

"Documento original en mal estado"

CONSIDERACIONES SOBRE EL METODO

Rodolfo Herrera J.

Profesor Universidad de Costa Rica

Resumen

Se hacen algunas consideraciones de carácter metodológico general sobre la Ingeniería Estructural y su enseñanza, sugeridas por el moderno patrimonio científico-tecnológico actual. Se hace una crítica de la estructura actual de la enseñanza y se sugieren cambios para reformular los planes de estudio académicos actuales, con el interés de incentivar la meditación en este campo y con el objetivo de evitar una formación profesional poco orgánica y desligada de la práctica del diseño real.

1. La Ingeniería (I).

Cuando se trata de educación o enseñanza no se puede dejar de lado la clarificación del lugar de la práctica social que se pretende enseñar y su relación con las otras prácticas sociales. Tal es el caso de la Ingeniería, especialmente su relación con las Ciencias. Resulta poco común para los "ingenieros" preguntarse por el carácter de su propia práctica, pues en ella se mueven como peces en el agua o como nosotros los hombres en la atmósfera, sin tomar conciencia de su propia pecera. También el hombre común confunde muchas veces el asunto y llama a los ingenieros científicos o a estos tecnólogos, etc. A veces podemos argumentar que eso es un asunto sin importancia, pero pienso que el problema es más profundo y que debemos pensarlo con cuidado, en especial los ingenieros-educadores. La razón de mi supuesto surge cuando se analiza un programa de educación universitaria, el trabajo de investigación o la formación profesional formal, encontrando que son unilaterales en dos aspectos relevantes, exceso de "ciencias de la I", de "análisis" y ausencia de "diseño" y "decisiones organizacionales". Los problemas de la "práctica" son dejados al aprendizaje en el "trabajo". Es decir, el espectro de la educación está reducido al estudio de las ciencias aplicadas, produciendo un graduado sin capacidad o habilidad para los problemas de la "práctica". Por eso, en Ingeniería Estructural (IÉ) nos concentramos en el análisis de respuesta del comportamiento estructural. Esto influye en la apreciación que el industrial por eso, tiene del profesional nuevo, el cual supone por una parte que lo sabe todo y por otra se quiere que no sabe nada. En realidad no comprende que las universidades lo que producen son algo que podríamos llamar "ingenieros-científicos". La IÉ es el corazón de la Ingeniería que llamamos "Ingeniería Civil (IC)" y el "diseño estructural" el de ésta última, por lo que es instructivo intentar dilucidar cómo operan los ingenieros estructurales.

El problema comienza con la diferenciación entre Ciencia, Tecnología o Ingeniería, asunto que no está separado de los conceptos entre pensamiento racional y actividad práctica, entre "teoría" y el trabajo de los "hombres prácticos", controversia reflejada en la diferencia por las escuelas inglesas y la continentales.

Dado el poco espacio que tengo daré mi punto de vista de la manera más concentrada y explícita.

Llamamos *práctica tecnológica* (PT) a toda práctica social (por objetivo es la transformación de cosas y sistemas concretos en, la construcción de sistemas artificiales concretos) fundamentada en el conocimiento científico existente.

Esta práctica consiste de la unión de una *práctica tecnológica-científica* (PTC) y una *práctica tecnológica empírico-concreta* (PTE) o por brevedad "tecnológica".

La primera consiste de un proceso conceptual de creación de sistemas artificiales y cambios de estado de posibles sistemas concretos sociales o naturales, que denominamos "*práctica del diseño*". Su producto son sistemas conceptuales fijados en planos, documentos (por ej. especificaciones) gráficos, etc. (por ej. software). Esta precede y soporta la segunda la cual es una práctica administrativa (dirección y control, decisión) de los procesos de transformación directa.

