bebidas industrializados, y todas las obras y las industrias se detendrían. La humanidad sería un caos. En el mundo moderno, son los ingenieros los responsables de que un país funcione normalmente"* **[2]**.

O como bien decía José Ortega y Gasset **[3]**, en su memorable *"Meditación sobre la Técnica": "..... materialmente el hombre no puede vivir sin la técnica a la que ha llegado."*

En este sentido, existen predicciones surgidas de distintos estudios que efectúan estimaciones cuantitativas al respecto en los distintos países. Argentina en particular, tiene actualmente acreditadas la casi totalidad de sus carreras de ingeniería. Esto permitió incrementar la cantidad de estudiantes, su rendimiento académico y el de los graduados, pero la demanda actual y proyectada de ingenieros indica la necesidad de continuar incrementando la cantidad de profesionales. En este sentido la meta propuesta sería tener 1 nuevo ingeniero cada 4.000 habitantes por año, es decir, 10.000 nuevos graduados por año **[4]**.

En correspondencia con estos estudios, existen distintas posiciones y recomendaciones de variados órganos de gobierno e instituciones referentes al perfil que el profesional de la ingeniería debería poseer para encontrarse mejor preparado para aportar al referido proceso de desarrollo tecnológico, habida cuenta del cada vez más rápido proceso de creación de conocimiento que implica a su vez una más rápida obsolescencia de las distintas tecnologías derivadas de dicho conocimiento.

Desde un punto de vista histórico, para hallar los orígenes del concepto de "Ingeniería", que modernamente se refiere a la actividad profesional ejercida por un conjunto diferenciado de personas con determinadas funciones, prerrogativas y organización social, habría que situarse en el siglo XVIII que es cuando comienzan a crearse las escuelas de ingeniería, a otorgarse títulos de ingeniero, a reunirse en grupos los profesionales formando asociaciones y cuerpos de funcionarios. Los siglos XIX y XX son de crecimiento de esta faceta de la ingeniería aunque actualmente parece insinuarse una cierta declinación de su poder corporativo.

Esto fue sagazmente observado por Augusto Comte, fundador de la sociología, quien en 1825, en su Cuarto Ensayo decía **[5]**: *"Es fácil reconocer en el cuerpo científico tal y como existe ahora, un cierto número de ingenieros distintos de los hombres de ciencia propiamente dichos. Esta importante clase nació necesariamente cuando la Teoría y la Práctica, que salieron de puntos distantes se acercaron lo suficiente para darse la mano. Esto es lo que hace que su estatus propio esté aún poco definido..... El establecimiento de la clase de ingenieros con sus propias características es de la mayor importancia porque esta clase constituirá, sin duda, el instrumento de coalición directo y necesario entre los hombres de ciencia y los industriales, por medio de los cuales solamente puede empezar el nuevo orden social".*

¿Podemos sin embargo no considerar ingenieros a quienes planificaron y construyeron sistemas de regadío y ciudades en Mesopotamia y en Egipto o a los constructores de calzadas, termas y acueductos del Imperio Romano?

¿Qué decir de Arquímedes o de Leonardo da Vinci, auténticos prototipos de ingenieros modernos aunque sean más conocidos por el principio científico de hidrostática o por la Gioconda, respectivamente?

¿Podemos olvidar, al hombre eotécnico del bosque que construye diques, esclusas, molinos, ruedas de molino para aprovechar la energía del agua y del viento y establecer las primeras factorías en la Alta Edad Media y en el Renacimiento?

Si el aspecto que destacamos de la definición de la ingeniería es el de "*utilizar las fuentes de energía y los recursos de la naturaleza para producir bienes y servicios para resolver necesidades del hombre*", no cabe duda de que el comienzo de la ingeniería iría unido indisolublemente a la actividad técnica y como tal existiría desde el comienzo de la humanidad. De modo que no obstante que la ingeniería en su acepción moderna nace ligada a la primera revolución científica, a la primera revolución industrial y al positivismo, en su acepción más primitiva y general, puede asociarse con el desarrollo de la técnica.

Por ello planteamos la evolución de la ingeniería a grandes rasgos siguiendo la evolución de la técnica, enmarcando a ésta dentro de la cultura y la civilización de cada época, siguiendo de forma muy esquemática y resumida la clasificación clásica del libro "*Técnica y Civilización*" de Lewis Mumford **[6]**, libro que por su relevancia y lucidez se recomienda al lector, o el más reciente y completo "*El mito de la máquina*" de L. Mumford y Henry Jane **[7]**. Tal como escriben los autores: *"Cada fase tiene sus orígenes en determinadas regiones y tiende a emplear recursos y materias prima especiales; posee sus medios especiales de producción; pone en existencia unos tipos particulares de trabajadores, los adiestran de manera particular, desarrolla ciertas actitudes y se opone a otras..."*

La *innovación tecnológica* es un proceso que comenzando con la invención, continúa con una etapa de desarrollo y culmina con la explotación (generalmente comercial) de un bien o servicio. El modelo aceptado durante mucho tiempo para analizar y comprender este proceso, fue el llamado modelo lineal o de *"technology push"*, que afirma que las etapas de un proceso de innovación son: ciencia, tecnología, mercado (explotación comercial), con cada una de ellas alimentando a la siguiente. En los últimos años, este modelo fue cuestionado y reemplazado por el denominado modelo no lineal o de *"market pull"*, según el cual opera un lazo fuerte de realimentación entre las fuerzas del mercado y el sistema de ciencia y tecnología, dando así origen a un proceso no lineal de innovación tecnológica en el cual el mercado se convierte en un protagonista esencial.

Ahora bien, aunque estos modelos ya han sido empleados durante unas cuatro décadas para analizar y procurar entender el complejo proceso de creación tecnológica, no deja de resultar un tanto sorprendente que los esfuerzos destinados a someter a los mismos a un análisis crítico semejante al que ha sido objeto la ciencia, no han sido aún realizados sistemáticamente y con análogo rigor indagatorio. Por ejemplo, ¿podemos decir que el modelo no lineal mantiene su vigencia para un proceso de desarrollo tecnológico en el cual el rol de la teoría como sustento de las innovaciones es cada vez más fuerte? En otras palabras, si bien hoy aceptamos que existe una filosofía de la tecnología con carta de ciudadanía propia, ésta no parece haber seguido una evolución comparable en rigor y en profundidad, al de la filosofía de la ciencia.

Quedan aún sin resolver, por ejemplo, problemas tan importantes como el de establecer si la tecnología y en particular el cambio tecnológico, al igual que la ciencia, es racional (al menos para quienes acepten esta última posición, que por cierto no es universal), o si en el proceso del desarrollo tecnológico es pertinente hablar de contextos de descubrimiento (provistos o no de una lógica interna) y de justificación, y en qué medida el objetivo de la tecnología tiene que estar relacionado con la verdad o con la comprensión del mundo.

Lo anterior implica indagar sobre la existencia o no de una metodología de la tecnología, y en caso afirmativo, identificarla y expresarla en forma explícita. Ello exige un análisis riguroso de los supuestos filosóficos utilizados y la búsqueda de un adecuado criterio demarcatorio entre ciencia pura, ciencia aplicada y tecnología (si es que éste realmente existe), lo que resulta esencial para establecer en forma precisa la diferencia entre ley científica, enunciado nomopragmático, y regla tecnológica.

Siguiendo a algunos filósofos de la tecnología contemporáneos **[8]**, podemos identificar los objetivos de la línea de análisis propuesta, con la búsqueda de respuestas a las siguientes preguntas referidas al quehacer tecnológico: ¿Cuál es su contenido y estructura?, ¿Cuáles son sus métodos?, ¿Cuál es el criterio de demarcación?, ¿Cuáles son sus objetivos?, ¿Cómo es su desarrollo? Dependiendo de las respuestas a estas preguntas, podrá elaborarse un modelo más satisfactorio del proceso de innovación tecnológica, ya que los propuestos hasta ahora, si bien útiles para poner de manifiesto algunas de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, no son muy aptos para arrojar luz sobre los mecanismos internos que conducen a la creación y al desarrollo tecnológico y al conocimiento ingenieril, y menos aún para determinar cuáles de esos conocimientos son tan relevantes como para que se impulse su enseñanza.

De manera que a pesar que la tecnología constituye el motor esencial de la innovación, aquella ha escapado en buena medida a un escrutinio crítico intenso.

La consideración de algunos de los problemas filosóficos y metodológicos relacionados con la ciencia, –pura y aplicada– y la tecnología, tiene un origen tan remoto como la filosofía misma. En efecto, Aristóteles ya se ocupó de algunos de ellos, diferenciando claramente entre *tekne* y *episteme*. Es así que tekne o conocimiento productivo, se refiere a la *capacidad de hacer,* a través de un proceso de razonamiento. En este sentido, tekne no trata con objetos que son necesarios o acordes con la naturaleza, sino con cosas que pueden convertirse en otras por la acción de un agente humano **[9]**. Desde entonces y hasta nuestros días, prácticamente todos los pensadores que se ocuparon de la filosofía de la ciencia lo han hecho también en alguna medida de la tecnología, aunque por supuesto sin emplear éste término moderno. Desde Francis Bacon con su visión de la ciencia como *"relieving man's state"* a través del control de la naturaleza, hasta los escritos de Karl Popper en los '50 con una visión fuertemente antibaconiana, pasando por Kant, Heidegger, y Marx. Ahora bien, todo este "tour de force" intelectual que abarca más de 20 siglos, ha producido una filosofía de la ciencia que es aún hoy sin duda uno de los campos más ricos de la especulación filosófica.

En cambio, la filosofía de la tecnología, no obstante su vieja data, no parece haber tenido un desarrollo simétrico al de la filosofía de la ciencia, y a pesar de que hoy son cada vez más numerosos los estudiosos del tema, éste se encuentra aún en un estadio que podemos calificar de insatisfactorio. Esto puede deberse en parte a la tradición escolástica que siempre otorgó mayor jerarquía intelectual a la búsqueda del conocimiento "*per se*", que a la solución de problemas concretos. Otra razón puede estar dada por el hecho que la introducción de una nueva tecnología no constituye meramente una intervención en la naturaleza. Es también una intervención en el mundo humano, lo que inevitablemente le agrega una dimensión social y económica que hace al proceso de innovación tecnológica más complejo que el de desarrollo científico.

1. ¿Existe un criterio de demarcación entre ciencia pura, ciencia aplicada y tecnología?

Una de las creencias más difundidas acerca de la tecnología, consiste en identificar a ésta con ciencia aplicada. Demás está decir que existen muchos ejemplos para sugerir tal identificación. Sin embargo, si se considera todo el espectro del avance tecnológico, se observa que la ciencia no siempre juega un rol decisivo en el desarrollo de la tecnología. De hecho,

han existido ocasiones en las que el avance tecnológico se ha producido sin el concurso del conocimiento científico y ha habido avances en el conocimiento científico impulsados por desarrollos tecnológicos.

La concepción habitual de la tecnología enfatiza que la misma se asienta sobre todo en la aplicación del conocimiento. Sin embargo, no todo el conocimiento deriva de la investigación científica. Es así que si analizamos toda la historia de la tecnología, surge de manera evidente que la mayoría de los avances tecnológicos se desarrollaron y se aplicaron con poco o ningún componente científico. Por ejemplo, los griegos antiguos hicieron numerosas contribuciones a diversas ciencias: astronomía, óptica y acústica, así como importantes avances en matemáticas. La tecnología griega también progresó a través de avances en la agricultura, construcciones, minería, refinación de metales y equipo militar. Sin embargo, ninguna de estas innovaciones se nutrió de manera significativa en la ciencia griega. Es más, los logros griegos en tecnología resultaron mucho menos espectaculares que sus logros científicos, poniendo de manifiesto la falta de conexión entre ambos.

Este desarrollo asimétrico de la ciencia y la tecnología continuó con los romanos, pero de manera inversa. Mientras que los avances producidos por los romanos en ingeniería fueron notables (por ejemplo los grandes acueductos), sus contribuciones a la ciencia fueron relativamente modestas. Nuevamente, la tecnología en la antigua Roma tuvo poco que ver con la ciencia de su época.

La Europa Medieval representó por su parte un tiempo de lento pero significativo avance tecnológico. Se introdujeron mejoras en la agricultura, y nuevas fuentes de energía tales como los molinos de viento. Se desarrolló la minería y el empleo de diversos artefactos mecánicos. Las catedrales fueron construidas en distintas partes de Europa, y son hasta hoy una fuente inagotable de asombro e inspiración para todo el mundo **[10]**. Una vez más, todo indica que estos logros se obtuvieron sin el recurso de los avances científicos de la época. De hecho, parece ser que los constructores de las grandes catedrales no tenían conocimiento siquiera de las tablas de multiplicar.

Los siglos XVI y XVII fueron en cambio escenario de notables avances en ciencia, mientras que el desarrollo tecnológico siguió en el mismo período una evolución más modesta **[11]**. Del mismo modo, la Francia de comienzos del siglo XIX fue el asiento de la ciencia más avanzada de Europa, sin embargo su tecnología se encontraba a la zaga de la de Inglaterra, que se encontraba en una condición científicamente inferior, no obstante ser la cuna de la Revolución Industrial. Todos estos registros históricos han llevado a Thomas Kuhn a conjeturar que a lo largo de la mayor parte de la historia humana, la tecnología ha florecido en sociedades en las que la ciencia permaneció relativamente estancada y viceversa. En tal sentido, es posible que una característica distintiva de nuestra época, sea el desarrollo simultáneo de la ciencia y la tecnología.

La poca importancia relativa de la ciencia pura para muchos desarrollos tecnológicos, ha quedado ilustrada por un estudio conducido por el Dpto. de Defensa de los EE.UU. a mediados de los ‘60, denominado “Proyecto Hindsight”.

