

**PREMIO “INGENIERO PEDRO VICIEN”
DE LA ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS
DE BUENOS AIRES
CORRESPONDIENTE AL AÑO 2010**

*Entrega del premio “Ingeniero Pedro Vicien 2010”
a la trayectoria del Dr. Ingeniero José Converti en el tema
“Perspectiva de la Ingeniería Mecánica y su enseñanza en Argentina”,
sesión pública de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires,
el 24 de agosto de 2011*

Presentación

por el Académico Titular Ing. Juan Carlos Ferreri

La Sesión Pública de hoy tiene como motivo hacer entrega del “*Premio Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, Medalla Ing. Pedro Vicien*” correspondiente al año 2010 al Dr. José Converti. El mismo, de acuerdo a la convocatoria realizada, sería asignado a “*un profesional que se haya destacado en el campo de la Ingeniería Mecánica*”. El Plenario de la Academia convalidó el dictamen producido por la Sección Ingeniería, Arquitectura y Artes de esta Academia en su Segunda Sesión privada ordinaria del 25 de abril de 2011.

Es importante, antes de pasar a los fundamentos de esta decisión de la Academia, considerar los antecedentes del premio y hacer un brevísimo comentario sobre la personalidad de quien da nombre al mismo.

El premio que nos ocupa fue instituido el 26 de mayo de 2008, tiene carácter bienal y es otorgable a una personalidad que se haya distinguido por su labor en el campo de Ingeniería Mecánica y que tenga una trayectoria ética y civil intachable. Alternativamente puede otorgarse a jóvenes profesionales de la misma especialidad, que hayan realizado estudios de alto valor científico o tecnológico consolidado en tesis de maestría o doctorado.

El Dr. Pedro Vicien nació en 1917 y falleció en septiembre de 2009. Fue un distinguido profesional de la Ingeniería Mecánica y se incorporó a esta Academia como Titular en 1985 y colaboró activamente en la gestión de su actividad a través de la Mesa Directiva desde 1989 hasta 2007. En su actividad, especializado en temas afines a la energía y su uso racional, realizó estudios en el Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) de los EE.UU. y fue Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Buenos Aires. El Ing. Vicien fue una persona de intransigente seriedad profesional y profunda honestidad intelectual, al par que un hombre generoso. Estableció de su peculio un fondo para dotar a este premio también de una asignación económica (que las circunstancias económicas de

nuestro país llevaron a que se perdiese) y no vaciló en hacer recomendaciones personales, ante el M.I.T. ya citado y en instituciones locales, de personas de valía profesional y personal. El Dr. Converti es un ejemplo de estas últimas, como veremos más adelante.

Veamos ahora los fundamentos de la decisión de la Academia para distinguir al Dr. José Converti:

El Dr. Ing. José Converti nació en 1950 y se graduó como Ing. Mecánico en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Buenos Aires en 1974, año en que comenzó su actividad profesional y al par que la de Docente Auxiliar en la citada Facultad. En 1975, motivado por el Ing. Vicien, quien fuera su Profesor de Máquinas Térmicas, obtuvo una beca del Servicio Naval de Investigación y Desarrollo y la admisión como estudiante graduado en el M.I.T., donde comenzó sus tareas de investigación en 1976. En el período 1977/78 fue “*Research Assistant*” en el Departamento de Ingeniería Mecánica y obtuvo su título de PhD en julio de 1981.

En ese año retornó a la Argentina, como miembro de la Comisión Nacional de Energía Atómica, con la misión de instalar un laboratorio de Termohidráulica e iniciar la actividad de investigación y desarrollo en esa área en el Centro Atómico Bariloche. Desde ese año ha desarrollado sus tareas en dicho centro, donde fue promovido a Profesor Titular en el año 1992. Ha dirigido siete tesis doctorales y veinte trabajos especiales de graduación de Ingenieros Nucleares. Fue Jefe del Departamento de Ingeniería Nuclear en el período 1984-86 y Director del Instituto Balseiro en el período 1999-2000. Ha desarrollado además otras funciones de relevancia. En 1994 obtuvo el Premio “Ernesto E. Galloni” en Ingeniería Nuclear de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

A posteriori de las actividades mencionadas, dedicó su actividad académica a organizar la Carrera Ingeniería Mecánica del Instituto Balseiro, según la modalidad imperante para la Carrera de Ingeniería Nuclear. Los primeros alumnos ingresaron al tercer año en 2002. A la fecha han egresado seis promociones de Ingenieros Mecánicos y uno ha obtenido su doctorado. Así, el Dr. Converti fue un promotor clave de la formación de dicha carrera. En la misma el Dr. Converti se desempeña actualmente como docente titular en dos materias clave (Mecánica del Sólido y Máquinas Térmicas e Hidráulica) y cabe dejar constancia que, a pesar de estar recientemente constituida, la carrera obtuvo su acreditación CONEAU con el grado A en 2006. Actualmente, el Dr. Converti dedica su accionar académico a la consolidación de la carrera. Por otra parte, la calificación como docente

de parte de los alumnos de la carrera (hecho considerado esencial en el Instituto Balseiro) es excelente

Su producción académica es también de relevancia técnica y científica. Ha sido, además, director de becarios y miembro de comisiones asesoras del CONICET.