La PTC fundamenta sus acciones en una práctica científica que denominamos la *práctica científico-tecnológica* (PCT), la cual tiene como objetivo el de todas las prácticas científicas, o sea la explicación racional y objetiva de los procesos existentes, Su diferencia con las prácticas científicas básicas, consiste en que sus objetivos tienen un carácter inmediato y no mediato buscando la utilidad para las PT. Además sus referentes contienen sistemas artificiales o situaciones creadas por el hombre, lo que le da un carácter peculiar respecto a las prácticas científicas clásicas. Su producto contiene teorías particulares, menos profundas y de utilidad práctica, o teorías tecnológicas *substantivas* y *operativas*. Además produce reglas y sistemas de reglas, constituyendo su conjunto lo que podríamos denominar *ciencia aplicada*. La unión de PCT + PTE constituye una práctica teórico-conceptual, por tanto una práctica *cultural*. Los procesos tecnológicos (transformación, diseño) y científicos (conocimiento, explicación) constituyen una cadena productiva dialéctica (en el sentido de su condicionamiento mutuo) (PT, PCT, PTE, PTE), la que nos sirve de fundamento para el diseño y ejecución de los procesos de enseñanza-aprendizaje de tales prácticas, específicamente la 1.

La Ingeniería es una *práctica tecnológica* de transformación de cosas y sistemas concretos, como por ej. las estructuras. Estas no se diseñan primero y constrúyelas luego. El proceso de diseño está basado en el conocimiento científico existente, mas específicamente, en el "patrimonio tecnológico" históricamente alcanzado.

En mi criterio los anteriores conceptos aclaran la problemática y están en acuerdo con la opinión general de que los ingenieros son unos animales diferentes: su conocimiento es el de como hacer las cosas.

Es decir, a la Ciencia le concierne lo que es, a la Ingeniería lo que ha de ser.

La primera le interesa la investigación de la realidad y la producción de teorías para comprenderla en forma creciente, mientras a la I le interesa crear una realidad, por ej. un artefacto como lo que llamamos estructura en IC. Como dice Hardy-Cross [9]: "La I es un viejo arte. Siempre demanda habilidad para pesar la evidencia, para obtener conclusiones de sentido común, para lograr una síntesis simple y satisfactoria y entonces ver que tal síntesis se pueda realizar".

Lo paradójico es que nuestros estudiantes, quienes quieren ser ingenieros, se dedican en gran parte ha estudiar "ciencias de la ingeniería", es decir, al producto de las PCT, poco a las PTC y casi nada a las PTE.

En la práctica los ingenieros, por la división del trabajo y especialidad, se colocan en algun lugar de la cadena científico-tecnológico descrita.

Los que son profesores se dedican, aparte de la ejecución de la práctica de la enseñanza, a la PCT y en muchos casos a la PTC o diseño (tal es el caso específico de los ingenieros estructurales), por otra parte muchos nunca han construido obras civiles.

En resumen, lo que pienso importante es que teniendo bien claras las diferencias y relaciones entre Ciencia, Tecnología (Ingeniería) y sus campos específicos, es posible equilibrar los planes de estudio de las carreras de Ingeniería.

2. Ingeniería Estructural.

Como nuestro objetivo principal es decir algo en relación con la IE y la enseñanza, en la que sucede lo mismo señalado en el artículo anterior, empezaremos por determinar en forma muy breve tal P).

La IC y la IE específicamente, son prácticas cuyo objetivo principal es diseñar y construir "estructuras" de escala macroscópica (esto en comparación con otros tipos de sistemas o de prácticas tecnológicas). Los proyectos dependen de situaciones concretas, diferentes en cada caso, con muy poca duplicación de las soluciones de diseño. Es decir, es una industria de trabajos exteriores", comparada con las industrias de manufactura por ej. El ingeniero estructural proyecta puentes, edificios, etc., cosas concretas enfocadas como "construcción resistente", a las que denomina "estructuras". Una definición sintetizadora podría ser la siguiente: una "estructura" (E) es cualquier cosa concreta compuesta por un conjunto de "cuerpos" vinculados, capaz de resistir "cargas". Esta definición recode el conocimiento intuitivo de la IE, pues el ingeniero puede enfocarse casi toda cosa, en el nivel fenomenológico como tal, por ej. una roca o un esqueleto humano son estructuras naturales, un puente o un avión son estructuras artificiales, fabricadas o inventadas por el hombre, sin embargo el ingeniero distinguirá, de las estructuras reales, aquellos componentes que considera relevantes para la función de resistir cargas o acciones sobre ella.