Este estudio analizó hasta qué punto la investigación básica fue esencial para el desarrollo de veinte grandes sistemas de armas. De las 710 situaciones consideradas, el estudio concluyó que la investigación básica había originado sólo el 0.3% del total. La investigación aplicada con fines militares específicos había contribuido en cambio en un 6.7%, mientras que la investigación aplicada destinada a fines no militares había sido el origen del 2% del total. De manera que el restante 92% no estaba vinculado con investigación científica previa, sino con conceptos y principios establecidos **[12]**.

A similares conclusiones arribó un estudio conducido en Inglaterra acerca de los ganadores del “Queen´s Award for Industry” **[13]** que se otorga a firmas británicas que

se distinguen en innovación tecnológica. El estudio estableció que sólo unas pocas de tales innovaciones reconocían su origen en la investigación científica. A idénticas conclusiones llegó el estudio conducido por James Utterback acerca de la innovación en la industria norteamericana **[14]**.

De todos modos, a pesar de la aparente contundencia de los resultados de los estudios mencionados, no es conveniente saltar a conclusiones dado que, tal como lo puntualizan algunos críticos, tales estudios no consideraron las influencias de largo plazo que la investigación científica pudo haber tenido en los desarrollos tecnológicos analizados. Por ejemplo, el horizonte temporal del Proyecto Hindsight estaba determinado por la investigación científica realizada esencialmente a partir del año 1945. Esto implica que hubiesen podido existir influencias de investigaciones realizadas con anterioridad a tal fecha.

Esta posibilidad se vio abonada por los resultados de otro estudio acerca de la relación entre investigación científica y aplicación tecnológica, denominado TRACES (Technology in Retrospect and Critical Events in Science) que contradijo en buena medida a los estudios anteriores al concluir que si se amplía el horizonte temporal, aumenta significativamente el número de innovaciones que tuvieron su origen en la investigación científica **[8]**. De cualquier modo, las técnicas nacidas después de la Revolución Científica del siglo XVII se fundan cada vez más sobre las ciencias, y esta tendencia se acentúa de manera notable a partir del siglo XIX **[15]**.

La aplicación de la teoría a problemas prácticos da origen a varios problemas filosóficos generalmente ignorados. Algunos que M.Bunge menciona **[16]** son: la validación de la acción por la teoría y la relación entre regla y ley. Con relación al primero puede decirse que por un lado, una teoría puede brindar conocimiento respecto a los *objetos de la acción*, por ejemplo máquinas e instrumentos, y puede por el otro concernir a la *acción propiamente dicha*, por ejemplo a decisiones referentes al diseño y la construcción de dichas máquinas o instrumentos. Ambos tipos de teorías son *teorías tecnológicas*, sin embargo, mientras las del primer tipo son *sustantivas*, las del segundo tipo son *operativas*.

De acuerdo con Bunge, las teorías sustantivas son esencialmente teorías científicas aplicadas a situaciones casi reales, como podría serlo por ejemplo una teoría del vuelo, que es una aplicación de la fluidodinámica. En cambio, las teorías operativas pueden tener poco o nada que ver con teorías científicas. No tienen un objetivo cognitivo sino un objetivo de acción. Sin embargo, comparten muchas veces con las teorías científicas el método de la ciencia, y desde este punto de vista, podrían considerarse como teorías científicas para la acción.

Vistas desde un ángulo práctico, las teorías tecnológicas son más ricas que las teorías científicas, ya que en lugar de establecer que es lo que ocurre, pudo haber ocurrido, o puede ocurrir, independientemente de decisiones externas, las teorías tecnológicas prescriben lo que habría que hacer para que ocurran, o para evitar, o para modificar el curso de los eventos en una *forma prescripta*.

Desde un punto de vista conceptual, en cambio, las teorías tecnológicas son, según Bunge, definitivamente más pobres que las de la ciencia pura, ya que son menos profundas debido a que el hombre práctico está esencialmente interesado en los efectos que ocurren y que son controlables en la escala humana, más que en cómo son las cosas en realidad. De este modo los requerimientos de exactitud en ciencia aplicada y en tecnología son mucho menores que los de la ciencia pura, de manera que una teoría grosera y simple que brinde estimaciones correctas de órdenes de magnitud, será suficiente en general en la práctica. Los coeficientes de seguridad utilizados en las aplicaciones de tales teorías se encargarán de enmascarar los errores de las mismas.

No hay como recurrir a un texto de ingeniería, para establecer de manera elocuente las complejidades de un problema tecnológico y las limitaciones de un enfoque puramente

científico: *"...un ala llena de combustible se puede calentar considerablemente mientras el avión es servido en la pista. Durante el ascenso, cuando el avión soporta muchas de las cargas de maniobra, el material se encuentra todavía tibio, hasta que al llegar a la estratosfera la estructura y el combustible se enfrían hasta -55°C. Se producen cargas cíclicas, y si el vuelo es sobre el océano, el aire contiene alguna cantidad de sal. Al descender, la estructura fría se encuentra con aire tibio y húmedo, que también puede poseer algo de ácido sulfúrico. Es así que una eventual fisura en el tanque, estará expuesta por un lado al cambiante medio externo y por el otro al combustible.... Claramente, una situación como la descripta desafía cualquier intento de modelado teórico. Ni siquiera es concebible que un ensayo de laboratorio provea una solución al problema. Sólo queda como recurso el pragmatismo ingenieril»* **[17]**.

Podemos definir tecnología siguiendo a Aquiles Gay **[18]** diciendo que es el conjunto ordenado de conocimientos y los correspondientes procesos, que tienen como objetivo la producción de bienes y servicios, teniendo en cuenta la técnica, la ciencia y los aspectos económicos, sociales y culturales involucrados. El término se hace extensivo a los productos (si los hubiera), resultantes de esos procesos, que deben responder a necesidades o deseos de la sociedad y como fin último, contribuir a mejorar la calidad de vida.

Por otro lado, desde un punto de vista más estructural, podemos plantear la siguiente definición: tecnología es el resultado de relacionar la técnica con la ciencia y con la estructura económica y sociocultural, a fin de solucionar problemas técnico-sociales concretos. La tecnología proviene entonces de analizar determinados problemas que se plantea la sociedad y buscar la solución, relacionando la técnica con la ciencia y con la estructura económica y sociocultural del medio, abarcando:

- *La técnica*: los conocimientos técnicos, las herramientas y la capacidad inventiva.
- *La ciencia*: el campo de los conocimientos científicos.
- *La estructura económica y sociocultural*: todo el campo de las relaciones sociales, las formas organizativas, los modos de producción, los aspectos económicos, la estructura cognoscitiva, el marco cultural, etc.

Siempre según A.Gay, la técnica abarca los conocimientos técnicos y las herramientas, mientras que la tecnología tiene en cuenta además los conocimientos científicos, la estructura sociocultural, la infraestructura productiva y las relaciones mutuas que surgen. La tecnología sería así "técnica" más "estructura" (estructura económica, sociocultural, de conocimientos, etc.). En la técnica está el "cómo" hacer, mientras que en la tecnología están además los fundamentos del "por qué" hacerlo así.

Mientras la ciencia pura procura establecer regularidades o leyes objetivas, la investigación orientada a la acción (investigación tecnológica) procura encontrar normas estables de comportamiento humano exitoso, o reglas de acción. La consideración de estas reglas es central a una filosofía de la tecnología. Una regla *prescribe* un curso de acción: nos dice qué debemos hacer para alcanzar un cierto objetivo o resultado.

Más explícitamente: una regla es una *instrucción* para efectuar una secuencia finita de acciones en un dado orden y con un fin determinado. Mientras el rango de una ley es toda la realidad, el de una regla de acción es la humanidad (y su entorno). Las leyes son *descriptivas* e *interpretativas*, mientras que las reglas son *normativas*.

Consecuentemente, mientras que los enunciados de las leyes pueden ser más o menos verdaderos, las reglas pueden ser más o menos efectivas. Para demostrar que una regla es efectiva, es necesario aunque no suficiente, mostrar que ha sido exitosa en un elevado porcentaje de casos. Antes de decidir que una regla es empíricamente efectiva, deberíamos establecer por qué lo es. Este requerimiento marcaría la transición entre la práctica artesanal precientífica, la tecnología y la ciencia aplicada, y da origen a lo que Bunge define como enunciados *nomopragmáticos*, es decir reglas de acción de las que conocemos la razón de su efectividad **[19]**.

Existe con frecuencia una considerable confusión acerca de la distinción entre ciencia pura y ciencia aplicada, y más aún entre ésta y tecnología. El científico aplicado se ocupa de la tarea de descubrir aplicaciones para la teoría pura, mientras que el tecnólogo trata con problemas más cercanos a la práctica. Sean cuales sean las características distintivas de la ciencia pura, de la ciencia aplicada y de la tecnología, lo que resulta evidente es que existe entre las tres una estrecha relación dada por múltiples interconexiones.

Parece razonable entonces intentar analizar al conjunto de todas ellas generalizando, con las debidas precauciones, la metodología que hasta ahora se ha empleado esencialmente para la ciencia pura. En tal sentido, podemos comenzar nuestro análisis aceptando, al menos provisoriamente, que podemos extender al conjunto la distinción estándar entre *contexto de descubrimiento* y *contexto de justificación*, propuesto por Reichenbach **[20]**.

Aunque ésta distinción entre contextos ha sido objeto de diversos ataques **[21]**, resulta útil para limitar el análisis a aquellos aspectos del proceso de creación científica o tecnológica que tienen más posibilidades de obedecer a una lógica susceptible de ser analizada, como lo son los relacionados con el contexto de justificación.

Consideremos en primer lugar el problema de la racionalidad del cambio tecnológico en contraste con el de la racionalidad del cambio científico. Si partimos del supuesto filosófico (que no discutiremos) que la ciencia y en particular el cambio científico son racionales, surge inmediatamente el interrogante de si existe racionalidad en el cambio tecnológico. Según M.Bunge, un acto puede ser considerado racional cuando (i) está maximalmente adecuado a un objetivo predeterminado, y (ii) tanto el objetivo como los medios para alcanzarlo han sido escogidos o realizados empleando deliberadamente el mejor conocimiento relevante disponible.

Ahora bien, el conocimiento subyacente a la acción racional puede encontrarse en cualquier punto del espectro entre conocimiento ordinario y conocimiento científico, con la sola limitación de que se trate de conocimiento propiamente dicho y no de hábito o superstición. De modo que si adherimos a este concepto de racionalidad y lo aplicamos al cambio tecnológico considerado como acción, podríamos aceptar que aquél es, efectivamente, racional. Sin embargo, cuando consideramos el cambio tecnológico, podría argumentarse que la racionalidad del mismo no puede estar segregada de sus efectos de mediano y largo plazo, al menos en aquellos casos en que tales efectos sean previsibles.

No cabe duda que si incluyésemos esta última consideración en nuestro análisis, la conclusión acerca de la racionalidad del cambio tecnológico se vería seriamente cuestionada.

Aun aceptando la racionalidad del cambio tecnológico, queda por analizar en qué medida dicha racionalidad difiere de la del cambio científico. En el ámbito de la ciencia pura, una teoría es reemplazada por otra cuando la nueva teoría constituye un progreso representado por un avance cognitivo respecto de la anterior o porque permite resolver más problemas que la teoría desplazada. En otras palabras, si la nueva teoría presenta un mejor acuerdo con la realidad que la teoría anterior.

Algo similar puede decirse respecto del cambio en la ciencia aplicada. Puede sin embargo señalarse una diferencia de énfasis con respecto a la ciencia pura. Si bien tanto en ciencia pura como en ciencia aplicada el criterio de validación de las teorías es su acuerdo empírico con la realidad (estamos refiriéndonos por supuesto, a las ciencias fácticas), el investigador básico persigue un objetivo fundamentalmente cognitivo, mientras que el investigador aplicado procura primariamente identificar y generar conocimiento con valor potencial para la resolución de problemas de interés social **[22]**.

La naturaleza del cambio tecnológico es en general mucho más compleja que la del cambio científico. Suele sugerirse que el criterio de validación de una tecnología, es su eficacia. Sin embargo, a menos que se aclare debidamente el significado que se asigna al término "*eficacia*", la proposición anterior se encuentra muy cerca de constituir una tautología.

La definición de diccionario del término "eficacia", es: virtud, actividad, fuerza y poder para obrar. Más sugerente es el significado dado al término "*eficaz*": que logra hacer efectivo su intento o propósito [23]. Sin embargo, el reemplazo de una tecnología por otra no tiene lugar sólo porque ésta última logre, quizás al igual que la anterior, hacer efectivo el propósito del tecnólogo. Dicho propósito debe alcanzarse con los recursos y dentro del plazo disponible, y en este sentido la nueva tecnología debe demostrar que puede utilizar estos recursos de mejor manera que la tecnología anterior. En otras palabras, cuando nos referimos a tecnología, el criterio de eficacia debe ser reemplazado por el de *eficiencia*, si es que entendemos por tal la capacidad de hacer efectivo un propósito utilizando la menor cantidad de recursos posible. Observemos que la eficiencia como criterio selectivo constituye una característica distintiva del cambio tecnológico, que se encuentra ausente en el ámbito de las ciencias puras.

Si bien es cierto que cuando se produce un cambio en ciencia pueden intervenir criterios que a veces son denominados de eficiencia, ésta adquiere un sentido muy diferente que en el caso de la tecnología. En efecto, una teoría en el campo de las ciencias puras puede ser reemplazada por otra porque explica de manera más "eficiente" que la teoría anterior un determinado fenómeno, o porque resuelve de forma más "eficiente" un dado grupo de problemas. Sin embargo, en éste contexto el término eficiencia no se refiere a una mejor utilización de los recursos materiales (incluido el tiempo, que en la vida práctica tiene un valor material) como ocurre *siempre* en tecnología, sino que tiene que ver en gran medida con el sentido estético del investigador o de la comunidad científica.