El Dr. José Converti es unánimemente reconocido entre sus pares como un profesional de referencia por sus capacidades y por ser capaz de guiar a los más jóvenes sin coartar su libertad creadora.

Conozco al Dr. Converti desde hace casi tres décadas. He participado con él en numerosas ocasiones en la tarea de evaluación del Claustro Docente del Instituto Balseiro y de tesis doctorales y me consta su ecuanimidad. He podido discutir con él temas de la Mecánica de los Fluidos en casos en que me resultaba difícil discernir la causalidad, lo que me hizo patentes sus profundos conocimientos. Deseo, para terminar, utilizar textualmente un generoso comentario del Ing. Pedro Vicien, que aplica cabalmente al Dr. Converti y que por ello hago mío: “No quiero terminar sin manifestar mi personal complacencia por tener entre nosotros, en esta tribuna, a un ingeniero que tiene una fuerte capacidad científica que se ha desarrollado en nuestro medio y que es un ejemplo de lo que debe ser la formación de los ingenieros argentinos para afrontar los desafíos del futuro”.

A continuación el Dr. Converti pronunciará una conferencia sobre su visión de la enseñanza de la Ingeniería Mecánica en la Argentina. Gracias por vuestra atención.

PERSPECTIVA DE LA INGENIERÍA MECÁNICA Y SU ENSEÑANZA EN ARGENTINA

Dr. Ing. JOSÉ CONVERTI

Mi intención en este breve texto es presentar una perspectiva de la Ingeniería Mecánica, especialmente en nuestro país, en el lapso de las pasadas cuatro décadas, siempre desde la óptica de mi vivencia personal.

Para comenzar quiero destacar que existe un gran desconocimiento sobre lo que trata la Ingeniería Mecánica. El común de la gente asocia la Ingeniería Mecánica con la mecánica automotriz.

La especialidad de Mecánica no ha gozado de gran prestigio dentro de la FIUBA frente a las otras carreras más tradicionales, tales como la Ingeniería Civil, la Ingeniería Química o la Ingeniería Electrónica. Esta última era símbolo de la modernidad y presagiaba un futuro de esplendor. Hasta en la ubicación física, el Departamento de Mecánica Aplicada había sido relegado a oscuros y recónditos espacios en el subsuelo. Tampoco gozaba de muchos aspirantes que en general eran triplicados en número por la muy respetable y augusta Ingeniería Civil

Es conveniente tratar de definir los alcances de esta especialidad, dada la confusión existente. Para ello voy a desarrollar una breve perspectiva histórica sobre las Ingenierías, en general.

El término “*ingeniería*” deriva de “*ingeniero*” que se origina en el vocablo inglés “*engineer*”. Éste hace referencia al operador y constructor de un “*engine*” o máquina. Se refería originalmente a las máquinas militares, es decir a dispositivos mecánicos utilizados en las lides militares. A su vez el término “*engine*”, más antiguo, deriva del latín “*ingenium*” que significa ingenio.

Como surge del análisis etimológico, se podría decir que la primera ingeniería fue la Ingeniería Militar. A partir de ésta surge la Ingeniería Civil que toma su denominación para diferenciarse, en sus objetivos, de la Ingeniería Militar.

La Ingeniería Mecánica surge posteriormente como un nuevo campo de aplicaciones de la ingeniería, durante la revolución industrial, en la Europa del siglo XVIII. La invención y perfeccionamiento de la máquina de vapor y las máquinas herramientas dieron impulso a la nueva actividad industrial y requirieron de Ingenieros Mecánicos.

En el siglo XIX se establecieron y consolidaron los principios físicos que dan sustento a dicha disciplina. Entre éstos se destaca la Termodinámica cuyos principios se formulan con mucha posterioridad a la invención de la máquina de vapor.

Surge mucho después la Ingeniería Nuclear, a mediados del siglo XX, con el desarrollo de los reactores de propulsión naval y seguidamente los reactores nucleares estacionarios para la generación de energía eléctrica.

Las distintas ingenierías se han establecido a partir de un desarrollo histórico y siguiendo necesidades específicas ligadas a las actividades económicas y sociales. Paralelamente al desarrollo de las mismas surgieron las asociaciones profesionales vinculadas a la normativa de dichas disciplinas y las instituciones educativas que jugaron y juegan un papel fundamental en el sostenimiento y la calidad de las mismas.