tal es el caso de un edificio, del cual se "extrae" su esqueleto resistente, dejando por fuera todo lo que se considera secundario en relación con su función de resistir las acciones externas.

tal conjunto de "cuerpos" con determinada "forma" o "configuración y constitución física", fabricados o no, con "capacidad" para sobrellevar las "acciones" con "seguridad" y "economía", es lo que la IE denomina "estructuras".

Es decir, la E es un "cuerpo" constituido por otros cuerpos en conexión mutua, que mantiene su integridad ante las acciones de otros cuerpos o estados, donde cada uno de sus componentes son "clases de cuerpos" que a su vez se consideran como E. En realidad la E es un "sistema" o "sistema estructural" (SE) es decir, una totalidad con integridad en algunos aspectos, donde sus componentes y este cumplen con alguna "legalidad".

tal sistema es construido en un proceso de ensamblaje, resultado de un proceso (PI) que desorganiza el todo y lo reorganiza según sus fines. Obviamente la parte y el todo son relativos y la línea de demarcación entre sistema y subsistemas estructurales es relativa.

El problema del Ia es "diseñar" la E, en el sentido más amplio dado aquí, como etapa previa a su "construcción" lo cual implica también "organización" o diseño de las actividades humanas en relación con tal proceso, y por tanto con la determinación de los métodos para su ejecución. Su mayor dilema es balancear el costo con la seguridad, pero también incluye los efectos sobre el ambiente y la estética. El problema no es sólo de Arquitectos.

Hay que recordar que los diseñadores juzgan la calidad seguridad y economía de sus E sobre la base de entrenamiento experiencia y buen juicio y como dice Asimov [1] tiene que "hacer" decisiones bajo condiciones de incertidumbre".

Otro aspecto es que el diseñador, específicamente, tiene una relación con otros diseñadores, el cliente, el ingeniero de construcción, etc. por lo tanto requiere de información sobre regulaciones y normas, información profesional, información comercial y sobre la experiencia existente (trabajos similares y conocimiento del sitio por ej.). Esta información es de varios tipos y grado de seguridad. Un ejemplo es el análisis de cargas sobre las estructuras y su seguridad, lo cual hasta recientemente ha sido despreciado en comparación con el gran esfuerzo en el estudio del análisis de respuesta estructural. Es indudable que sin métodos de análisis de respuesta es imposible diseñar mejores estructuras en ningún sentido de la palabra, de ahí que las medidas de seguridad usadas hasta hace pocos años eran casi triviales. Hoy día es importante examinar y entender las limitaciones y las hipótesis incluidas en las teorías relacionando métodos de análisis, pruebas de laboratorio y el comportamiento de estructuras de escala grande. Sabemos que el problema es diferente al camino científico clásico, pues el científico busca profundidad y detalle, mientras el ingeniero requiere respuestas explicativas simples y seguras tan pronto como sea posible, porque el tiene que hacer cosas.

Una apreciación del proceso histórico del diseño estructural desde las reglas prácticas o de "dedo" a las nociones científicas es importante, es decir, la instrucción en los procesos históricos de su campo prácticamente no existe en los currículums académicos para ingenieros.

En resumen, se debe considerar la FE o diseño en el sentido amplio dado aquí, sin una reducción a los procesos específicos del análisis de estructuras o diseño en el sentido restringido del cálculo.