Podemos así coincidir con Bunge cuando afirma que el tecnólogo está justificado al preferir la teoría más simple (aunque no sea la más cercana a la verdad), ya que está más interesado en la eficiencia que en la verdad. En situaciones reales, las variables relevantes son desconocidas, o conocidas sólo de manera imprecisa. Tales situaciones son de una complejidad tal que impiden un estudio detallado. En particular, el método reduccionista clásico consistente en aislar las variables una a una, suele ser impracticable en tecnología.

Es posible sugerir en virtud de lo expuesto, que el concepto de eficiencia podría constituir el criterio de demarcación entre ciencia (pura y aplicada), y tecnología. En tal sentido, tengamos en cuenta que ya Heidegger [24] nos dice que la esencia de la tecnología moderna es la búsqueda de cada vez mayor flexibilidad y eficiencia *"por sí mismas"*. En otras palabras, su único objetivo sería la *optimización*.

De cualquier modo, aun aceptando que la eficiencia es un adecuado criterio demarcatorio entre ciencia y tecnología, subsiste la dificultad de establecer los límites entre ciencia pura y aplicada. En tal sentido, el criterio muchas veces propuesto de caracterizar a la ciencia pura por un objetivo cognitivo, y a la ciencia aplicada por un objetivo de utilidad, no resulta enteramente satisfactorio ni riguroso.

Para ver que esto es así basta considerar que cuando un fisiólogo que estudia determinados aspectos del metabolismo celular, dice hacer investigación básica, un físico-químico experimental juzgará que se trata de físico-química aplicada de membranas, siendo la investigación físico-química que él realiza la que merece denominarse básica. Por el contrario, un termodinamicista teórico afirmará que el físico-químico experimental no hace otra cosa que termodinámica aplicada, y así sucesivamente hasta llegar a la teología pasando por la semántica [25]. Es fácil ver que el objetivo cognitivo se encuentra siempre presente, en todo caso conviviendo con el objetivo de utilidad. De cualquier modo, resulta claro que la utilización del tipo de objetivo como criterio demarcatorio entre ciencia pura y ciencia aplicada no resulta enteramente satisfactorio.

Las dificultades recurrentes que se presentan toda vez que se intenta establecer una delimitación clara entre lo que es ciencia pura y ciencia aplicada nos lleva a sugerir la siguiente propuesta: no existe criterio de demarcación que permita diferenciar en forma precisa a la

ciencia pura de la ciencia aplicada. El pasaje desde una hacia la otra es gradual, continuo, y relativo al contexto o marco de referencia subjetivo desde el que se lo analice.

En otras palabras, el encuadramiento de una dada porción de conocimiento como ciencia pura o como ciencia aplicada depende del punto de vista desde el cual se la considere: lo que es sin lugar a dudas ciencia pura para un investigador, puede ser claramente ciencia aplicada para otro. Por la misma razón, todas las consideraciones epistemológicas desarrolladas para la ciencia pura son en principio válidas para la ciencia aplicada. De acuerdo con esta posición relativista o contextualista, no existiría un criterio absoluto para calificar a una dada región del conocimiento científico como "pura" o como "aplicada", ya que aún en aquellos casos extremos en que el encuadramiento bajo una dada calificación podría parecernos evidente, la calificación siempre podría cambiar como consecuencia de alguna modificación en el contexto.

Surge de todas estas consideraciones que, al menos dentro del "contexto de justificación", no existirían diferencias metodológicas entre la ciencia pura y la ciencia aplicada. Nos preguntamos ahora si podemos hablar también de un contexto de justificación en el caso de la tecnología, y de qué modo éste puede diferenciarse del de la ciencia.

Cuando analizamos los aspectos metodológicos fundamentales del contexto de justificación de las ciencias fácticas, especialmente las naturales, debemos aceptar que la esencia de aquél está estrechamente relacionado con el concepto de verificabilidad, o siguiendo a Popper, de falsabilidad. Es decir, una teoría científica mantiene su validez en tanto resista los intentos que hacemos para refutarla empíricamente.

Podemos ver que la validez de una teoría científica depende de que la misma exhiba un cierto isomorfismo con el mundo físico, y cuanto más amplio sea el dominio de este isomorfismo más contenido cognitivo podemos atribuirle a la teoría en cuestión. En cambio, según hemos visto, en tecnología el objetivo cognitivo queda subordinado al objetivo de utilidad, y esto se refleja en el hecho que la adopción o el cambio de una tecnología por otra, está determinado directamente por su eficiencia antes que por su contribución cognoscitiva.

Observemos aquí que si bien puede existir una intención cognoscitiva por parte del tecnólogo, el conocimiento eventualmente obtenido es empleado de manera de ponerlo al servicio del objetivo de utilidad, como ocurre en forma muy cruda en el método de "prueba y error".

2. La ingeniería y la resolución de problemas abiertos. El vínculo entre tecnología e ingeniería

Puede decirse, como primera aproximación, que la ingeniería es el empleo de variados conocimientos, entre ellos cierto conocimiento científico y otros empíricos, en la concepción y el desarrollo de soluciones a problemas de la sociedad, en busca de su bienestar. Conocimiento científico, proveniente de las ciencias naturales, especialmente en lo relativo a los materiales que nos provee la naturaleza y la energía, acompañados de otros conocimientos también empíricos adquiridos muchas veces, como se mencionó más arriba, a través de "prueba y error".

Así como los científicos ven en los fenómenos naturales ciertos patrones de comportamiento que hacen al mundo en que vivimos "inteligible", los ingenieros ven en esos mismos fenómenos ciertos atributos que los hacen "manipulables", lo que logran a través de las tecnologías que esos ingenieros crean para utilizar lo que nos provee la naturaleza. Esto le sirve a la sociedad para satisfacer sus necesidades básicas, como proveerse de alimentos, albergue y abrigo. Pero no sólo satisfacer esas necesidades básicas sino también alcanzar anhelos o deseos de la más variada índole, pues las tecnologías hoy dan cuenta de la casi totalidad del consumo humano.

Se puede decir que la porción del mundo que habitamos está casi totalmente "rediseñada" por el hombre mediante la aplicación de sus tecnologías. Hoy ya casi nada

proviene del mundo "natural" para su uso directo, sin sufrir previamente diversas y reiteradas modificaciones a través de esas tecnologías.

Los ingenieros enfrentan en general problemas abiertos, es decir no totalmente definidos, ya que raramente lo están, porque lo que se entiende por "problemas de ingeniería" no son simplemente la representación de situaciones negativas, que podrían no obstante llegar a estar totalmente definidas, sino que el "problema" representa la carencia de algo que puede que no se sepa con precisión qué es, pero que se considera sería lo que no permite lograr el fin deseado, que siempre en última instancia es el bienestar económico social.

Es así que hablar por teléfono significaba hasta ayer tener que permanecer cerca de su conexión física a la red, hasta que se introdujo el teléfono inalámbrico y más tarde el celular, lo que dio la posibilidad de hablar apartado de la conexión y en movimiento. Para pasar de la situación problemática inicial para la que se carece de una solución apropiada, a una nueva situación donde se dispone de ella, los ingenieros usan los conocimientos de la ciencia y la tecnología además de emplear estrategias diversas para "diseñar" soluciones a los problemas prácticos que se les plantean.

La esencia de la ingeniería es entonces el diseño y la implementación de soluciones a problemas bajo condiciones reales, es decir "restrictivas"; siendo entonces su primera tarea identificar las restricciones presentes, para poder tenerlas en consideración al diseñar. Hay restricciones de diversos tipos, las absolutas e ineludibles como las que imponen las leyes de la naturaleza, como la conservación de la energía o la impenetrabilidad de la materia, por lo que es imprescindible conocerlas. Otras restricciones son más flexibles y circunstanciales, como las que imponen la economía, la ecología, la política, lo social y lo ético, que se deberán también tener presentes.

En la respuesta a un problema, el acomodarse plenamente a una de las restricciones presentes, lleva generalmente a conflictos con las demás por lo que no existe "el diseño perfecto", sino que se trata siempre de una solución de compromiso que atienda a todas aquellas restricciones.

Entonces, el desafío que enfrenta el ingeniero será: diseñar la solución más apropiada y conveniente ante todas las restricciones presentes en el caso, teniendo además en cuenta que diseñar productos, o partes de ellos, requiere de la consideración del comportamiento que tendrán en condiciones reales, es decir en interacción con todas las demás partes, integrando sistemas. El auto es un ejemplo, donde el diseño de un nuevo sistema de freno o de dirección, no puede hacerse sin considerar las interacciones con las otras partes del vehículo, como ser el motor y su potencia.

Hay que tener en cuenta además que los sistemas que se diseñen, del más simple al más complejo, requieren para operar apropiadamente, de "control", cuya esencia es la comparación de la información sobre lo que está sucediendo y lo que se desea que suceda, produciendo con el resultado de esa comparación una retroalimentación que brinde la posibilidad de aplicar correcciones sobre el proceso para que lo deseado efectivamente suceda. Es el caso del control automático del aire acondicionado de una sala, en la que se establece un rango de temperatura de referencia. Cuando la sala se encuentra en dicho rango de temperatura el equipo se detiene, y cuando se aparta del mismo se pone nuevamente en marcha.

El vínculo de la ingeniería con el diseño, en la acepción amplia que le estamos dando al término, está presente en sus muy variadas especialidades. Lo está en el diseño de los productos correspondientes a diversas áreas del conocimiento básico, como ser mecánica, electricidad, electrónica, física del sólido, microbiología de alimentos, entre otras. El vínculo está también presente en el diseño de los medios productivos o de los procesos de transformación que se empleen. En todas estas actividades subyacen por supuesto las correspondientes ciencias básicas.

La ingeniería, como otras profesiones, tiene su basamento en un conocimiento especializado, sistematizado, firmemente establecido y estandarizado, puesto que de no serlo cada problema aparecería como único, por lo que las soluciones a los mismos serian casi accidentales y no tendría valor ni la experiencia ni el conocimiento experto acumulado.

Como conocimiento profesional, el de la ingeniería reúne tres componentes básicos: una disciplina subyacente o ciencia básica, sobre la que descansa, aplicaciones de dicha ciencia básica, y reglas de acción exitosas de todo lo cual derivan los procedimientos de diagnóstico y las soluciones a los problemas. Debe haber también un componente de habilidad y actitud relativo a la forma de diagnosticar los problemas y de proponer y ejecutar las prestaciones concretas por parte de los profesionales intervinientes **[26]**.

Surge de estas consideraciones que la tecnología como recurso material y el conocimiento tecnológico como recurso intelectual, son los medios de los que dispone el ingeniero para la solución de los problemas, a los que hay que agregar, y esto puede constituir el elemento distintivo entre tecnología e ingeniería, la habilidad para diagnosticar y resolver problemas nuevos. Una vez halladas las soluciones a estos problemas por parte del ingeniero, las mismas quedan incorporadas como nuevas tecnologías.

Un análisis particularmente interesante y relevante al tema de la relación entre tecnología e ingeniería, es el realizado por Ciapuscio **[27]** quien aceptando la diferenciación entre conocimiento científico y conocimiento tecnológico, cita a Gille **[28]** cuando expresa:

"La complejidad creciente de las técnicas modernas ha conducido a nociones nuevas que oscurecen todavía más el concepto de conocimiento técnico. En el caso de la propiedad industrial, por ejemplo, se ve cómo el know-how se compone de conocimientos aplicados – métodos y datos - que son necesarios para la utilización efectiva y puesta en práctica de las técnicas industriales. Allí el conocimiento técnico no es suficiente; hay que acompañarlo por servicios personales -show-how siguiendo al know-how- para una transferencia adecuada."

Según Ciapuscio, los ingenieros en general identifican el diseño como algo propio de la profesión y a la habilidad para diseñar como el test crucial para el mérito en la profesión.

¿Pero en qué consiste el diseño? Esencialmente es una adaptación de medios a un fin preconcebido. Tengamos en cuenta que si se conjugan diversos medios para un fin, lo que se está haciendo es una "síntesis". Esto es lo que hace el diseño, mientras que la ciencia hace "análisis", que son dos diferentes modos de pensamiento y constituye una gran diferencia metodológica.

Citando nuevamente a Ciapuscio: *"Hay primero una concepción en la mente del ingeniero que luego, por grados, se traslada a un plan o configuración detallada. Pero es solamente en las últimas etapas, en la concepción de los planos, que el diseño se transforma en técnica. Y todavía más tarde se manifiesta en herramientas o artefactos. El diseño involucra una estructura o modelo, una combinación particular de detalles o partes, y es precisamente la gestalt o modelo lo que resulta esencial para el diseñador.*

Podemos ver así a la tecnología como un espectro, con ideas en un extremo y técnicas o cosas en el otro, con el diseño a medio camino. Las ideas tecnológicas pueden ser trasladadas al diseño. Este a su vez puede ser implementado por técnicas o herramientas para producir artefactos o sistemas. El modelo corriente de relaciones ciencia-tecnología mira sólo al extremo del espectro. Sería una distorsión igual ver a la tecnología sólo como pensamiento; ambos aspectos son necesarios para una visión equilibrada.

Pero los propios ingenieros no definen la tecnología solamente en términos de diseño. En particular desde fines del siglo pasado se conciben ellos mismos como una clase de científicos prácticos capaces de diseñar. Los elementos racionales se han venido transformando en cuerpos sistemáticos de pensamiento, esto es, se han convertido en algún sentido en científicos."