La Ingeniería Mecánica, con su origen en la actividad industrial del siglo XVIII, ha evolucionado hasta convertirse en una ingeniería con un amplio espectro de aplicaciones, que tiene inserción en casi toda la actividad industrial moderna. Tiene como núcleo temático las siguientes disciplinas de las ciencias exactas: la termodinámica, la dinámica, la mecánica de los fluidos, la ciencia de los materiales y el análisis estructural.

No ha alcanzado en Argentina, todavía, el prestigio e interés del que goza en otros países. En USA el número de inscriptos en las carreras de Ingeniería Mecánica triplica al de los aspirantes a Ingenieros Civiles. Aún en países vecinos, como Chile se verifica esta relación de tres a uno.

Un segundo tema que quiero abordar en esta disertación es la relación entre ciencia e ingeniería, que no es lo mismo que la relación entre científicos e ingenieros. Esta última es muy difícil principalmente por razones de índole egoica. Los físicos, en general, consideran a la Ingeniería como un subproducto de la física ubicado aún un escalón por debajo de la física aplicada, actividad también subestimada por los que se dedican a la física básica.

Cuando ambas actividades se desarrollan dentro de sus ámbitos específicos han mostrado beneficiarse mutuamente en una simbiosis

muy positiva. Abundan los ejemplos en la historia de estos últimos siglos.

Hoy día, muy pocos negarían la importancia de la ciencia, pero también muy pocos estarían en condiciones de explicar qué es la ciencia. La gran mayoría de las personas, en realidad no piensa en la ciencia en sí misma sino en los frutos de la ciencia que se dan en los complejos y variados productos tecnológicos que han transformado nuestras vidas.

Ha surgido toda una rama de la filosofía que pretende fundamentar y explicar el conocimiento científico. Francis Bacon es considerado el pionero en intentar definir el conocimiento científico. Más tarde Karl Popper contribuyó con su teoría de la falsificación. Popper afirmaba que una hipótesis científica puede ser refutada por un solo experimento, pero muchos experimentos que la confirmen no pueden asegurar su validez absoluta. Luego en el siglo XX surgió Thomas Kuhn con la teoría de los cambios de paradigma. Otros pensadores de este siglo también contribuyeron en esta elaboración de una filosofía de la ciencia conocida como epistemología (Feyerabend, Lakatos y otros).

No ha habido un interés semejante en fundamentar o desarrollar una filosofía de la Ingeniería. Sin embargo es improbable que una persona pueda pasar un solo día de su vida sin depender de algún tipo de ingeniería para sus necesidades básicas, incluyendo salud, comida y abrigo.

Las conveniencias de que gozamos para nuestra vida material en estos últimos cien años, son producto de la ingeniería y requieren del monitoreo y mantenimiento constante de los ingenieros, para asegurar su continuidad de funcionamiento. Tal es el caso de la provisión de agua potable, electricidad, comunicaciones, transporte, etc. Sólo cuando falla alguno de estos servicios, tomamos conciencia de cuan dependiente somos de los mismos.

La distinción entre ciencia e ingeniería suele enunciarse como: “la ciencia en su forma más pura estudia la naturaleza tal como se encuentra mientras que la ingeniería modifica los recursos que provee la naturaleza para obtener productos que sean de utilidad a la sociedad”. Esta definición parece incompleta y no distingue entre ingeniería y ciencia aplicada.

Generalmente se entiende por ciencia a la aplicación del llamado “método científico”. Por método científico se acepta que el investigador u observador es externo al objeto de estudio y que el resultado de la experiencia no depende del observador. También se pretende

que observadores independientes observarán el mismo resultado si realizan el mismo experimento.

El método científico no ha probado ser tan exitoso en las llamadas ciencias blandas. Cuando la psiquis humana aparece involucrada en los fenómenos estudiados, es imposible separar al observador del objeto de estudio.

Intentaré en estas reflexiones esbozar ideas que puedan formar parte de un “método ingenieril”.

Muchas veces la ingeniería ha precedido a la ciencia con invenciones prácticas basadas en criterios empíricos o intuitivos. Tal ha sido el caso de la máquina de vapor en el siglo XVIII. Le llevó a la ciencia todo un siglo para sentar las bases teóricas de las máquinas térmicas. La termodinámica surge así como una “ciencia de la ingeniería” ya que no estudia la naturaleza tal como la encuentra sino que analiza las creaciones de los ingenieros. También la ciencia de las construcciones ha consolidado sus bases teóricas en los últimos dos siglos. Sin embargo se realizan construcciones, algunas de notable magnitud y belleza, desde hace milenios. La ciencia de los fluidos fue precedida por aplicaciones prácticas en canales y acueductos antes de contar con una base científica bien establecida.