Lo anterior viene a ser obvio para los ingenieros, sin embargo me surge la pregunta de por qué entonces el desarrollo de la enseñanza actual no establece su proceso en una forma que vincule los procesos señalados, a sabiendas de que en esta parte he dejado muchos sin comentar.

Así por ejemplo en lo que concierne al concepto dado de E, surge la pregunta de por qué no se inicia la enseñanza de estructuras a partir del estudio de la *morfología, tipología y comportamiento elemental* de las E?

La razón es que el sistema de enseñanza parte de la concepción mecanicista de empezar con ciencias de la ingeniería y terminar con las llamadas materias profesionales, incluso sin cambiar adecuadamente con ésta última etapa, debido a la falta de tiempo o espacio en los planes de estudio. Así por ej. se comienza con "estática del cuerpo rígido", evidentemente indispensable teóricamente hablando, la cual además se reduce a puro análisis de fuerzas sobre sistemas estructurales dados. La falta de interrelación con la realidad es evidente, pese a los ejemplos de clase.

Análogamente sucede con el problema de las cargas y las clases de "materiales" que constituyen a los cuerpos y con la dedicación a una concepción de la PE reducida casi a veces a una PCT.

3. El proceso del diseño de estructuras.

Revisemos ahora un poco el proceso del diseño en IE, el cual metodológicamente contiene varias etapas. En la primera la E es inventada morfológicamente y tipológicamente, es decir, su forma, clase de componentes, sus condiciones geométrico-espaciales, estructurales (como por ej. la estructuración en un edificio) y además la determinación de las condiciones objetivas de sitio, posibilidades técnicas de ejecución, su costo, etc. Este es un oficio conjunto, o independiente de Ingenieros y Arquitectos, aunque cuando se trata de los últimos sucede que muchas veces acuden al IE en articulo *mortis*. Este es un proceso de síntesis que se debe fundamentar en algunos análisis o cálculos, en el juicio y la experiencia de los diseñadores. Aunque hoy día este proceso se puede afinar con la utilización de la programación matemática (técnicas de optimización) y la computadora, hay aspectos que sólo se resuelven en una toma de decisiones de tanteo seleccionadas por el diseñador. Considero entonces importante la consideración de estos aspectos en la enseñanza, con la sugerencia de mantener y desarrollar métodos simples (sobre modelos simplificados) del análisis estructural.

tal es el caso de un edificio, del cual se "extrae" su esqueleto resistente, dejando por fuera todo lo que se considera secundario en relación con su función de resistir las acciones externas.

tal conjunto de "cuerpos" con determinada "forma" o "configuración" y "constitución física", fabricados o no, con "capacidad" para sobrellevar las "acciones" con "seguridad" y "economía", es lo que la IE denomina "estructuras".

Es decir, la E es un "cuerpo" constituido por otros cuerpos en conexión mutua, que mantiene su integridad ante las acciones de otros cuerpos o estados, donde cada uno de sus componentes son "clases de cuerpos" que a su vez se consideran como E. En realidad E es un "sistema" o "sistema estructural" (SE), es decir, una totalidad con integridad en algunos aspectos, donde sus componentes y ella cumplen con alguna "igualdad".

tal sistema es construido en un proceso de ensamblaje, resultado de un proceso (PI) que desorganiza el todo y lo reorganiza según sus fines. Ovviamente la parte y el todo son relativos y la línea de demarcación entre sistema y subsistemas estructurales es relativa.

el problema del IE es "diseñar" la E, en el sentido más amplio dado aquí, como etapa previa a su "construcción" lo cual implica también "organización" o diseño de las actividades humanas en relación con tal proceso, y por tanto con la determinación de los métodos para su ejecución. Su mayor dilema es balancear el costo con la seguridad, pero también incluye los efectos sobre el ambiente y la estética. El problema no es sólo de Arquitectos.