De este modo, la función de las reglas tecnológicas sería proveer una base racional

para el diseño, no habilitar al hombre para entender el universo. El pensamiento que encarna los valores de la tecnología se relaciona con una adaptación activa de medios y de propósitos para algún fin humano, esto es, se relacionará con el diseño ingenieril.

Ciapuscio cita a Layton **[29]** cuando señala que *Ciencia y tecnología* habitan el mismo mundo integrado por *materia y energía*, pero lo perciben de diferentes modos y lo utilizan de maneras distintas. Distingue tres ideologías según el rasgo o carácter que privilegian: Primero, la ideología ciencia básica que interpreta la relación ciencia/tecnología, que es en realidad simbiótica, como un caso de parasitismo intelectual. Segundo, la ideología ciencia ingenieril, una ciencia distintiva y propia de la actividad de los ingenieros, que difiere de la básica, concierne a artefactos hechos por el hombre antes que directamente a la naturaleza. Tiene que ver a menudo con idealizaciones de máquinas, vigas, motores térmicos y artefactos similares. Tercero, la ideología diseño, de hecho una ideología ingenieril. Desde el punto de vista de la ciencia moderna, dice, diseño es nada; pero desde el punto de vista de la ingeniería, diseño es todo.

Diseño representa la adaptación intencionada de medios para alcanzar un fin predeterminado, que es la verdadera esencia de la ingeniería. El diseño, pariente del arte, exhibe sin embargo muchas de las características de la ciencia.

Layton propone una reformulación de las relaciones entre ciencia y tecnología. Hay que considerar, sostiene, que diseño, ciencia ingenieril y ciencia básica representan una jerarquía de abstracción progresiva, es decir constituyen un espectro que conecta el mundo de los artefactos ingenieriles al mundo ideal de la física teórica.

Podemos resumir y complementar lo anterior de la siguiente manera **[30]**:

- Las ciencias formales (matemáticas, lógica, geometría) no requieren de hechos.
- Las ciencias fácticas (ciencias naturales, sociales, etc.) tratan de comprender hechos del mundo. Se trata de explicar lo que existe.
- Las ingenierías tratan de modificar lo que existe o de crear cosas que nunca existieron. Hay una acción sobre el mundo, que incluye no sólo conocimientos científicos sino también juicios, decisiones, intuición, instinto.
- Las ciencias de la ingeniería son las disciplinas que sirven de apoyo a las ingenierías, y requieren de conocer lo que existe.

Es necesario comprender a las ingenierías de manera diferente a las ciencias que le sirven de apoyo.

- Las ciencias naturales tratan de comprender el mundo que existe. Sus métodos están orientados a describir ese mundo natural. Para esas descripciones usan los sistemas de la lógica de las proposiciones y predicados, que permiten efectuar enunciados declarativos, y con ellos realizar inferencias.
- Las ingenierías tratan de crear algo que no existe o modificar algo. Están ligadas a la acción. Sin embargo, es posible utilizar la misma lógica que en las ciencias naturales con algunas adaptaciones. Las cosas que se crean no existirían de no ser por la intervención humana, pertenecen al mundo de lo artificial.
- En la ingeniería hay objetos artificiales, fenómenos artificiales, propiedades.
- Intencionalidad humana: las ingenierías se ocupan de como deberían ser las cosas para conseguir determinados fines.

Las cosas artificiales se caracterizan por:

- Están diseñadas o sintetizadas por seres humanos (aunque a veces esto no ocurre con premeditación).
- Pueden imitar la apariencia de las cosas naturales y carecer de los atributos de las cosas naturales, tanto sea en un aspecto o en muchos. Por ejemplo, la inteligencia artificial.
- Tienen funciones, objetivos, adaptación.

- Se pueden considerar como imperativas y como descriptivas, especialmente cuando se considera el diseño.

Los factores que se relacionan para conseguir los fines o adaptarse a los objetivos son:

- El propósito o finalidad de la cosa artificial
- El carácter del artefacto
- El medio en el cual debe actuar el artefacto

Un artefacto puede ser un automóvil, una represa, un chip electrónico, un software, un procedimiento constructivo, etc. Se puede pensar el artefacto como una interfaz entre un medio interior (formado por la sustancia y organización del artefacto) y otro externo. Para poder inventar y diseñar algo hace falta describir un artefacto en detalle (organización, funcionamiento) y el medio en el que se desarrolla.

Para independizar el medio exterior del interior debemos emplear un aislamiento (pasivo o activo), una retro-alimentación, una adaptación pronosticadora. Por ejemplo, un barco de posicionamiento dinámico es un artefacto que ocupa la misma posición en un medio que se mueve. Para eso hace falta conocer las funciones del sistema artificial y las del medio exterior. La adaptación nunca es perfecta, dado que hay límites a lo que se puede lograr con el medio interno. Diseñar no es lo mismo que desear.

3. El diseño como actividad distintiva de la ingeniería y el rol del pragmatismo (abducción)

El diseño es una actividad intelectual que genera, explora y compara cursos de acción posibles (alternativas) y selecciona el más deseable dentro de limitaciones prácticas.

El diseño en ingeniería es un proceso de varias facetas, que incluye:

- Actividades estructuradas y cuantitativas, como análisis y dibujo.
- Tareas intuitivas y cualitativas, como la conceptualización y la toma de decisiones.

También tiene etapas:

- Diseño preliminar, exploratorio. Basta con conocer órdenes de magnitud. Interesan los cambios en la respuesta frente a cambios en los parámetros de diseño (sensibilidad). Se usan modelos simplificados, aproximados. Por eso los paradigmas no desaparecen totalmente a pesar de haber sido derrotados, siguen siendo empleados porque permiten hacer cosas con ellos en diseños preliminares. Los códigos de diseño pueden ayudar.
- En el diseño detallado ya se han limitado las alternativas y se debe especificar detalles. Búsqueda de óptimos, compromisos entre criterios.

La metodología clásica del diseño puede identificarse como:

- Definición del problema. Por ejemplo, permitir conectar dos puntos que no están conectados directamente, es el caso típico de un puente. (a) Se definen las necesidades. (b) Se identifican los recursos disponibles (materiales, obreros, tiempos, fondos, equipos,…). (c) Se establecen las restricciones del problema. (d) Los criterios que deben emplearse para poder establecer méritos entre las alternativas. Esta parte se expresa en lenguaje común.
- Síntesis. Torbellino de ideas, conceptualización. Se requiere creatividad, conocer soluciones a problemas similares, conocer el estado del arte, valores estéticos y sociales, … Por ejemplo, en un diseño estructural pueden emplearse varias conceptualizaciones (a) Mediante mecanismos de flexión, como vigas, (b) tensión o compresión sin momentos, como bielas o barras, (c) compresión, como arcos, (d) tensión, como cables. También pueden presentarse soluciones híbridas.
- Análisis. Verificación y optimización.
- Toma de decisiones. Los criterios pueden ser de mínimo peso, menor costo, mayor seguridad, estético, impacto social, o combinación de varios de ellos. Hay análisis de

costo beneficio si el costo es importante. Hay que dar peso a cada criterio. Hay elementos subjetivos. El costo final de un artefacto o proyecto depende de la toma de decisiones en las etapas preliminares.

- Documentación. Hay que documentar el diseño para que se pueda construir o llevar a cabo por otra persona distinta y con capacidades y conocimientos diferentes de quien diseña. También hay que documentar los argumentos mediante cálculos, decisiones, criterios.

Aunque la ingeniería se considera hoy como distinta a la ciencia, la predominancia de componentes de ciencia básica en la educación de los ingenieros contribuye implícitamente a la idea que la ingeniería es poco más que la mera aplicación de las ciencias exactas a la realidad de la práctica.

Para contribuir a combatir esta percepción y ayudar a un reflexión sobre la epistemología de la ingeniería, Figueiredo **[31]** propone un modelo en el cual la ingeniería se concibe desplegada en cuatro dimensiones conectadas en una relación transdisciplinaria y articula este modelo con las cuatro preguntas clave de la filosofía del conocimiento a fin de clarificar la naturaleza de esta relación y arrojar luz sobre algunos atributos distintivos del conocimiento ingenieril.

Las cuatro dimensiones de la ingeniería a las que Figueiredo hace referencia se muestran a continuación:

CIENCIAS SOCIALES El Ingeniero como sociólogo	CIENCIAS BASICAS El Ingeniero como científico
DISEÑO El Ingeniero como Ingeniero	REALIZACION PRACTICA El Ingeniero como hacedor

La dimensión inspirada por las ciencias básicas tiende a hacer ver a la ingeniería como la mera aplicación de las ciencias exactas y naturales enfatizando los aspectos que tiene que ver con la lógica y el rigor y concibiendo el conocimiento como producido a través de análisis y experimentación.

La dimensión social de la ingeniería ve en cambio a los ingenieros no sólo como tecnólogos, sino también como expertos sociales por su capacidad de reconocer la naturaleza esencialmente social del mundo sobre el cual actúan y por la complejidad de los equipos que integran. La creación de valor social y económico y la creencia en la satisfacción de los usuarios finales emergen como valores centrales en esta dimensión de la ingeniería.

La dimensión de diseño percibe a la ingeniería como el arte del diseño. Esta dimensión valora el pensamiento sistémico por encima del pensamiento analítico que caracteriza la ciencia tradicional. Su práctica se basa en una visión holística, contextual e integrada del mundo más que en visiones parciales. Valores típicos de esta dimensión incluyen la exploración de alternativas y su negociación. En esta dimensión, en la que se recurre con frecuencia a formas no científicas de pensamiento, las decisiones claves están muchas veces basadas en un conocimiento incompleto y en la intuición, así como en experiencias personales y colectivas.

La cuarta y última dimensión concibe a la ingeniería como el arte de concretar las cosas, valorando la habilidad para cambiar el mundo y encarando la complejidad con flexibilidad y perseverancia. Corresponde a la habilidad del *homo faber* en su expresión más acabada. En esta dimensión la obra terminada, conduce al más alto reconocimiento.

Figuereido cita a Gibbons et al **[32]** en su visión de la ingeniería como la resultante de la interpenetración mutua de las epistemologías de las cuatro dimensiones anteriores en el contexto de las perturbaciones que sacuden los correspondientes sistema de producción de conocimiento. Esta visión está en línea con la concepción de transdisciplinariedad como la continua conexión y re-conexión temporaria de conocimiento en agregados (*clusters*) y configuraciones en contextos específicos de aplicación que hace a este conocimiento fuertemente orientado a la resolución de problemas.

La dimensión de diseño es la que plantea la contribución más desafiante. En efecto, aunque la epistemología de las realizaciones prácticas tiende a ser la menos contemplada en la literatura, su naturaleza constructivista está fuertemente soportada por la tradición de los filósofos pragmáticos como Schön **[26]** y Mintzberg **[33]**.

La epistemología del diseño, central a la epistemología de la ingeniería, ha venido experimentando una marcada evolución desde la introducción del "*movimiento moderno del diseño*" en los primeros años de las década del '20. Esta epistemología, basada en la idea del diseño científico, es rechazada en los '70 con la idea que la epistemología de la ciencia no se alineaba y tenía poco que ofrecer a una epistemología del diseño.

Según esta nueva concepción habría formas de conocimiento peculiares al diseñador. Más recientemente, la relación conflictiva entre ciencia y diseño parece haber comenzado a recorrer un camino de reconciliación con el reconocimiento que la epistemología del diseño es por cierto diferente pero tiene mucho para contribuir a una epistemología de la ciencia renovada **[34]**.

La tecnología de sistemas de información ha descrito recientemente el diseño de sistemas de información según cuatro categorías, que son: el diseño como análisis funcional, el diseño como solucionador de problemas (*problem solving*), el diseño como formulador de problemas (*problema setting*) y el diseño como un aprendizaje evolutivo emergente **[31]**.

El diseño como análisis funcional asume que los requerimientos se encuentran totalmente disponibles desde el comienzo, de manera que el diseñador sólo requiere analizar el problema y proceder deductivamente hacia la solución siguiendo un camino inspirado por las ciencias básicas tradicionales. El diseño como solucionador de problemas resuelve problemas complejos simplificándolos hasta un nivel en el que puedan satisfacer un conjunto mínimo de criterios que permita arribar a una solución racional. Esta categoría de diseño se inspira en lo que H. Simon **[35]** denomina "*racionalidad limitada*" (*bounded rationality*) que refleja una concepción epistemológica cercana a una visión difundida de las ciencias sociales.

El diseño como formulador de problemas concibe al diseño como una actividad sistémica que requiere el descubrimiento y la eventual negociación de objetivos no explícitos, implicancias y criterios antes que un problema pueda ser formulado y subsiguientemente resuelto. La aceptación del encuadre de problemas en términos de sus contextos antes de que puedan ser resueltos.

Finalmente, el diseño como conocimiento evolutivo emergente, concibe al diseño como la convergencia de un problema y su solución en un proceso emergente de aprendizaje respecto de una situación y la consiguiente planificación de metas parciales de corto plazo a medida que el proceso progresa. Aspectos de la solución van surgiendo a medida que aspectos del problema se van comprendiendo. No sólo el problema está poco claro al comienzo del proceso sino que los objetivos de diseño a alcanzar tampoco lo están. El diseño va emergiendo entonces en forma circular, vinculando partes de la formulación del problema con partes de la solución, lo que pone de manifiesto la naturaleza constructivista de este enfoque.

Tomando como referencia el modelo multidimensional utilizado por Figueiredo y las consideraciones anteriores sobre epistemología del diseño, es posible analizar la epistemología de la ingeniería a partir de las cuatro preguntas cruciales de la filosofía del conocimiento. Estas son: la pregunta ontológica, la epistemológica, la metodológica y la axiológica.