Otras veces la ciencia ha precedido a la ingeniería. Tal ha sido el caso de las aplicaciones de la Ingeniería Nuclear. El principio de la fisión nuclear y la posibilidad de una reacción en cadena autosostenida, se establecieron en el laboratorio y a partir del conocimiento generado por la ciencia se diseñó el primer reactor nuclear conocido como “la pila de Fermi”. El desarrollo de los dispositivos electrónicos de estado sólido también surgió a posteriori de la investigación de laboratorio.

Los instrumentos y tecnologías desarrolladas por los ingenieros como contraprestación, han contribuido enormemente a las investigaciones científicas. Tal es el caso del acelerador de partículas del CERN, que constituye una obra monumental de ingeniería. Esta mutua interacción ha probado ser enormemente beneficiosa para ambas disciplinas y ha permitido generar la sofisticada infraestructura tecnológica de que hoy gozamos.

La ingeniería tiene mucho en común con la ciencia. En su formación académica, los estudiantes de ingeniería estudian matemáticas, física y otras disciplinas que lo acercan mucho a la formación de un científico. También la metodología de trabajo es rigurosa y metódica.

Pero la ingeniería no es simplemente ciencia aplicada, como suelen caracterizarla en forma peyorativa muchos científicos, que la

consideran como una disciplina inferior a la ciencia pura. La ingeniería tiene una faceta propia que se expresa en el “diseño”. Éste requiere de un impulso creativo semejante al que conduce al científico a formular una nueva teoría o al artista a concebir una escultura.

Un diseño, en ingeniería, a modo de hipótesis, genera la base para el análisis posterior. En forma análoga, en la ciencia una nueva teoría sirve de base para su posterior verificación. El diseño constituye la faceta artística de la ingeniería.

El método de la ingeniería es afín al método científico al constituir una aproximación racional a la resolución de problemas. Mientras que el método científico se ocupa de la verificación de una teoría, el método ingenieril se ocupa de analizar un diseño conceptual propuesto a modo de hipótesis. Luego se va avanzando en los detalles.

Pero el objetivo no es sólo lograr un diseño final, sino que debe hacerse siguiendo una lógica que pueda ser comprendida por otros ingenieros. Éstos pueden ser convocados para verificar el diseño con la intención de detectar errores por comisión u omisión en las suposiciones efectuadas, los cálculos y la lógica empleada. En forma análoga, el científico somete el resultado de su investigación al juicio de sus pares y los presenta de manera que puedan ser verificados en forma independiente.

El punto de partida de gran parte de la tarea de los ingenieros, suele ser el trabajo hecho en el pasado para abordar problemas similares. Esto no quiere decir que la tarea se reduzca a usar manuales y recetas preestablecidas. Los ingenieros típicamente enfrentan problemas en escalas, configuraciones y contextos diferentes.

En la fase más creativa de la ingeniería, que es el diseño conceptual, los ingenieros típicamente se basan en su conocimiento de lo que ha funcionado o no ha funcionado en el pasado, como punto de partida para los nuevos diseños. Muchos nuevos diseños comienzan a partir de las limitaciones o fracasos de la tecnología existente.

Existe un término que aparece frecuentemente en la literatura y que vale la pena analizar, me refiero al “estado del arte”. El estado del arte se define para un tiempo dado y se refiere a las prácticas de ingeniería normalmente aceptadas por la mayoría de los ingenieros, ya se trate del diseño de un puente, de un automóvil o de un reactor nuclear.

El estado del arte se va modificando en el tiempo a medida que ideas innovadoras en el diseño o nuevos inventos introducen cambios en la práctica profesional.

Las tecnologías suelen evolucionar en forma progresiva o pueden cambiar radicalmente. En el primer caso se procede, con pequeñas modificaciones, a mejorar las falencias o limitaciones de los diseños anteriores, sin cambiar la esencia conceptual del diseño. En el segundo caso se cambia la base conceptual por otra alternativa. Esta última modalidad presenta mayores riesgos pero también tiene la posibilidad de mayores éxitos y beneficios.

En general, el que un ingeniero ejerza su profesión dentro del estado del arte no es una caracterización peyorativa sino más bien indica que se encuentra actualizado en su profesión.

El estado del arte avanza, tanto en ingeniería como en otras profesiones, debido a los pioneros e inventores que saben ver las limitaciones y falencias en el estado del arte actual, y que no son evidentes a todos los que están inmersos en dicho paradigma.

El tránsito entre el diseño conceptual y su cristalización en un producto en funcionamiento, generalmente requiere del mayor esfuerzo en trabajo y tiempo por parte de los ingenieros. Es en esta etapa donde el método ingenieril se manifiesta explícitamente. Este esfuerzo se suele cuantificar como “horas-hombre de ingeniería”.