Hay que recordar que los diseñadores juzgan la calidad, seguridad y economía de sus E sobre la base de entrenamiento, experiencia y buen juicio y como dice Asimov [1] tiene que "hacer decisiones bajo condiciones de incertidumbre".

Otro aspecto es que el diseñador, específicamente, tiene una relación con otros diseñadores, el cliente, el ingeniero de construcción, etc. por lo tanto requiere de información sobre regulaciones y normas, información profesional, información comercial y sobre la experiencia existente (trabajos similares y conocimiento del sitio por ej.). Esta información es de varios tipos y grado de seguridad. Un ejemplo es el análisis de cargas sobre las estructuras y su seguridad, lo cual hasta recientemente ha sido despreciado en comparación con el gran esfuerzo en el estudio del análisis de respuesta estructural. Es indudable que sin métodos de análisis de respuesta es imposible diseñar mejores estructuras en ningún sentido de la palabra, de ahí que las medidas de seguridad usadas hasta hace pocos años eran casi triviales. Hoy día es importante examinar y entender las limitaciones y las hipótesis incluidas en las teorías relacionando métodos de análisis, pruebas de laboratorio y el comportamiento de estructuras de escala grande. Sabemos que el problema es diferente al camino científico clásico, pues el científico busca profundidad y detalle, mientras el ingeniero requiere respuestas explicativas simples y seguras tan pronto como sea posible, porque el tiene que hacer cosas.

Ello implica un conocimiento de la Estática del problema y utilización de procedimientos que llamaríamos clásicos, los cuales de hecho se pueden implementar para la computadora. La visión preliminar del comportamiento en sus primeras etapas evita muchos problemas y la disminución del tiempo de trabajo o análisis exacto, después de todo qué sentido tiene un análisis exacto si la E ha sido mal escogida?

La segunda etapa parte de la E inventada preliminarmente y tiene por fin la determinación de las dimensiones y características estructurales definitivas. Usualmente se le llama la etapa de "cálculo estructural", denominación relativamente errónea pues con la emergencia del computador, entonces no se requerirán ingenieros estructurales. Este proceso posee su propia dialéctica de análisis y síntesis que se resume así: (i) un proceso de *síntesis* que consiste en la estimación *a priori* de las proporciones de los componentes de E. (ii) un proceso de *análisis* que contiene dos elementos básicos: un análisis de las "acciones" o de la acción del ambiente del SE sobre éste y la determinación de la respuesta del SE ante tales acciones caracterizada por los estados de fuerzas o esfuerzos y de los estados de desplazamiento y deformación de la E. (iii) En base a los resultados anteriores se determina la "seguridad" de la E seleccionada en (i), proceso denominado usualmente "diseño" en IE, en el que se chequea la resistencia de los elementos y la magnitud de las deformaciones. (iv) De la comparación de los resultados de (iii) con lo supuesto en (i) para el análisis (ii), se procede a la modificación correspondiente y se inicia un nuevo caso (ii). En resumen es un proceso de tanteo y error que se puede realizar con la utilización de programas de computadora.

El análisis se realiza sobre un modelo estructural simplificado, simplificación que depende de la comprensión que posea el diseñador de los aspectos básicos de la "estática" de la distribución de cargas a través de la estructura. Si esta es correcta, aunque el análisis se haya simplificado drásticamente, puede conducir a resultados adecuados. Además tales resultados se pueden mejorar por medio de correcciones al modelo. El problema básico del diseñador es el poder "dibujar" la geometría de la estructura deformada, lo suficientemente bien de modo que "empate" con la estática, pudiéndose entonces calcular los estados de esfuerzos con que la estructura resiste las cargas. Un buen análisis de las cargas economiza más que un buen estudio de respuesta. En el campo de la Ingeniería sísmica, una rama de la IE, se ha avanzado mucho en unión con la sismología; aunque en el futuro se supone tendrá avances aun mayores y a nivel nacional una mayor conciencia local, lo que disminuiría la incertidumbre.