Para el caso de la ingeniería, la pregunta ontológica inquiere *sobre qué realidad puede la ingeniería tener conocimiento*. Esta pregunta es sin duda un tanto abstracta y su interpretación puede variar con quién la formule. El término *ontología* tiene su origen en la filosofía y ha sido utilizado en una diversidad de maneras. Sin embargo, el término comienza a ser empleado con mayor frecuencia en el ámbito de la Inteligencia Artificial (AI) a partir de la década de los '70. Según un trabajo clásico de T.Gruber **[]**, ontología corresponde a un término técnico en ciencia de la computación cuyo significado es la *especificación de una conceptualización*.

En el marco de esta concepción, una ontología específica crea un leguaje específico. De modo que es razonable interpretar la pregunta ontológica arriba formulada en el sentido de sobre qué porción de la realidad puede haber un conocimiento propio de la ingeniería y en qué medida este conocimiento puede codificarse mediante un lenguaje propio.

Por ejemplo, el conocimiento de las leyes de la física, ¿corresponde a una porción de la realidad que pertenece al conocimiento ingenieril o al conocimiento científico? La física tiene una ontología representada por su lenguaje específico como sin duda lo tiene la ingeniería. Ambas ontologías, la de la física y la de la ingeniería representan conceptos que en general no son incompatibles pero que se diferencian muchas veces por la elección del lenguaje empleado. De acuerdo a lo analizado más arriba, se puede sugerir una intersección entre el conocimiento ingenieril y su lenguaje y el conocimiento científico y su lenguaje, es decir entre ambas ontologías. Pero las proporciones en esta intersección variarán en la medida que nos desplacemos del conocimiento científico al tecnológico.

Si nos preguntamos si la concepción de una turbina aeronáutica corresponde al conocimiento científico o al conocimiento ingenieril, resulta claro que si bien la intersección se mantiene, aumenta la proporción de conocimiento ingenieril en detrimento del científico y por lo tanto varía la proporción del uso de conceptos de una y otra ontología.

Esto nos lleva a la segunda pregunta epistemológica que inquiere sobre *qué es el conocimiento ingenieril*. La pregunta metodológica es *cómo puede el conocimiento ingenieril ser construido*.

Finalmente, la pregunta axiológica indaga *sobre el valor del conocimiento ingenieril*. El análisis anterior enfatiza los aspectos distintivos del conocimiento ingenieril que emergen de la fuerte presencia de una dimensión de diseño. De aquí la importancia asignada al razonamiento abductivo y la aceptación de acciones que pivotan sobre información accidental, que adoptan ideas capciosas y que producen saltos productivos que parecen ir en contra del rigor científico tradicional.

En relación con este último aspecto, es útil referirse al trabajo de J.Fontrodona Felip [37], Profesor de Ética Empresarial de la Universidad de Navarra, quien al analizar el rol del pragmatismo en la resolución de problemas empresariales, hace referencia a Charles Sanders Peirce (1839-1914) como padre del pragmatismo. Peirce era un asistente a las reuniones del *Cambridge Metaphysical Club* que un grupo de intelectuales funda entre 1871y1872 en Cambridge, Massachusetts, USA. Al analizar el método de investigación científico, Peirce añade la "*abducción*" a los métodos conocidos de la "*inducción*" y la "*deducción*".

La abducción es el momento creativo de la investigación, el momento de la generación y elección de hipótesis explicativas de sucesos empíricos. Ya en la misma percepción se da esta hipótesis, puesto que en el juicio perceptual, en el que se expresa la síntesis unificadora de los datos perceptuales, hay una presencia de la imaginación científica que genera una hipótesis sobre lo percibido.

También se da tal hipótesis cuando se trata de buscar una explicación a un hecho observado. Del mismo modo que Sherlock Holmes descubre al asesino al formular una hipótesis que dé sentido a una serie de hechos observados que por sí solos no dicen nada, pero cuya ocurrencia en un *aquí* y *ahora* determinados *sólo* tiene sentido "*si el mayordomo es el asesino*". Esa hipótesis, que es una conjetura inicial supone el inicio de la investigación; después se tratará de verificar la hipótesis hasta que sea una opinión lo suficientemente estable como para que el hombre, como científico, aquiete temporalmente su duda y, como práctico, encuentre en ella una creencia firme sobre la que actuar.

Para Peirce sólo la abducción aporta una novedad al conocimiento y por tanto sólo ella lo hace avanzar. La abducción no es más que una hipótesis, una explicación plausible. La abducción es un momento de creatividad, por la que el individuo descubre hechos, relaciones, explicaciones, que estaban ahí pero que estaban a la espera de un individuo que las descubriese.

Es razonable identificar este momento de creatividad con lo que Popper denomina el "contexto de descubrimiento", en el que se recurre a una libre utilización de la imaginación creativa con el objeto de producir ideas audaces y comprehensivas y que no está sujeto a las reglas más rígidas que caracterizan el "contexto de justificación" en el que tales ideas se validan.

Según Fontrodona Felip el científico no inventa nada, descubre. El artista, por el contrario, inventa, crea, a semejanza del acto creador de Dios. El práctico está a mitad de camino; ni crea del todo, ni inventa del todo. Podríamos decir que transforma.

Si Peirce se asombra por la regularidad que descubre en el universo, se asombra también por la capacidad que tiene el hombre en acertar y se pregunta por qué siendo infinitas las alternativas que se dan ante una determinada decisión, el hombre habitualmente necesite probar muy pocas, en el caso de que no acierte a la primera. Peirce parece hallar la respuesta en una cierta con-naturalidad del individuo con el entorno, debida al proceso de aprendizaje y a la adquisición de hábitos. La intuición no significa prescindir de la racionalidad, del mismo modo que la creatividad en la acción no significa prescindir del dominio de un oficio. Tomar en consideración la singularidad y la novedad que están presentes en cualquier acción humana no significa renunciar a la posibilidad de explicar racionalmente esa acción.

La lógica peirceana pone en evidencia que para la acción humana no sirve la racionalidad instrumental propia de la modernidad. Pero esto no significa que haya que renunciar a cualquier racionalidad, como sucede con aquellas propuestas que confían la acción humana a un choque entre pasiones sin espacio para la racionalidad, o hacen de la ambigüedad la clave interpretativa de los procesos cognitivos. Lo que Peirce parece reclamar es una racionalidad distinta, que tiene muchas de las características de la racionalidad práctica aristotélica [**36**].

Peirce acusa al pensamiento moderno de haber dibujado un mundo en el que reina el determinismo y en el que no queda espacio para la espontaneidad. Para Peirce, en cambio, la espontaneidad tiene en el mundo una presencia tan activa como pueda tenerlo la regularidad. En cierto sentido es el azar quien engendra el orden.

Volviendo al "diseño" como característica distintiva de la ingeniería, aquél es el "*plan mental*" que se hace para concebir una "*idea-solución*" a un problema dado - que puede ser la creación de un nuevo elemento, producto o proceso - y es también su "*representación anticipada*", la que se hace para entender cómo sería dicha solución cuando ella efectivamente se concrete. Representación que permite repensar el plan ideado, reevaluarlo y corregirlo si es necesario, y luego también transmitir dicho plan para su ejecución, para que el mismo se concrete en una efectiva solución, la que deberá luego validarse mediante variadas pruebas y ensayos y finalmente en su aplicación práctica para que lo ideado originalmente se transforme en una solución válida.

En la ingeniería, que se dedica a la solución de problemas sociales, colectivos, el diseño será la representación de la solución propuesta que permitirá su entero desarrollo e implementación, que permitan la producción de bienes y servicios como una real solución. Esto implica que la representación que hace el diseño en la ingeniería de la solución propuesta no sólo debe servir para poder visualizarla anticipadamente, repensarla y reverla, sino que también debe proveer los elementos para mejorarla de ser necesario y poder implementar su producción concreta. Si se comprobara que no se acertó con la solución elegida se la descartará y se intentará con otra idea.

4. El proyecto como plan de acción del ingeniero. Su relación con el diseño

El "*proyecto*" trata del "*conjunto de actividades diversas que se hacen, en un período de tiempo limitado, con un único objetivo*", que en el caso de la ingeniería sería dar respuesta al problema planteado. El proyecto en sí es la forma racional de asignar recursos para tratar de conseguir un objetivo. Porque sin recursos es imposible realizar actividades, así como sin éstas lo es lograr resultados. Recursos que siempre son limitados, sean los humanos, materiales o inclusive el propio tiempo - que siempre urge - lo que indica que el proyecto, y por tanto la solución, está sujeta a un conjunto de restricciones. Estas restricciones condicionan la solución, la que nunca será la óptima y siempre será "*de compromiso*", respetando los límites que imponen cada una de las restricciones presentes tratando de lograr el resultado "*más apropiado*", dentro del limitado tiempo, de los limitados recursos humanos – tanto en calificaciones como en cantidad - y de los limitados recursos materiales y económicos disponibles. Esto es similar a lo que sucede con el armado de una selección deportiva, que un jugador no puede participar, que el otro está lesionado, que no tuvieron suficiente tiempo juntos……, etc.

Pero esa no es la única visión del tema, según la Norma ISO 9000, la primera de una serie de normas que son de uso corriente en la ingeniería, el "proyecto" es un *proceso único* consistente en un conjunto de actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y de finalización, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con requisitos específicos, incluyendo las limitaciones de tiempo, costo y recursos. Mientras que para esta norma el "*diseño y desarrollo*" es un *conjunto de procesos* que transforma los requisitos en características específicas, o en la especificación de un producto, proceso o sistema.

El proyecto en sí es un conjunto de actividades diversas que se proponen con el único objetivo en un plazo determinado, en el caso de la ingeniería, de dar respuesta al problema planteado. El proyecto es la forma racional propuesta para la realización y concatenación de las actividades, y para asignar recursos a las mismas para conseguir el objetivo buscado. Recursos que, como se dijo siempre son escasos. Obviamente que la solución de un problema siempre será alguna cosa, o bien, puesto que sin productos o servicios no se satisfacen necesidades.

Veamos que dice esa misma norma ISO respecto a los "*Productos*" y los "*Procesos*": Producto "*es el resultado de un proceso*", lo que no dice mucho. Mientras que Proceso se define como "*conjunto de actividades mutuamente relacionadas, o que interactúan, las cuales transforman elementos de entradas en salidas*". Entonces, el Producto se define como el "*resultado de un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entradas en salidas*".

En realidad cuando se diseña un producto, lo que se definen y establecen son las características, o prestaciones, de dicho producto. Definiciones que se harán preferentemente a través de valores numéricos para poder tener posibilidad de medir, al desarrollar el producto, si es que se las logra alcanzar y poder verificar que el producto diseñado, al que se considera la respuesta a una demanda de la sociedad - sea ésta explicitada por ella, o potencial supuesta

por los que buscan la solución - realmente lo sea. Además, en el diseño se definirán también las acciones a desarrollar para que la idea que se tiene se transforme en un producto que pueda ser probado experimentalmente, tanto como sea necesario, para validar finalmente las propiedades deseadas que se intenta tenga en su mercado objetivo.

Según la mencionada norma ISO, "*calidad*" es el grado en el que el conjunto de características inherentes - al producto - cumple efectivamente con los requisitos - que son los que le impuso el diseño -.

El primer exponente del desarrollo de lo diseñado es lo denominado **"***prototipo***"**, puesto que es el que se realiza antes de la producción típica, o "tipo".

El "diseño" es entonces el plan mental que concibe el bien, antes de disponer de él. Es también una representación anticipada que se haga de él, expresada en dibujos diagramas, cálculos y textos, los que se aplicarán luego en su desarrollo, trabajo experimental que permite su materialización. Los bienes tecnológicos, sean productos o procesos, cosas tangibles o intangibles, es lo que se enseña a diseñar, desarrollar y producir y reproducir en las carreras de ingeniería. El producto, como se dijo, se completa mediante el desarrollo del mismo a través de una fase "experimental", y el producto finalmente obtenido se comprueba a través de ensayos diversos, y se "valida" finalmente en las pruebas en uso corriente para el cual la cosa fue diseñada.

Pasar de una situación con alguna carencia, que se denomina "*problema*", a otra donde ella estaría superada mediante su solución, que es por lo tanto el objetivo a alcanzar, sin duda requerirá la realización de un conjunto de actividades diversas, y dentro de un plazo determinado, puesto que una vez que se detecta un problema surge su solución, para la que se necesitan los productos diseñados -creados – que incluyen no sólo el prototipo, o la producción piloto sino productos en cantidad suficiente para abastecer a todos los que los demanden.

Se pueden citar genéricamente algunas de las actividades a realizar: diseño, desarrollo, ensayos y pruebas, producción y distribución, para que la solución llegue finalmente a sus demandantes, actividades cada una de las cuales podrían a su vez abrirse en muchas otras, más específicas.

Hay instituciones, particularmente en los EE.UU., en las que la realización de un proyecto juega un rol importante en la educación del futuro ingeniero. En este sentido, es ilustrativa la experiencia hecha por B.S.Sridhara **[38]**, profesor de la Middle Tennessee State University, que en el curso a su cargo de Fundamentos de Ingeniería, incorporó tópicos de calidad total, diseño de procesos y resolución ingenieril de problemas. Los alumnos del curso fueron motivados para participar en proyectos que se encontraban en desarrollo en el Dpto. de Ingeniería y Estudios Industriales, tales como auto solar y buggy lunar. Adicionalmente, se les dio a los alumnos algunos ejercicios "*hands on*" tales como el diseño 3-D de piezas de geometría recta y cicloidal que debían resolver por computadora para inmediatamente pasar a una máquina de *rapid prototyping* en la que podían observar la producción del objeto tridimensional correspondiente a su diseño fabricado en polímero. Como parte de sus "*home work*" los estudiantes trabajaron en un vehículo de energía alternativa para reducir los problemas de tránsito en el campus de la Universidad y se les requirió discutir su diseño en términos de un proceso de 10 pasos que se les había presentado en el texto del curso **[39]**. Una revisión bibliográfica útil sobre la enseñanza de la ingeniería basada en proyecto puede encontrarse en la referencia **[40]**.