La práctica de la ingeniería se ha separado tradicionalmente en tres fases: diseño, análisis y fabricación. Estos aspectos, tradicionalmente, eran encarados por diferentes equipos humanos. Con el advenimiento del diseño y fabricación asistidos por computadora estas tres fases se han podido efectuar en forma integrada.

La fase del diseño está dominada por el elemento artístico de la ingeniería. Requiere de la mayor dosis de creatividad y es difícil de codificar. Suele ser más fácilmente explicada con esquemas y figuras que articulada en palabras.

En contraposición con un diseño artístico que es juzgado por su estética y gusto, un diseño ingenieril es juzgado principalmente por su funcionalidad.

El diseño se genera en niveles descendentes. Se parte de un diseño conceptual y se procede en forma progresiva hacia los detalles menores que constituyen el diseño de detalle.

La fase del análisis, en contraposición, es altamente codificable y estructurada. Mientras los problemas de diseño raramente presentan una solución única, los problemas de análisis tienen una única solución de relevancia. Una vez postulado un diseño, este puede ser verificado por los analistas utilizando las teorías bien establecidas en las ciencias de la ingeniería tales como la dinámica, resistencia de materiales, elasticidad, termodinámica, mecánica de los fluidos,

transferencia de calor, etc. El proceso de análisis permite obtener tensiones, deflexiones, velocidades, frecuencias naturales, temperaturas, etc. Salvo errores, dichos valores no dependen de quien efectúa los cálculos. Si los valores obtenidos no son aceptables, se deberá modificar el diseño y efectuar una nueva iteración.

Cuando la fase del análisis da resultados satisfactorios se pasa a la fase de fabricación. También en esta etapa pueden surgir inconvenientes que requieran modificar el diseño.

Las consideraciones a tener en cuenta para juzgar un diseño en general no son solamente técnicas. Suelen incluir las relaciones de costo, inversión y beneficio. También se suelen considerar aspectos estéticos, impacto ambiental, aspectos ergonómicos, éticos e impacto social.

Como la fase del análisis produce resultados bien definidos, es el aspecto de la ingeniería que mejor se presta para ser enseñado en una clase e incluido en un programa de estudios. Las escuelas de ingeniería se dedican casi exclusivamente a esta fase del método ingenieril. Esto se da no sólo en Argentina sino en general en todos los países.

Existe una falencia extendida en la enseñanza del diseño. Por su propia naturaleza artística lo hace más difícil de encasillar en los moldes académicos tradicionales.

Algo similar ocurre con la etapa de fabricación. Es común que especialistas con formación de técnicos o a lo sumo con algún estudio terciario asuman estas responsabilidades. Algunas técnicas de fabricación requieren también de habilidades artesanales. También se nota una falencia y subestimación de este aspecto en la enseñanza de la ingeniería.

La fase del diseño en ingeniería, aparece condicionada por restricciones. Estas restricciones constituyen las limitaciones o presupuestos del problema con que debe trabajar el ingeniero. En el diseño de una máquina se pueden especificar restricciones tales como el peso o dimensiones máximas, potencia, velocidad de rotación, costo, etc. Estas restricciones constituyen las condiciones de contorno a que está sometido el diseño en cuestión.

También suele ser necesario efectuar suposiciones sobre efectos que se consideran en el análisis y otros que se desprecian por no considerarse relevantes. Estas suposiciones suelen ser cruciales y pueden conducir a fallas catastróficas. Contamos con excelentes herramientas de análisis pero suele fallar la sapiencia para considerar las suposiciones adecuadas que son relevantes en el diseño y el criterio para desechar aquellas que no lo son.

En 1940 el puente de Takoma en U.S.A. falló en forma catastrófica por el error en las suposiciones de diseño al no considerar cierto tipo de fuerzas aerodinámicas. Los accidentes en las centrales nucleares de Three Mile Island en U.S.A y Fukushima en Japón son ejemplos de suposiciones equivocadas en el diseño de los sistemas de seguridad de las mismas.

Muchas veces, la utilización de software sofisticado de análisis y la atractiva presentación de los resultados de los cálculos con bonitos colores dan la falsa sensación de que todo está bajo control en el diseño. Pero partir de un mal diseño conceptual o hacer suposiciones erróneas en el análisis puede conducir a grandes fracasos.

Un ingeniero puede contar con los conocimientos y herramientas de análisis más sofisticados pero si no tiene el “criterio ingenieril” para saber discernir entre lo que es necesario considerar y lo que se puede descartar, carece de una cualidad imprescindible para su profesión.