Otra parte del análisis estructural o diseño es el análisis de la seguridad, el cual se realiza mediante técnicas simples obtenidas de los resultados experimentales y organizados en sistemas de reglas o códigos de diseño. Los criterios modernos se basan en el "teorema de seguridad", que establece que si un sistema de fuerzas satisface la condición de equilibrio y la de fluencia entonces el factor de seguridad calculado es una cota inferior sobre el factor de seguridad crítico.

La condición de equilibrio representa simplemente el balance entre las fuerzas externas e internas y la condición de fluencia es la que nos asegura que en ningún lugar de la estructura, los efectos de las cargas excederán el efecto de resistencia. Este es el meollo del análisis de estructuras en el diseño real, en el que no se requiere que el sistema de fuerzas calculado sea el sistema de fuerzas real.

El teorema de seguridad es una herramienta potente que siempre ha sido apreciada intuitivamente, aunque no siempre explícitamente por el diseñador.

4. Análisis estructural:

Una pocas palabras más sobre análisis de estructuras. Este se fundamenta en una ciencia tecnológica que denominamos *Mecánica Estructural* (ME) porque contiene teorías particulares sobre el objeto concreto que son las E.

Esta se fundamenta en la Mecánica Teórica o Racional la cual contiene teorías que determinan el movimiento mecánico de toda clase de cuerpos, los cuales se representan por un modelo mecánico continuo. Las teorías como las de la ME son teorías tecnológicas substantivas, casos particulares representados por modelos simplificados, a los que se unen otras teorías empíricas y reales. En los últimos años se ha producido un gran desarrollo inducido por las posibilidades de cómputo y por los procesos de formalización (por ej. axiomatización) de la Mecánica. Lo que ha dado como resultado posibilidades para la "aproximación estructural" y matemática (por ej. método de elemento finito), más explícitamente la discretización de los modelos continuos, el uso de métodos variacionales, etc. Además se ha producido un gran desarrollo en el estudio de modelos de comportamiento de los "materiales". Me parece que sin embargo, a nivel de la enseñanza que es de los que nos interesa en esta meditación, no se ha producido una reestructuración lógica de las materias que conocemos como Mecánica del Sólido y Estructuras, reflejada por la ausencia de buenos textos (por lo menos los que conozco) y la repetición de temas y falta de un cambio en la metodología, esfuerzo que de realizarse podría simplificar la enseñanza en este campo. En la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, en la década del 60 en especial, se hizo un esfuerzo por un cambio en el contenido, la metodología y el lenguaje mismo de las Estructuras. Actualmente pienso que debe realizarse un esfuerzo en la misma dirección.

El análisis en comparación con las otras etapas ha sido más científico, en particular con los computadores la solución numérica de problemas matemáticos complejos ha aumentado en sofisticación. Sin embargo ello induce a olvidar las interpretaciones necesarias del diseñador. El análisis se realiza sobre un modelo teórico de la E el cual es solo una representación aproximada de ella por lo que debe tenerse un juicio adecuado en su selección, el problema es cuánto de bueno es el modelo y cuánto de exactos son los valores de los parámetros que lo determinan. A fin de cuentas eso es lo que permite juzgar la confianza o el grado de credibilidad de los resultados del análisis.

Es un error en pensar que el cálculo analítico sea capaz de predicciones exactas o equivalentes a su medición en situaciones reales. El sirve como un conjunto de "reglas complejas de que nos capacitan para que una estructura segura proporcionada. Lo anterior es útil plantearlo, pues nos a la distinción entre cómo pensamos que una estructura se comporta y cómo realmente se comporta.