El diseño, desarrollo y proyecto son actividades que, en las Resoluciones del Ministerio de Educación de la República Argentina, se reservan al título de Ingeniero en todas sus especialidades, y es razonable que así sea puesto que estas son actividades distintivas de la profesión del ingeniero. Una cantidad de ingenieros se dedican a esas actividades o a su gestión en las distintas especialidades de la ingeniería, siendo mayor la cantidad de ingenieros

que participan de estas actividades en los sectores que son más dinámicos técnicamente, tales como en ingeniería Electrónica o Informática y mucho menor la proporción de los que lo hacen en Ingeniería Civil o Industrial.

Quienes se dedican al diseño y proyecto o desarrollo son los que imaginan cosas artificiales - artefactos o artificios - que no existen aún, las diseñan y luego las hacen realidad concreta a través de su proyecto de desarrollo. Se obtienen así productos que tendrán ciertas propiedades o funciones buscadas, las que se deben validar, para lo que se diseñan también los ensayos que permitan esa validación. Estos se realizan para comprobar o desechar lo imaginado como solución a un problema existente.

Esto es así no sólo cuando se trata de diseñar, sea por ejemplo complejos artefactos que permitan transportar en forma segura los elementos combustibles nucleares usados hasta la planta donde se los tratará para su disposición final como residuos, sino también cuando se diseña un simple dispositivo para el control de la combustión de una estufa a gas para evitar que los gases resultantes de la misma puedan afectar a quienes están en su cercanía o un nuevo recubrimiento antiadherente para una olla de cocina o un sartén.

Se podrá argumentar que lo que se hace en casos simples es diseñar según lo que indican las normas, pero éstas también se actualizan periódicamente a consecuencia de los diseños que las superan, por lo que todo está en continuo cambio, lo que requiere de conocimientos básicos sólidos que permitan actualizar los conocimientos aplicados en la solución.

Pero satisfacer necesidades sociales de una parte de la población, no se hace con unos pocos productos que puedan surgir directamente del diseño y su desarrollo, sino que requiere de la producción y reproducción masiva de los productos o servicios diseñados. Producción lograda mediante la operación de sistemas productivos. Que siempre viene acompañada de problemas que requieren solución, tanto se trate de problemas que pueden ser nuevos, desconocidos e impredecibles, que requerirían de algún diseño particular, como problemas repetidos y rutinarios que también requieren atención, pudiendo ser su solución la aplicación de algún procedimiento establecido o la introducción de alguna corrección o mejora a los mismos.

Estas últimas, que son las actividades más corrientes de producción y no tanto las de diseño, son las que requieren de la participación de la mayoría de los ingenieros que forman las universidades. En dichas actividades trabajan la gran mayoría de los ingenieros, más allá de como las designe el Ministerio de Educación.

Se podrá afirmar que el diseño es una actividad poco frecuente en la Argentina, pero no debería serlo si lo que se pretende es alcanzar el desarrollo, para lucir entre los países que se reconocen como más desarrollados. Es por ser infrecuente el diseño que muchos ingenieros, de hecho la gran mayoría, se dedican a operar y mantener en condiciones operativas los sistemas productivos de bienes o servicios ya establecidos, lo que dio origen a la muy acertada frase del ingeniero Marcelo Sobrevila que se reprodujo más arriba.

Para la resolución racional de problemas, se reconoce que es necesario emplear conocimientos, y que lo que hay que hacer es concebir "ideas" generadoras de propuestas de lo que se supone sería "la solución". Linus Pauling dijo que «*lo mejor para tener una buena idea, es tener muchas*". Y para generarlas existen estrategias muy diversas. Aún cuando se tengan muchas ideas acerca de lo que serían las posibles soluciones a un problema, esto frecuentemente no es suficiente porque es necesario también diseñar la metodología que permita seleccionar la que sea más apropiada para el fin deseado. Este método de selección debe ser homogéneo, es decir el mismo para evaluar a todas las ideas, tener criterios representativos y mensurables de lo que aportaría cada actividad a realizar o pasos a dar hacia la solución. Estas actividades, aunque no se las demande aún demasiado, son inherentes a los ingenieros.

Si bien los conocimientos son la piedra basal de la ingeniería y por eso requieren de la atención y esfuerzo de las universidades que forman en ellas a los futuros ingenieros, no

todos los conocimientos necesarios poseen la misma relevancia. En este sentido, no obstante su importancia, las estrategias y métodos que específicamente hacen a la solución de problemas, a la innovación y a la creatividad, son poco atendidos en la formación de los ingenieros. Como tampoco son en general adecuadamente atendidos en las carreras de ingeniería los aspectos que hacen al diseño de bienes y servicios, así como la formulación y gestión de proyectos. Todos estos son temas fundamentales que hacen al ejercicio de la profesión del ingeniero, que si hoy todavía no se los demanda es en gran medida porque no se los ofrece.

Según J.Aracil **[41]** de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla, la aplicación de los conocimientos científicos a la resolución de problemas prácticos y el propio empleo del método racional de los científicos para esa resolución, empiezan a ocupar un lugar primordial en la metodología de la ingeniería. Sin embargo, este modo de concebir la ingeniería entrañaría el peligro de hacer olvidar la esencia de la ingeniería, que es la concepción de "*un mundo artificial*" y no la mera aplicación de lo que ya se sabe a determinados problemas prácticos, ya que esto es ciencia aplicada y no ingeniería, aunque muchas veces puedan confundirse.

La ingeniería no presupone ningún conocimiento teórico del cual se derive aquello que se concibe. La concepción de un producto de la ingeniería - un puente o un robot - no es algo que se *deduzca* de la teoría tecnológica correspondiente (en estos ejemplos la mecánica de los medios continuos y la teoría del control automático respectivamente) como se deduce la existencia de agujeros negros de la teoría de la relatividad. En la concepción de Bunge la primera sería una teoría tecnológica sustantiva, mientras que la segunda sería una teoría tecnológica operativa. En todo caso, según Aracil, aquellas teorías tecnológicas suministran el conocimiento necesario, o al menos disponible, para poder plasmar lo que se ha concebido e incluso para decirnos si aquello que pretendemos hacer puede o no hacerse con la tecnología disponible. Los casos de un robot, o de un avión, son especialmente interesantes en este sentido ya que en ellos confluyen múltiples tecnologías.

El ingeniero, cuando actúa como tal, es decir cuando concibe, diseña o proyecta algo, realiza un acto de creación mediante el cual relaciona elementos de diversa naturaleza en la síntesis que es el objeto artificial producto de su labor (producto que desarrolla en respuesta a un problema a solucionar, que primero diagnostica, abducción mediante). Esto requiere el conocimiento de las propiedades de los elementos que integra en su proyecto, conocimiento que a veces lo suministra la ciencia.

Además, en el proceso que va desde lo concebido a lo realizado aplicará el método racional (de desarrollo experimental, como parte componente de la I+D) en el que comparte con los científicos el haber alcanzado especial maestría y virtuosismo. Pero el acto mismo de creación y de concepción escapa a ese método. De ahí el cuestionamiento que hace Aracil de que pueda hablarse de algo así como de una técnica de creación sobre bases científicas, consistente con los conocimientos de la ciencia, pero que no emerge a partir de bases científicas.

En todo descubrimiento científico hay también un acto de creación, de síntesis de hechos dispersos en la unidad de una teoría, que suministra coherencia lógica a fenómenos en principio inconexos. Pero ese acto de creación propio del científico se produce en un ámbito de abstracción y generalidad muy diferente al de lo singular y concreto en el que lo hace el ingeniero. Este último, al desarrollar su actividad profesional, tiene que concebir, casi cotidianamente, soluciones a los problemas específicos que le presenta la puesta en práctica del mundo artificial que le es propio. En el científico, sin embargo, los actos de creación son más esporádicos. Un descubrimiento científico es algo de una universalidad y trascendencia que se produce muy ocasionalmente. Un proyecto de ingeniería tiene un carácter mucho más concreto y frecuente, casi cotidiano.

Las cuatro dimensiones de la ingeniería a las que Figueiredo hacía referencia, las del Ingeniero como sociólogo, como científico, como ingeniero propiamente dicho a través del diseño, o como un "hacedor" llevando a la realización práctica de las cosas, señalan el campo de los conocimientos que deberá emplear, los que por cierto serán muchos y provenientes de diversos orígenes.

La cuarta de las dimensiones, es la que concibe a la ingeniería como el arte de concretar las cosas, valorando la habilidad para cambiar el mundo y encarando la complejidad con flexibilidad y perseverancia, que se pondrá de manifiesto por ejemplo en la operación de facilidades productivas para la producción masiva de bienes. Sin tecnologías no hay productos, y sin éstos no hay forma de satisfacer las necesidades de la sociedad, es decir proveer alimentación, albergue y abrigo así como los otros productos que dan cobertura a otras necesidades y deseos que surgen y que dan cuenta de la casi totalidad del consumo humano. Pero los productos o servicios que se diseñen para satisfacer necesidades deben ser producidos en las cantidades, tiempo y forma adecuada para poder darles cobertura apropiada. Con ese propósito los ingenieros diseñan las facilidades que permiten hacerlo, facilidades que, al igual que los productos a realizar, tienen sus propias características técnicas distintivas que les permiten cumplir con su función.

Los ingenieros son, en un rol dual, los que se encargan no sólo del diseño, desarrollo, construcción y puesta en marcha de las facilidades productivas, sino también de su operación, mantenimiento y mejora, puesto que es la operación de tales facilidades lo que permitirá abastecer masivamente a la sociedad de todos los bienes (alimentos, vestimenta, casas, otros) y servicios (tales como la electricidad, el agua corriente, las telecomunicaciones, internet, carreteras, ferrocarriles) necesarios para la vida diaria.

De modo que la actividad propia de los ingenieros se centra por un lado en el diseño de las respuesta a problemas que son los que aparecen como requerimiento de la sociedad y que son respondidos usando conocimientos de la ciencia, la tecnología y estrategias diversas para diseñar bienes y las facilidades para su producción, y por el otro, resolviendo los problemas que surgen en la operación misma de las facilidades empleadas para la producción de dichos bienes. Esto es lo que efectivamente permite dar solución concreta a los requerimientos sociales, mediante el diseño de productos, de las facilidades para producirlos y a través de la operación eficiente de dichas unidades productivas.

Así como no es posible la producción de ningún bien sin generar residuos (sean estos más o menos amigables con el entorno), la producción eficiente tampoco es posible sin que aparezcan problemas operativos, productos de errores que siempre existen y son inevitables. De manera que un problema a atender por los ingenieros es proveer los medios necesarios para prevenir la aparición de errores, minimizar su existencia y en lo posible incrementar la eficiencia productiva y la calidad de lo producido.

Atender esos problemas, propios de la operación, de la eficiencia y de la calidad, es una actividad tan creativa como lo es atender los problemas iniciales del diseño, en menor grado quizás cuando los problemas se vuelven recurrentes y ya se les ha encontrado solución, por lo que la tarea se limitará entonces a la optimización de esas soluciones. Hallar una solución a un problema, plantearla, hacer el seguimiento de su implementación, comprobar si ésta da el resultado deseado y protocolizarla luego en un procedimiento para que dicha solución sea usada repetidamente cuando el problema reaparezca, es una tarea laboriosa e importante que tiene su cuota de creatividad.

Las empresas que aprenden se esfuerzan por mejorar este proceso empleando las modernas técnicas organizacionales e informáticas de gestión del conocimiento (*Knowledge Management* - KM). La gestión del conocimiento es un concepto aplicado en las organizaciones. Tiene el fin de transferir el conocimiento desde el lugar dónde se genera hasta el lugar en

dónde se va a emplear e implica el desarrollo de las competencias necesarias en el interior de las organizaciones para compartirlo y utilizarlo entre sus miembros, así como para valorarlo y asimilarlo si se encuentra en el exterior de estas.

Dicho "conocimiento organizacional" tiene sus propias características, fundamentos y formas de implementación, que lo diferencian de los conocimientos del diseño, tanto sea de los productos como de las facilidades productivas. Es así que la eficiencia y la calidad en producciones masivas repetitivas requieren del empleo de gran cantidad de datos, de su procesamiento estadístico e interpretación, utilizando métodos específicos que abrevan en su particular vertiente de conocimientos. Mientras que el diseño es una actividad que puede desarrollarse en unidades ad-hoc, en general separadas de las de producción, la operación de las facilidades diseñadas tiene lugar en el seno de los sectores productivos, donde el conocimiento que prima es el organizacional que tiene que ver con la eficiencia y la calidad en la producción.

Esto implica que los ingenieros, más allá de los fundamentos de las ciencias fácticas que determinan los límites de lo posible de ser diseñado y de las fuentes de creatividad que posibilitan el diseño, deberán también incursionar en el campo de los conocimientos organizacionales y en el de las teorías de la información. Esto hace que en la formación de los ingenieros se deba considerar un panorama más amplio que el que se tendría si **sólo se dedicaran al diseño,** no obstante que **ésta** es la actividad paradigmática de la profesión.

5. ¿Pero entonces, cómo debería formarse un ingeniero?