Este aspecto que hemos denominado “criterio ingenieril” es tan difícil de enseñar como el aspecto artístico del “diseño”. Ambas cualidades surgen de facultades que parecen ir más allá de la mente racional, tales como la intuición y la inspiración. Quizás estas cualidades formen parte de la “vocación” que debe poseer el estudiante de ingeniería ya que no todo se puede inculcar en un estudio académico.

A veces los diseñadores exitosos adoptan lemas a modo de filosofías de diseño. Un caso notable fue William Piper fabricante de aviones livianos cuyos modelos aún hoy se encuentran entre los más exitosos. Predicaba Piper que cuanto más simple es el diseño, menos elementos pueden fallar. Su lema resultó en aviones de bajo costo, seguros y de gran popularidad.

Los ingenieros reconocen que los modelos utilizados como base de los análisis matemáticos son sólo una aproximación útil para generar sus diseños. Generalmente los principios científicos subyacentes no se comprenden totalmente. También reconocen que los materiales utilizados y las técnicas de fabricación introducen incertidumbre adicional en el comportamiento del diseño.

Para subsanar estas incertezas se utilizan “factores de seguridad o de ignorancia”. Éstos constituyen un reconocimiento explícito de que no todo lo que enfrenta el diseñador es comprendido en su totalidad y que pueden ocurrir eventos no previstos que deben ser considerados de alguna forma en el diseño.

Se dice que un diseño en ingeniería es “conservativo”, cuando incluye un factor de seguridad adecuado. Pero ¿qué es adecuado? Es un

problema de criterio. En general suele haber varios factores de seguridad en un mismo diseño. El factor de seguridad adecuado para una aplicación determinada depende de muchos factores: el estado del arte de la teoría utilizada, la calidad de los materiales utilizados, la calidad de la fabricación, la gravedad de las consecuencias de la falla, etc.

En muchos casos estos factores de seguridad están contenidos en normas codificadas para diferentes aplicaciones. Pero aún en los casos de ceñirse a determinada normativa, el ingeniero no está eximido de utilizar su discernimiento. Aquí aparece nuevamente el “criterio ingenieril”, ese factor ubicuo que no es fácil definir y difícil de enseñar o transmitir.

He aquí otra diferencia entre ciencia e ingeniería. El diseño entraña un factor de “riesgo”. El ingeniero debe afrontar cierto riesgo al tomar decisiones en el diseño. Es responsabilidad del ingeniero minimizar el riesgo hasta límites aceptados por la sociedad. En cambio el científico se limita a estimar bandas de errores en sus experimentos pero el resultado es de utilidad si da resultados que concuerdan con la teoría puesta a prueba, como si no lo hacen, abriendo en dicho caso el campo para generar nuevas teorías.

Un concepto o idea central en ingeniería es el de “falla”. El diseño en ingeniería debe estar orientado a impedir que ésta ocurra. Cuando un ingeniero diseña una máquina, estructura o dispositivo, debe anticipar cada modalidad en que el diseño puede fallar para poder asegurar su correcto funcionamiento. El análisis debe contemplar todas las modalidades creíbles de falla. Aquí aparece nuevamente esa cualidad intangible que debe poseer el ingeniero.

El principio filosófico de Popper de que una teoría científica puede ser rebatida con solamente un contraejemplo también encuentra su aplicación en una filosofía de la ingeniería. El éxito de un diseño particular no asegura que diseños similares pero con algún cambio también serán exitosos. El simple cambio de escala puede transformar un diseño exitoso en un fracaso.

Las fallas no anticipadas constituyen experimentos no planificados. A pesar que las fallas no son deseadas, cuando ocurren, sus resultados son de gran interés pues revelan puntos de ignorancia que los ingenieros deben tratar de corregir; debilidades del diseño que el diseñador debe mejorar.

La investigación sobre las causas de falla constituye una realimentación para el diseño y para las normativas vigentes; muy especialmente cuando el resultado de las mismas genera pérdidas de vidas humanas.

La Ingeniería Mecánica es notoria por la cantidad de técnicos, inventores, artesanos o aficionados autodidactas que, en general, sin una formación en las ciencias de la ingeniería, han contribuido con no pocos desarrollos ingeniosos y valiosos. Sus creaciones no suelen aparecer en los Journals de ASME sino generalmente en artículos de Mecánica Popular. Algunos de estos personajes son muy talentosos, pero su comunicación con los ingenieros profesionales es, a veces, muy dificultosa por no estar entrenados en el método ingenieril de modo que sus trabajos puedan ser documentados y analizados por otros ingenieros. Son como músicos talentosos que componen de oído y no saben escribir música.

La interacción de ingeniería y ciencia fue requiriendo de desarrollos cada vez más sofisticados de las ciencias de la ingeniería y esto ha llevado a la creación de los doctorados en ingeniería. Esto ocurrió en USA en la posguerra.