Sin embargo sin el análisis el diseñador no tiene ni esperanza de acercarse a la realidad, es decir, de mejorar predicción. De ahí que el desarrollo de tal campo ha sido e amplio en detrimento de otras partes que habían despreciadas. El análisis estructural moderno con la utilización del elemento finito, que afina la respuesta y mejora posibilidad de predicción, no es comparable con las ausencias el campo de las asunciones de carga y de las medidas seguridad, las cuales son aún débiles :

5. Diseño estructural.

Creo que el "método del estado límite" es mucho satisfactorio que todos los usados hasta el momento para diseño, pues nos da un marco filosófico en el cual el ingeniero puede actuar. Es decir, considerar las incertidumbres sistema estructural seleccionado y las incertidumbres de parámetros involucrados, así como el de considerar la noción niveles de seguridad variables, dependiendo de las consecuencias de la falla. Conforme nuestro conocimiento se incrementa y presión para factores de seguridad más bajos aumenta, el método dará una base sistemática para considerar el nuevo conocimiento en las acciones prácticas, aumentando la economía del diseño estructural sin aumentar significativamente la presente tasa estadística de falla estructural. En el futuro el diseño en estado límite representará un método simple y práctico. A pesar que muchas veces se ignora los efectos aleatorios externos y errores humanos, éste representa un gran avance sobre métodos del esfuerzo permisible y del factor de carga. En programas de estudio esto se plantea en los cursos clásicos concreto reforzado o acero, pero sin embargo siento que no se da la debida atención, permaneciendo como un proceso aislado la totalidad del análisis, el diseño y la experimentación, intento por generalizar el tópico y colocarlo en todos los niveles sería muy beneficioso. El problema es que la potencia los métodos de análisis y la insistencia en su estudio desproporcionada respecto a los análisis de carga y seguridad. Es evidente que hay muchos problemas de análisis que plantea pero la relación entre los métodos existentes de análisis, exactitud en el laboratorio y el comportamiento de estructuras de escala completa es todavía bastante incierto aún para métodos altamente probados. Es importante por lo tanto que el estudiante entienda y examine las limitaciones implícitas en la hipótesis de estas teorías, las que son sólo realmente altamente probadas en laboratorios. En este sentido el teorema Seguridad del colapso plástico sería un buen punto de partida. Un último aspecto que seguro merecería un capítulo especial, es el asunto de las "normas" de diseño.

Aquí solo quiero insistir sobre la necesidad de ponerle atención al papel de ellas en la práctica, una discusión que no necesariamente se aplica a los problemas de la enseñanza. Sin embargo este problema de las normas, su carácter, su utilización práctica, sus posibilidades de calibración, etc. debería estar incluido en la enseñanza no necesariamente ligado a un curso específico de los últimos niveles.

6. Un comentario final.

El problema de un "plan de estudios" en Ingeniería Civil y específicamente relacionado con la Ingeniería Estructural, es complejo y afirmo que no es solo un asunto de "ingenieros malos", pues la enseñanza es una PT que contiene sus dos componentes señalados anteriormente, en cierta forma es interdisciplinario. pienso y creo que es obvio, que una reforma profunda debe realizarse en el futuro cercano, que considere todos los aspectos de la situación actual y futura en el campo de la Ingeniería.

Esta deberá considerar los ejes del diseño o PIC y de la PTE en un proceso que se inicie desde el principio de los estudios, buscando romper con el modelo mecanicista ortodoxo existente. Las PLI deberán estar vinculadas orgánicamente con estos ejes principales, incluyendo teorías tecnológicas substantivas y operativas. Un planteamiento en este sentido lo he sugerido en otras ocasiones. Todo esto requiere una investigación de los niveles epistemológicos de las Ciencias Aplicadas o de la Ingeniería, de modo de limpiar y condensar mucho del material impartido actualmente dentro de un enfoque teóricamente más moderno, que incluya indudablemente a las posibilidades que da hoy la informática en general.

Cualquier solución deberá considerar las peculiaridades reales de la práctica de la Ingeniería. Sobre este aspecto es bueno dar la opinión que tenía Hardy Cross en su época. El decía: "La función de las universidades es sacar hombres inteligentes con algún conocimiento de campos prácticos, mas que sacar hombres no inteligentes con algún conocimiento detallado de campos limitados... El entrenamiento en Ingeniería puede proveer dos cosas que son algo difíciles de alcanzar, excepto en campos similares de pensamiento: habilidad para observar, habilidad para interpretar fenómenos importantes de la naturaleza con alguna medida de exactitud. Cuán duro sopla el viento?. Cuánto lloverá el próximo año?. Cual es la probabilidad de inundación

Cual es la fuerza de las ondas de una tormenta?. Cual es la resistencia de un ladrillo, madera o piedra?. El valor de ser capaz de observar e interpretar críticamente, se amplía grandemente si los estudiantes aprenden a arrear su información de una manera utilizable. Ellos pueden enseñar la diferencia entre un hecho o lo que alguien espera o exige que sea un hecho... Mucha gente preferirá pasar cualquier cantidad de molestias, esfuerzos e inconveniencias, con tal de evitar la suprema agonía del pensamiento concentrado: sin embargo saben que ninguna molestia, inconveniencia o esfuerzo, evitará la necesidad final de ello.

Así desde el miedo al ejercicio mental, ellos estarán expuestos a la enfermedad de la formulitis... la formulitis intenta reducir los problemas a fórmulas, produciendo que aquellos que sufren de ella se conratulen mutuamente en medio de ellas sin importarles el resto ...

Por el uso de fórmulas la gente espera alcanzar el máximo de resultados con el mínimo de tiempo, esfuerzo y especialmente de responsabilidad. Si la fórmula es errónea eso no es su falla, si ellos no la entienden eso es porque no está clara de ninguna manera... el pensamiento formulítico es extremadamente común y algunas epidemias son raramente incurables en los ingenieros: se recomienda un vigoroso ejercicio mental en el aire fresco del fenómeno natural." [9] (traducción libre del inglés hecha por el autor). Aunque la época de Cross era otra su reflexión no deja de tener validez y reflejar algunas verdades posibles de trasladar a nuestro tiempo.

En resumen se requieren nuevas visiones político-filosóficas sobre el problema. Sabemos que su "solución" no se puede dar mecánicamente sino sólo mediante un proceso que implica esfuerzo, no siempre fácil, de toda la comunidad de ingenieros y especialmente los profesores ingenieros. Sólo espero que estas cortas meditaciones generen dudas y produzcan inquietudes en las nuevas generaciones que son las encargadas de la transformaciones del futuro.

7 Bibliografía.

1. Asimov, M. Introduction to Design. Prentice Hall. 1962.
2. Blockey D. The nature of Structural Design and Safety. Ellis Horwood Limited. London. 1980.
3. Herrera K. "Relation Between Continuing Engineering Education And Traditional Engineering Education". Proceedings of The Fourth Conference on Continuing Engineering Education. Beijing, China. 1989.
4. ----- "Technology and Society". Proceedings of the ASSE. Annual Conference. Nebraska. 1989.
5. ----- "La Práctica Tecnológica". Revista de Filosofía. Universidad de Costa Rica. XXVII (65). 349-359. 1989.
6. ----- "Crítica al modelo ortodoxo de la enseñanza de la Ingeniería e ideas para su modificación". Tecnología en Marcha. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Vol. 10 Nº 1-1990.
7. ----- "Los Sistemas Conceptuales de la Tecnología". Revista de Ingeniería. Universidad de Costa Rica. I, por publicarse. 1990.
8. ----- "Ingeniería y Ciencia". Revista Praxis. Universidad Nacional. Costa Rica. por publicarse. 1990.
9. Woodpasture. R.C. Hardy Cross: Engineers and Ivory Towers. McGraw-Hill. 1952.
10. Gregory M.S. "Philosophy of Engineering of Structures". Journal of the Structural Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 576. 1963.