Es notable la poca atención que se le da en la ingeniería a los tres modos de inferencia: deducción, inducción y abducción, tanto por el valor que tienen en la producción del conocimiento científico, como en particular la última de ellas, abducción, en el ejercicio profesional de la ingeniería. Como también es notable lo poco que se atiende lo que hace a la generación y apropiación de conocimientos organizacionales en la propia empresa (ciclo de Nonaka y Takeuchi) **[42]**, como tampoco se presta la debida atención a las modernas técnicas que comienzan a difundirse del KM, importante no sólo por su actualidad, sino también porque pone en discusión la diferencia entre conocer y saber (*knowledge and wisdom*).

Recordemos que ya Platón expone en su diálogo *Teetetos* que los requisitos que se deben exigir a un enunciado para que el mismo exprese conocimiento son tres: *creencia*, *verdad*, y *prueba*[1]. En primer lugar, quien formula la afirmación debe creer en ella. En segundo lugar, el conocimiento expresado debe ser verdadero. Tercero, deberá haber pruebas de este conocimiento. Si no hay creencia, aunque por casualidad haya verdad y exista la prueba, pero esta no se halle en poder de quien formula la afirmación, no podremos hablar de conocimiento. Tampoco podremos hacerlo si no hay verdad, porque no asociamos el conocimiento a sostener lo que no corresponde a la realidad o a los estados de cosas en estudio. Finalmente, aunque hubiese creencia y verdad, mientras no exista la prueba se estará en lo que podemos llamar *estado de opinión*, pero no de conocimiento.

De cualquier modo, está claro que en esta concepción platónica, el establecimiento de la prueba ya implica la verdad del presunto conocimiento, de modo que las tres condiciones antes mencionadas no son del todo independientes.

La concepción moderna de conocimiento es en realidad menos estricta que la platónica, ya que en rigor ninguno de los tres atributos mencionados son considerados actualmente apropiados o esenciales para caracterizar al conocimiento científico. Ya no exigimos del conocimiento una dependencia estricta entre prueba y verdad, ya que es posible aceptar una

[1]En realidad, Platón propone estas exigencias como tentativa para caracterizar el "conocimiento", pero no se muestra convencido de haberlo logrado.

teoría científica sin haberla probado de manera concluyente, considerándosela de algún modo como "provisional", lo que implica también un divorcio entre el concepto de conocimiento y el de creencia[2].

Pero conocimiento no implica necesariamente sabiduría. T. S. Eliot expresa elocuentemente esta diferencia, cuando escribe "¿Where is the wisdom we have lost in knowledge*?, ¿Where is the knowledge we have lost in information?*".

El conocimiento surge del aprendizaje y la educación mientras que el saber (wisdom) resulta de las experiencias diarias y es un estado mental que habilita para ejercer juicios correctos y tomar decisiones acertadas. En otras palabras, mientras que el conocimiento consiste en tener claros los hechos y verdades, el saber es la habilidad práctica de tomar consistentemente decisiones correctas en la vida.

Lo que hace el KM es poner juntos a la información, al conocimiento y al saber en lo que hoy se llama *Data-Information-Knowledge-Wisdom* (DIKW) **[43]**.

Pero lo hace en el contexto donde esto sucede, que es fundamentalmente en el ámbito de la gestión empresarial o institucional, donde la importancia que se le da tiene que ver con proveer las mejores herramientas para la "toma de decisión", que es la actividad más común de las personas en ese ámbito.

Al estar en este contexto y no en el del "conocimiento científico" hace que aparezcan muchos otros mecanismos impulsores de la generación de nuevos conocimientos, diferentes al de la investigación, caballito de batalla de la ciencia. Más aún, aparece sobre el tema una variante, la de la teoría informática donde la pirámide se traduce en *Data-Information-Knowledge-Technology* que podría estar más acorde con el mundo de la ingeniería, donde Datos (Data) implica simplemente símbolos en su forma más cruda, es decir sin elaboración, Información (Information) significa datos que han sido procesados para tornarse útiles, es decir que proveen respuestas a las preguntas del tipo "quién", "qué", "donde" y "cuando", Conocimiento (Knowledge), es la aplicación de los datos y de la información y responde a las preguntas "cómo", Entendimiento (Understanding) representa la apreciación del "por qué", y finalmente Sabiduría (Wisdom), es Entendimiento evaluado y organizado.

Lo anterior da pie para pensar qué si los que se dedican a la gestión han logrado diferenciar entre la información y el conocimiento identificando las características distintivas entre ambos, tanto en lo que hace a su materialización como productos, como en lo que hace a los mecanismos de su producción, por qué no pensar que es posible establecer una epistemología propia de la ingeniería, diferenciada de la de la ciencia.

En "*El profesional reflexivo*", Donald Schön **[26]** plantea ya desde el prefacio su preocupación por la relación entre los tipos de "conocimiento respetados académicamente" y los tipos de "competencia valorados en la práctica profesional". Considera que estas actitudes han contribuido a ampliar la escisión entre las universidades y las profesiones, entre la investigación y la práctica y entre el pensamiento y la acción.

Según Schön, las universidades impulsan la dicotomía entre el conocimiento "duro" de la ciencia y la erudición, y el conocimiento "blando" de la maestría en un arte y la opinión llana. Posiblemente cuando Schön habla de conocimientos "duros" o "blandos" se refiere al rigor intelectual con que se los elabora, estando los segundos más cerca del mundo real de los objetos y su producción.

Se plantea interrogantes acerca de la "epistemología de la práctica", es decir: ¿en qué consiste el modo de saber que emplean los profesionales competentes?, ¿en qué se parece y en qué se diferencia el saber profesional de los tipos de conocimiento que se presenta en los

[2]Recordemos el caso del físico alemán Max Plank, quien desarrolló la hipótesis cuántica pero dejó establecido que no "creía" en ella y la consideraba provisional.

libros de texto académicos, artículos científicos y revistas eruditas?, ¿en qué sentido, si lo hay, existe un rigor intelectual en la práctica profesional?

Para indagar sobre esto, Schön realiza un examen riguroso de lo que algunos profesionales experimentados de la arquitectura y la ingeniería entre otras profesiones, hacen en la realidad profesional y cómo hacen para tratar de ayudar a aprender a aquellos que recién se inician. Supone que esos profesionales competentes normalmente "saben" más de lo que alcanzan a decir, y que exhiben, en la práctica un conocimiento que es en su mayor parte tácito. El rigor intelectual en su accionar es al mismo tiempo parecido y diferente al rigor de la investigación y el experimento en condiciones controladas.

Ya en 1963 se planteaba en EE.UU. la preocupación por la formación de profesionales "….ha de llegar el día en que la industria del conocimiento ocupará el mismo nivel en la economía que el que ocupó el ferrocarril hace 100 años…." Como fuerza laboral, los profesionales han ocupado desde el 4% en 1990, al 8% en 1950 y al 13% en 1966, prediciendo que se alcanzaría el 15% en 1975 y el 25% hacia el año 2000". Por supuesto que esos valores no sólo han sido alcanzados sino también superados.

En 2007 se supera en EE.UU. el 40%, en Canadá el 50%, y más de un tercio de la población económicamente activa de los países de la OECD tenía entonces en promedio estudios terciarios. A estos valores se llega creciendo entre 1998 y 2007, a una tasa tres veces mayor de lo que crecen los empleos en general. En nuestro país el valor alcanzado ronda la mitad del de la OECD, de ahí los planteos respecto a la necesidad de formar más ingenieros.

De manera que la "economía del conocimiento" es algo más que un simple eslogan y la preocupación acerca de cómo obtienen los conocimientos los profesionales merece plena atención. Ya Schön al escribir su libro en 1983 planteaba que las universidades en general, no se dedican a la producción y distribución del conocimiento fundamental, sino que son instituciones comprometidas con una epistemología *particular,* una perspectiva del conocimiento que favorece una desatención selectiva respecto a la competencia práctica y la maestría profesional.

Seguía diciendo que aunque fue en las primeras décadas del siglo XX cuando se profesionalizaron las ocupaciones, y las escuelas profesionales buscaron su lugar en las universidades, fue la segunda guerra mundial la que proporcionó mayor impulso tanto al "programa tecnológico" como a la "epistemología positivista de la práctica".

Desde la perspectiva de la "racionalidad técnica" la práctica profesional es un proceso de *resolución* de un problema. Los problemas de elección o decisión son resueltos a través de la selección entre los medios disponibles, del más adecuado para los fines establecidos. Pero con este énfasis en la resolución de problemas, se corre el riesgo de ignorar el encuadre del problema, es decir el proceso mediante el cual se define la decisión que se ha de adoptar, los fines a lograr y los medios que se pueden elegir. En la práctica del mundo real, los problemas no se presentan como dados para el profesional.

Schön en su libro cita a John Dewey que dijo que las situaciones de la práctica constituyen situaciones problemáticas caracterizadas por la incertidumbre, el desorden y la indeterminación, y a Russell Ackoff, que relata que los directivos no se enfrentan a problemas independientes unos de otros, sino a situaciones dinámicas que consisten en sistemas complejos cambiantes que interactúan entre sí, situaciones a las que llama "revoltijos" (mess). Los problemas son abstracciones extraídas de los revoltijos mediante el análisis. Los directivos en realidad no resuelven problemas: controlan revoltijos. Esto es importante porque pone énfasis en la capacidad de abstracción, que nuestro sistema educativo no se esfuerza en desarrollar.

Hay tres componentes del conocimiento profesional: una disciplina subyacente o ciencia básica, componente sobre la cual descansa la práctica, o a partir de la cual se desarrolla, una ciencia aplicada, o componente de ingeniería, de la cual se derivan muchos

de los procedimientos de diagnóstico cotidianos y las soluciones a los problemas a través de su diseño, un componente de habilidad y actitud que concierne a la real ejecución de los servicios al cliente.

En este "modelo jerárquico" del conocimiento profesional, la investigación está institucionalmente separada de la práctica y conectada a ella por relaciones de intercambio definidas. El papel del investigador es distinto al del profesional, y normalmente es considerado superior a este último. En la evolución de cada profesión surge el investigador-teórico cuyo papel es el de la investigación científica y la sistematización teórica. Por esta razón. En las profesiones tecnológicas se desarrolla una división del trabajo entre la persona orientada a la teoría y la orientada a la práctica.

¿Cómo se llega a que, en la segunda mitad del siglo XX, la visión dominante sea la del conocimiento profesional como la aplicación de la teoría y de la técnica científica a los problemas instrumentales de la práctica?

La respuesta sería que la racionalidad técnica es la herencia del positivismo, doctrina que arraiga en el siglo XIX del surgimiento de la ciencia y la tecnología y como movimiento social que aspiraba a la aplicación de los logros de la ciencia y la tecnología para el bienestar de lo sociedad. La racionalidad técnica es la epistemología positivista de la práctica.

Los ingenieros, estrechamente ligados al desarrollo de la tecnología industrial se habían convertido en el modelo de la práctica tecnológica para las demás profesiones. La medicina, una profesión aprendida con origen en las universidades medievales se reconvirtió en la nueva imagen de una técnica basada en las ciencias, para la conservación de la salud. A finales del XIX y principios del XX, las profesiones de ingeniería y medicina lograron éxitos espectaculares ajustando en forma fiable los medios y los fines, y se convirtieron en modelos de la práctica instrumental.

Schön nos señala que en EE.UU., más que en las otras naciones, con la excepción de Alemania, el alma misma de la universidad estaba entregada a la empresa científica, a la actitud vital del programa tecnológico y al positivismo.

La universidad como una institución de investigación multitudinaria echó sus raíces en la universidad Johns Hopkins y a partir de ellas las demás siguen el ideal alemán. Edward Shils **[44]** escribe al respecto: "… un movimiento de opinión (hacia)… el aprecio del conocimiento, particularmente del conocimiento de carácter científico.

Había un acuerdo general de que el conocimiento podía ser aceptado como tal sólo si se basaba en la experiencia empírica, rigurosamente criticado y analizado racionalmente…." Ese tipo de conocimiento ofrecía la perspectiva de una transformación de la vida mediante la mejora del control humano sobre los recursos de la naturaleza y sobre los poderes que la habían debilitado en su conjunto; ofrecía el panorama de una mejor comprensión de la sociedad que se pensaba podría conducir hacia una mejora de la misma.

Algunos estudiosos de las profesiones han tratado de considerar las limitaciones de la pericia técnica y han propuesto nuevas aproximaciones a las situaciones del conocimiento profesional, e identifican un vacio entre el conocimiento profesional y las demandas de la práctica en el mundo real.

Herbert Simon, autor del libro "The Sciences of the Artificial" **[45]**, vincula las situaciones que enfrenta el conocimiento profesional a los orígenes históricos de la epistemología positivista de la práctica. Simon cree que toda práctica profesional está centralmente interesada en lo que llama "proyecto", esto es, el proceso de "cambio de las situaciones existentes en otras que se prefieren".

Pero el proyecto, en este sentido, es lo que las escuelas profesionales no enseñan. Tienen una concepción del proyecto según la cual el proyecto es algo "intelectualmente blando, intuitivo, informal y cómo un recetario de cocina", y las escuelas absorbidas por las

universidades más modernas se han convertido en escuelas de ciencia natural. Estas escuelas han "casi abdicado de su responsabilidad de formación en la habilidad profesional central", en parte porque tal formación tendría que basarse en la "ciencia del proyecto", que no existe.

Simon propone construirla mediante la emulación y la extensión de los métodos de optimización que han sido desarrollados en la teoría de la decisión estadística y en la ciencia empresarial; porque un problema de optimización es algo bien establecido. En él los fines se han transformado en "restricciones", los medios en "variables dominantes", y las leyes en "parámetros ambientales". Una vez que los problemas están bien establecidos de esta manera, pueden ser resueltos mediante un cálculo de decisión. No obstante, como se ha visto, los problemas instrumentales bien establecidos no están dados, sino que deben ser construidos a partir de situaciones problemáticas confusas.