El doctorado en ingeniería es típicamente de investigación y el ingeniero doctorado probablemente trabaje en análisis y no en diseño. El requerimiento del doctorado pasó a ser un requisito indispensable para la carrera académica. Esto agravó aún más la dificultad para la enseñanza del diseño.

En Argentina se establecieron los doctorados en la década del 80. Hoy día existen programas de doctorado en muchas universidades nacionales y la posesión de dicho título, aun no siendo excluyente, posiciona muy favorablemente a los postulantes que compiten en concursos académicos.

En paralelo con los doctorados, la actividad de investigación en las ciencias de la ingeniería y la publicación de trabajos en revistas internacionales con referato han restringido, por lo menos las posiciones académicas más elevadas, a ingenieros dedicados a la investigación y muy lejos de las actividades de diseño.

El Magister o Master, por su naturaleza histórica es una formación más afín al aspecto artístico. A un artista destacado se le dice respetuosamente “Maestro” como reconocimiento a su dominio del arte.

Hoy día se ha popularizado mucho la actividad de investigación y desarrollo en métodos numéricos. Estos métodos son de gran utilidad en la fase del análisis. Pero un programa de estudios sobredimensionado en este aspecto tiende a dar una impresión equivocada de la esencia de la ingeniería. Se debe prestar atención a que esta tendencia no produzca un desbalance aún mayor en la enseñanza de la ingeniería.

Las asociaciones profesionales en Argentina no han tenido gran relevancia en la actividad de los Ingenieros Mecánicos. Pocos se matriculan, en contraste con los Ingenieros Civiles en construcciones, actividad esta última que está sujeta a mayor normativa y control del estado.

En cambio las instituciones educativas juegan un papel fundamental en la calidad de la formación profesional, en facilitar la salida laboral y en generar un sentido de fraternidad entre los pares de esta actividad noble que presta importantes servicios a la sociedad.

El Instituto Balseiro surgió en 1955 como una escuela de Física que cumplió un rol destacado en la formación de recursos humanos para la CNEA y el país en general. En 1977 se introdujo la Carrera de Ingeniería Nuclear para llenar una necesidad específica de la actividad nuclear. Posteriormente en 2003 se creó la carrera de Ingeniería Mecánica. Este año egresó la séptima promoción de Ingenieros Mecánicos del Instituto Balseiro.

La Ingeniería Nuclear, en su contenido curricular, contiene un 70 % de Ingeniería Mecánica por lo que esta última carrera también aporta importantes recursos humanos a la CNEA. En los reactores de potencia los aspectos mecánicos del diseño suelen ser más críticos que los estrictamente nucleares.

También las carreras del doctorado en ingeniería fueron establecidas en el Instituto Balseiro a mediados de la década del 80, primero en Ingeniería Nuclear y posteriormente en Ciencias de la Ingeniería. Hoy día están bien establecidas con 75 doctorandos que han completado sus programas y un número importante en curso.

A fines de la década del 80 y en los 90, el CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de Ingeniería) contribuyó favorablemente a la unificación curricular de las carreras de Ingeniería en el país. Dicha tarea quedó plasmada en el conocido como “Libro verde del CONFEDI”. Este trabajo ha constituido un antecedente de mucha utilidad para la creación de nuevas carreras de ingeniería y para la actualización de las existentes. El programa de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica del Instituto Balseiro se realizó siguiendo estos lineamientos, así como también la actualización de la más antigua carrera de Ingeniería Nuclear.

A partir de dicho trabajo se impuso la reducción de los planes de estudio de seis a cinco años. En la práctica esta modificación no ha resultado exitosa ya que en la mayoría de los casos se trató de comprimir el programa de estudios previo en menos tiempo. También ha dejado menos tiempo disponible para actividades de diseño perjudi-

cando aún más esta fase de la formación. Hoy día parece muy difícil volver atrás.

Cuatro décadas atrás, algunos afirmaban que la Ingeniería Mecánica era una disciplina agotada, que ya todo estaba desarrollado y no había mucho campo para innovar. Esta afirmación ha resultado ser falsa. La Ingeniería Mecánica se encuentra en pleno crecimiento y expansión.

Nuevas especialidades han surgido en las ciencias afines a la Ingeniería Mecánica.

La mecánica de fractura es una especialidad surgida en la posguerra, impulsada principalmente por la introducción de la soldadura en gran escala en la fabricación naval. Es una rama de la mecánica de los sólidos deformables que se ocupa de la estabilidad estructural de los materiales considerando la formación y propagación de grietas y defectos. Esta especialidad ha permitido establecer criterios de diseño más rigurosos a partir de una mejor comprensión de los mecanismos de falla.

Otra especialidad desarrollada en el mismo período es la Tribología. *Tribos* proviene del griego que significa rozar o frotar. La tribología es la ciencia que estudia el desgaste, la fricción y la lubricación que tiene lugar entre superficies sólidas en movimiento. Esta denominación se usa universalmente desde fines del siglo XX.

Como todas las ingenierías, la mecánica también se beneficia de las contribuciones interdisciplinarias que la potencian y permiten desarrollos impensados anteriormente.

La ciencia de los materiales ha contribuido y contribuye proporcionando el medio donde los Ingenieros Mecánicos plasman sus diseños. Los nuevos materiales han posibilitado y extendido los límites de los mismos. Nuevas aleaciones metálicas refractarias al calor han permitido incrementar el rendimiento de las turbinas de gas. Nuevos materiales no metálicos: cerámicos, polímeros, materiales compuestos, etc., han reducido costos y posibilitado nuevas aplicaciones.

La física aplicada ha contribuido, no poco, a las aplicaciones mecánicas. Los nuevos superimanes elaborados con tierras raras han encontrado múltiples aplicaciones en el diseño mecánico.

La simbiosis con otras disciplinas ha probado ser muy fructífera. Como ejemplo impactante de dicha simbiosis surgió la llamada Mecatrónica. Esta denominación surge de una combinación de los términos mecánica y electrónica, aunque dentro de esta última deberíamos incluir la informática. El desarrollo de sensores y dispositivos electrónicos de gran poder y versatilidad, su bajo costo y su

combinación con microprocesadores ha permitido desarrollos impensados unas décadas antes. Como ejemplo, los sistemas de inyección y encendido modernos que se utilizan hoy día casi con exclusividad, han permitido mejorar enormemente el funcionamiento de los motores de combustión interna así como disminuir la contaminación ambiental.

La introducción de las computadoras y el costo decreciente y mayor capacidad de las mismas ha producido una revolución en el diseño, análisis y fabricación de equipos mecánicos. Los viejos tableros de dibujo han sido reemplazados por software que reemplaza dicha tarea con enormes beneficios. Generalmente esta tecnología se integra con software para análisis y fabricación (CAD-CAM).

Quizás la mayor revolución en estos últimos años ha sido la aparición de la red de informática global (Internet). Ésta comenzó a surgir hace menos de veinte años y gradualmente fue cambiando nuestras vidas sin que nos demos cuenta. Nada es igual desde que existe Internet. Ni siquiera un visionario como Julio Verne pudo predecir este aspecto del futuro. Predijo el viaje a la luna, los submarinos y tantas otras maravillas pero su imaginación no alcanzó a vislumbrar la globalización de la información. Esta revolución nos afecta en todos los planos de la vida; profesional, comercial, social, político, etc. Nuevas ingenierías han surgido vinculadas a este fenómeno de la tecnología informática y de las comunicaciones.

Cuatro décadas atrás la información era un bien escaso (un bien económico). Muchos profesionales ingenieros atesoraban la información acumulada y la utilizaban en su propio beneficio en el ámbito laboral. Hoy la información es fácilmente accesible a cualquiera. Hoy cobra mayor importancia el tener la formación adecuada para saber aprovechar toda la información disponible.

Esto implica que se deben producir cambios fundamentales en la forma de enseñar la Ingeniería. El énfasis debe recaer en una sólida formación en las ciencias básicas de la ingeniería y no en la acumulación de información. Esta filosofía de la enseñanza no es nueva. Ha sido la adoptada por escuelas exitosas de ingeniería como el M.I.T. con mucha anterioridad. También ha sido la filosofía que hemos adoptado en el Instituto Balseiro.

Las nuevas tecnologías posibilitan nuevas formas de comunicación, de enseñanza a distancia, de integración con otras universidades para aprovechar lo mejor de cada una. Todo está cambiando a ritmos acelerados. ¿Que nos depara el futuro próximo?

La rápida expansión y crecimiento de la tecnología informática y las comunicaciones probablemente sea el motor más importante de

los cambios. Las máquinas del futuro van a ser “máquinas inteligentes”. La incorporación de nuevos sensores y dispositivos electrónicos con mayores prestaciones y menor costo y la incorporación de la informática abren infinitas posibilidades a los dispositivos mecánicos.

Todo esto acompañado de mejores herramientas analíticas, mejores y más variados materiales, la incorporación de nuevos descubrimientos de la física y los nuevos aportes que promete la nanotecnología.

La electrónica para la que cuatro décadas atrás se presagiaba un futuro de esplendor, quizás ha cumplido su profecía. Pero sus contribuciones se esparcen fecundando toda la actividad humana y en particular a la Ingeniería Mecánica.

La Ingeniería Mecánica, como vemos, está lejos de ser una disciplina agotada, sino que revitalizada por su simbiosis con nuevas tecnologías parece renacer y recrearse tomando nuevas formas.