A pesar del tiempo transcurrido, lo planteado por Simon, al menos en parte sigue aún presente. Diseño y proyecto son dos actividades fundamentales a explorar en el ejercicio profesional y en la producción del conocimiento de la ingeniería.

Horacio Reggini, un ingeniero ocupado y preocupado por el tema de la formación de ingenieros, particularmente en la Argentina, en un artículo publicado en el diario "La Nación" de Buenos Aires **[46]**, puntualiza que el atributo que distingue al ingeniero es el uso del "ingenio" como capacidad mental de innovación (podríamos agregar, de diseño), y para ello debe combinar sabiduría (lo que hasta aquí hemos definido como conocimiento organizado) e inspiración (que hasta aquí hemos identificado como pragmatismo o abducción) para modelar y construir sistemas en la práctica. En particular, subraya que el empleo de la ciencia moderna por parte de los ingenieros requiere de una educación amplia que abarque tanto a la técnica como a la historia. En este último aspecto, su argumentación se basa en que el conocimiento histórico sobre los protagonistas, ingenieros proyectistas y empresas, inspira siempre las acciones del futuro. Su visión, es que es menester poner a la ingeniería en un contexto de ciencia, técnica y arte, una frase que resume de manera muy elocuente lo que este trabajo, a través del análisis de las posiciones de distintos pensadores, procura transmitir.

En línea con este pensamiento, Reggini en su libro "La enseñanza de la ingeniería en el siglo XXI" **[47]**, reseña entre otras la figura de R. Buckminster Fuller, teórico de los sistemas, arquitecto, ingeniero e inventor. Fuller publicó más de 30 libros, popularizando términos tales como "La Nave Espacial Tierra". Fue autor de varios inventos, principalmente diseños arquitectónicos, sin duda el más conocido de los cuales es el *domo geodésico*. Las estructuras de moléculas de carbono conocidas hoy como "fullerenos" fueron nombradas en su honor por su parecido al domo geodésico. Sin duda, Fuller constituye un arquetipo del profesional que combina conocimiento científico, conocimiento tecnológico y capacidad de diseño a través del empleo de conocimiento y pragmatismo.

6. Conclusiones

Surge de las consideraciones anteriores que es necesario prestarle atención y transmitir en la enseñanza de la ingeniería, las formas de producción del conocimiento, desde la de los conocimientos científicos básicos hasta los conocimientos especializados, destacando la importancia de los tres modos de inferencia que hasta ahora no han sido en general tomados muy en cuenta, es decir: deducción, inducción y abducción.

Esta señalización es importante por el valor que aquellos modos de inferencia tienen, sea en la producción del conocimiento científico, como en particular el rol de la abducción en el ejercicio profesional de la ingeniería, en la elaboración de sus diagnósticos y en las ideas disparadoras para el diseño.

Diseño cuya metodología tampoco ha merecido la atención necesaria, quizá porque hasta hoy no se ha reconocido una "metodología de la tecnología" ni menos de la ingeniería, en el mismo modo como se encuentra reconocida una metodología de la ciencia.

Metodología de la tecnología para la cual el diseño sería una parte fundamental dado que todas las soluciones se "diseñan", sean las de los nuevos productos, procesos y facilidades productivas, así como también las que hacen a la eficiencia y calidad durante la producción.

También es importante poner énfasis en la enseñanza sobre generación y apropiación de "conocimientos organizacionales" en la propia empresa y sobre las modernas técnicas que comienzan a difundirse respecto de la gestión del conocimiento. Esto es particularmente importante no sólo por su actualidad, sino también porque una vez más pone en discusión la diferencia entre información y conocimiento (conocer o saber), discusión ya hemos visto se remonta a los griegos contemporáneos de Aristóteles y Platón y que sigue hasta nuestros días.

El KM o gestión del conocimiento unifica el saber y el conocer en el DIKW (Data-Information-Knowledge-Wisdom), pero lo hace contextualizando donde esto sucede, que es el ámbito de la gestión empresarial o institucional, donde la importancia que cobra tiene que ver con que la información, o mejor aún con el conocimiento, que es el que provee las mejores herramientas para la "toma de decisión" que es la actividad más relevante de las personas y de las organizaciones.

Al estar el conocimiento organizacional en este contexto, y no en el del conocimiento científico, hace que aparezcan otros mecanismos impulsores de la generación de nuevos conocimientos, diferentes al de la investigación científica, que es el mecanismo por excelencia de la ciencia. Adicionalmente, aparece sobre el tema otra vertiente, la de la teoría informática, donde la pirámide se traduce en Data- Information- Knowledge-Technology, que podría ser más apropiada para contextualizar los conocimientos en uso en el mundo de la ingeniería.

Respecto del "conocimiento organizacional", quizá el que más desarrollo ha experimentado últimamente, se lo vincula estrechamente con la ingeniería, particularmente la industrial, en virtud del componente de innovación que implica con la incorporación de novedades en la gestión de organizaciones. Estas organizaciones, bien gestionadas, son las que en última instancia se ocupan de satisfacer los problemas sociales articulando en su seno y aplicando en sus operaciones productivas los conocimientos diversos que componen las tecnologías que operan.

Puede a este conocimiento organizacional considerárselo también "tecnología" en los términos amplios de Sabato, donde en su concepto del paquete tecnológico pueden reconocerse tres componentes:

- la tecnología de producto,
- la tecnología de procesos (procesos de transformación física, química, biológica, cuyos conocimientos están vinculados a las ciencias "duras"), y
- las tecnologías organizacionales, puestas de moda desde el toyotismo, el "just in time", los sistemas de gestión de la calidad, etc.

Sin embargo a estas últimas, a las tecnologías organizacionales, al categorizar las innovaciones el manual de OSLO **[48]** las da como diferentes a las innovaciones tecnológicas (y a sus conocimientos asociados) lo que podría de todos modos considerarse poco significativo dado que ese manual, como toda herramienta normativa, se renueva periódicamente por lo que probablemente las innovaciones organizacionales sean finalmente incorporadas como tecnologías, como ya lo fueron otras.

Lo anterior daría pie para pensar qué si los que se dedican a la gestión han logrado contextualizar a la información y el conocimiento para establecer las diferencias de las características distintivas entre ambos, tanto en lo que hace a su realidad como productos en sí como en lo que hace a los mecanismos propios de su producción, por qué no pensar que

sería posible también afianzar una epistemología propia de la ingeniería, diferenciada de la de la ciencia, desafío que sigue pendiente y al que invitamos a abordar.

Referencias bibliográficas

[1] C. Mitcham *"Philosophizing about technology: Why should we bother?"* Ethix: Business, technology, ethics, Seattle Pacific University, 2001.
[2] M. Sobrevila, Utec Noticias, N° 8, Agosto 2001. UTN Facultad Regional Bahía Blanca.
[3] Ortega y Gasset *"Meditación sobre la técnica"* francesclorens.filesworpress.com.
[4] *"Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016"*, Coordinador: Ing. Daniel Morano. http://portales.educacion.gov.ar/spu/calidad-universitaria/plan-estrategico-de-formacion-de-ingenieros-2012-2016.
[5] A. Comte *"Primeros Ensayos"* Fondo de Cultura Económica, Bs.As., 2002.
[6] L. Mumford *"Técnica y Civilización"* Alianza, Madrid, 1997.
[7] L. Mumford, H.Jane *"El mito de la máquina: técnica y evolución humana"* Ed. Pepitas de Calabaza, Logroño, 2012.
[8] R. Gómez, *"Notas del Curso de Filosofía de la Tecnología"*. Centro de Estudios Avanzados de la UBA, Buenos Aires, Agosto 1995.
[9] W.F. Hood, *"The Aristotelian Versus the Hideggerian Approach to the Problem of Technology"* Philosophy and Technology Readings in the Philosophical Problems of Technology, C. Mitcham & R. Mackey Eds., The Free Press, New York-London, 1983.
[10] J. Gimpel *"La revolución Industrial en la Edad Media"*. Ediciones Taurus, Madrid, 1981.
[11] T. Kuhn, *"Comments on the Principle of Acceleration"* Comparative Studies in History and Society, 11, 4 (1969).
[12] C.W. Sherwin; R.S. Isenson *"Project Hindsight"* Science 156, 3782, June 1967, pp.1571-1577.
[13] J.E.S. Parker *"The Economics of Innovation: The National and Multinational Enterprise of Technological Change"*, 2a. Ed., Longman, London, 1978.
[14] J.M. Utterback *"Innovation in Industry and the Diffusion of Technology"* Science, 183, 4125, Febrero 1974, p.622.
[15] M. Bunge *"Impacto Social de la Innovación Técnica"*. Sistemas Sociales y Filosofía, Editorial Sudamericana, Buenos Aires, 1995.
[16] M. Bunge, *"Toward a Philosophy of Technology"* Philosophy and Technology Readings in the Philosophical Problems of Technology, C. Mitcham & R. Mackey Eds., The Free Press, New York-London, 1983.
[17] D. Broek *"The Practical Use of Fracture Mechanics"*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1989.
[18] A. Gay *"La ciencia, la técnica y la tecnología"*. TecnoRed educativa. //www.frrg.utn.edu.ar/frrg/apuntes/cmasala/cienciatecnicatecnologia%20gay.pdf
[19] M. Bunge ¿Qué Significa *"Ley Científica"*?. La Ciencia, Su Método y Su Filosofía, Siglo Veinte, Buenos Aires, 1971.
[20] H. Reichenbach *"Experience and Prediction"*. University Press, Chicago, 1938.
[21] M. Comesaña *"Razón, Verdad y Experiencia: Un Análisis de sus Vínculos en la Epistemología Contemporánea con Especial Referencia a Popper"*. Universidad Nacional de Mar del Plata, 1996.
[22] M. Bunge *"Ciencia Básica, Ciencia Aplicada y Técnica"* Ciencia y Desarrollo. Siglo Veinte, Buenos Aires, 1982.
[23] *Diccionario Enciclopédico Abreviado*, 2a. Ed.. Espasa-Calpe, Madrid, 1933.
[24] H.L.Dreyfus, *"Heidegger on Gaining a Free Relation to Technology"* A.Feenberg & A.Hannay Eds. The Politics of Knowledge, Indiana Univ.Press, Indianapolis, 1995.
[25] J. Sábato, Charlas Informales en el Dpto. de Metalurgia de la CNEA en la década del '60.
[26] D. Schön, *"El profesional reflexivo"* Paidós Ediciones, Bs.As., 1998.
[27] H. Sciapuscio, *"El conocimiento tecnológico"*, Redes, v.3, Nº 6pp. 177-194, Universidad Nacional de Quilmes, Mayo 1996.
[28] B. Gille, *"Histoire des Techniques"*, Enciclopedia de la Pléiade, París, Seuil, 1978.
[29] E. Layton, *"American Ideologies of Science and Engineering"*, Technology and Culture, 7,4, Noviembre, 1976.

[30] Curso *"Metodología de la Investigación en Ingeniería"*, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, 2003.
[31] A.D. de Figueiredo *"Toward an epistemology of engineering"*, 2008 Workshop on Philosophy and Engineering , The Royal Academy of Engineering, London, November, 2008, pp. 94-95.
[32] M. Gibbons, C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzman, P. Scott, M. Trow *"The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies"*. Sage Publications, 1994.
[33] H. Mintzberg *"Crafting Strategy"* Harvard Business Review, 1987, pp.66-75.
[34] A.D. Figueiredo, P.R .Cunha *"Action research and design in information systems: Two faces of a single coin"* N.Kock Eds., Information Systems Action Research: An applied view of emerging concepts and methods. Springer, 2006.
[35] H.A. Simon "The structure of ill-structured problems" Artificial Intelligence, 4, 1973, pp.181-201.
[36] Gruber, T. (1995). *"Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing"*. *International Journal of Human-Computer Studies* 43 (5-6): 907-928.
[37] J. Fontrodona Felip "Ser de verdad pragmáticos: La dirección de empresas desde los orígenes del pragmatismo" IESE – Universidad de Navarra, 2002.
[38] B.S. Sridhara *"Teaching engineering fundamentals with a project-based learning approach"* Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition, 2005.
[39] A.R. Eide, R.D.Johnson, L.H.Mashaw, L.L.Northup *"Engineering fundamentals and problema solving"* 4th. Edition, McGraw-Hill, 2002.
[40] A.J. Dutson, R.H.Todd, S.P.Magleby,C.D.Sorensen *"A review of literature on teaching engineering design through project-oriented capstone courses"* Journal of Engineering Education, January 1997.
[41] J. Aracil *"¿Es menester que los ingenieros filosofen?"* Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla, Argumentos de Razón Técnica: Revista Española de Ciencia, Tecnología y Sociedad y Filosofía de la Tecnología, N° 2, 1999.
[42] I. Nonaka, H.Takeuchi, *"The Knowledge-Creating Company"* University Press, 1995.
[43] R. L. Ackoff, "From Data to Wisdom", Journal of Applied Systems Analysis, Vol. 16, 1989, pp. 3-9.
[44] E. Shils, P.G. Altbach *"The order of learning: Essays con teh contemporary university"* Transaction Publishers, USA, 2013.
[45] H.A. Simon *"The science of the artificial"* 3d. Edition, The MIT Press, Cambridge, Mass., 1999.
[46] H.C. Reggini *"El ingenio en la ingeniería argentina"* La Nación, 25 de Agosto, 2009, Bs.As.
[47] H.C. Reggini *"La enseñanza de la ingeniería en el siglo XXI"* Ediciones Galápagos, Bs.As., 2013.
[48] OSLO Manual *"The measurement of scientific and technological activities"*, Organization for Economic Co-operation and Development, 1995.

La educación del Ingeniero para un mundo cambiante

ISBN 978-987-46104-6-1

ANCEFN
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales