

**METODOLOGIA
DE LA ENSEÑANZA
DE LA INGENIERIA CIVIL**

MIGUEL GIL

Particularmente, no creemos que el Desarrollo de un tema como el propuesto difiera mucho para una u otra rama de la ingeniería. Si bien la Ingeniería Civil es la más antigua y, si no la que más, por lo menos una de las ramas de la Ingeniería más desarrolladas y con mayor número de especializaciones que existe, es necesario hacer notar que los requerimientos básicos que la misma exige para llegar a ser un buen profesional no difieren mucho de los que se exigen a cualquier otro tipo de Ingeniero.

Recordemos que, en general, la Ingeniería puede ser definida como la **aplicación racional** de un conjunto de conocimientos **técnicos** y **humanos** encaminados a transformar a la naturaleza en beneficio del hombre. Utilizaremos esta definición como esqueleto o como orientación general en el desarrollo del presente trabajo.

Cada palabra de la definición es importante en el concepto general que la misma pretende dar. En primer lugar, hablamos de "**conjunto de conocimientos**" pero dichos conocimientos no son importante en sí mismos, sino en la medida en que sean **aplicables**. Aquí se separan la Ciencia Pura de la Ingeniería, el científico del Ingeniero. La necesidad que tiene el ingeniero de **aplicar** sus conocimientos sobre ciertos fenómenos de la naturaleza lo obligan en ocasiones a establecer hipótesis simplicatorias y a dejar de tomar en consideración ciertos parámetros que influyen en el fenómeno estudiado con un nivel de importancia que no caracterizan al fenómeno en sí. Tal es la relación que existe, por ejemplo, entre la Me-

cánica o Resistencia de Materiales y la Teoría de Elasticidad. Creemos firmemente, y tratamos de ponerlo en práctica en nuestras clases, que una simple utilización de las expresiones sencillas que se manejan en la primera disciplina, entre las variables fuerza, esfuerzo, deformación, geometría y características de materiales, no es formativa si durante la deducción de dichas expresiones y posterior utilización de las mismas no se hace énfasis en las hipótesis de que son hijas, hipótesis que al darles origen LAS LIMITAN.

Hablamos de “**aplicación de conocimientos**”, pero no a secas, sino de “**aplicación racional de conocimientos**”, y es que toda obra de ingeniería puede visualizarse como el resultado de la conjunción armoniosa e inteligente de varios factores, entre los que destacan preponderantemente la funcionalidad, la seguridad, la economía y la estética. Consideramos importante hacer énfasis en todos y cada uno de estos factores durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. Generalmente, debido a que los ejemplos desarrollados en clase y los trabajos realizados por los estudiantes en la casa no se **construyen** sino que terminan y quedan en el papel, se tiende a considerar el criterio de “**seguridad**” como el único a tomar en consideración, no mencionándose siquiera los demás. Al seleccionar materiales, al calcular dimensiones, al comprobar esfuerzos, al escogerse un determinado proceso de construcción, aunque sea para diseñar en el aula o en la casa una obra “**de mentira**”, debe pensarse siempre en la incidencia de la decisión tomada en las características económicas de dicha obra. Piénsese que desde el punto de vista de la seguridad un problema ingenieril tiene muchas soluciones, sin embargo, no todas ellas conjugan de la misma manera el factor económico, el funcional y el estético. Estimamos importante acostumbrar al estudiante a colocar su mente siempre dentro de este amplio marco de referencia.

Siguiendo con nuestra definición de Ingeniería, nos encontramos con que se trata de “**conocimientos técnicos y humanos**”. La mayoría de las ramas de la Ingeniería toma sus conocimientos técnicos de la Física y de la Química y dependiendo de en cuál de los dos diferentes campos de estas ciencias se haga especial énfasis, se tendrá uno y otro tipo de inge-

niero. Por ejemplo, la Ingeniería Estructural nace a través de la aplicación de los conocimientos contenidos en una rama de la Física llamada Mecánica, especialmente en cuanto se refiere, no al efecto en el cambio del estado de movimiento o de reposo de los cuerpos que ejercen las fuerzas, sino en cuanto se refiere a la producción de esfuerzos y deformaciones. La Física y la Química, o más bien, la aplicación de la Física y la Química, es la fuente de donde se nutre la Ingeniería Civil, la Eléctrica, Mecánica, Química y todas sus especialidades o ramificaciones. En vista de que las obras de Ingeniería en general son complejas, en cada una de ellas interactúan diferentes tipos de ingenieros, los cuales, deben poder comunicarse y entenderse; deben saber donde termina su propio campo y donde comienza el de los demás. Por esta razón, justificamos plenamente la introducción en los programas de una rama de conocimientos generales correspondientes a las demás.

Esos conocimientos técnicos y humanos deberán estar encaminados a transformar a la naturaleza en beneficio del hombre.

El mejoramiento de las condiciones de vida del hombre en la tierra, es el fin último de toda obra de Ingeniería y para lograrlo, el Ingeniero debe transformar a la naturaleza de una u otra manera; debe desviar ríos, detener sus aguas, conducir las a través de túneles para mover turbinas o para regar siembras; eliminar montañas, cambiarlas de lugar, mover tierra de un lugar a otro para construir represas; levantar edificios en solares originalmente baldíos, etc. y todas estas transformaciones las hace el Ingeniero para beneficiar al hombre.

Cabe preguntarse: ¿Cómo puede el Ingeniero beneficiar al hombre si no conoce al hombre, sus problemas, sus necesidades, su idiosincracia? Evidentemente que no podría hacerlo. Por eso hablamos de "conocimientos técnicos y humanos" y por eso el Ingeniero debe conocer la historia de su pueblo, la geografía de su pueblo, las características sociales de su pueblo, el lenguaje de su pueblo, los recursos naturales de su pueblo, los problemas políticos y económicos de su pueblo. Por eso, justificamos plenamente la introducción de asignatu-

ras que tiendan a darle al Ingeniero esta formación humanista, en el entendido de que la Universidad por sí sola no podrá completarla, pero sí podrá despertarla e incentivarla directa e indirectamente.

Dentro de este panorama general de lo que es la Ingeniería, deberá enmarcarse la utilización de los diferentes recursos y métodos que existen en la actualidad para la transmisión de conocimientos en forma más o menos masiva. Pasaremos a analizar algunos aspectos importantes.

Creemos mucho en el desarrollo de la responsabilidad individual de los estudiantes y sin embargo, no somos partidarios de la fría cátedra formal. Creemos que "comunicar" es bastante más que hablar mientras otros escuchan en silencio; si bien, es necesario mantener relaciones de respeto mutuo entre profesores y estudiantes, no es menos cierto que es útil el establecimiento de relaciones de confianza mutua entre los mismos. Pero esa relación de confianza, esa posibilidad de preguntar y consultar dentro y fuera del aula, no debe desarrollar una relación de dependencia; el estudiante universitario nuestro de los últimos años, tiende a recostarse de los profesores, tiende a descargar la responsabilidad de su formación **exclusivamente** en el profesor y esto debe evitarse. Nunca olvidaremos el caso de un estudiante nuestro que al comenzar un curso de Resistencia de Materiales nos dijo: Profesor yo estoy muy flojo en Estática?, ¿cómo Ud. se va a hacer conmigo? Y es que el joven creía que se trataba de nuestro problema y no de SU problema.

Creemos importante mantener el interés de los estudiantes en el aula a través de una búsqueda en conjunto de la verdad, haciéndose el profesor a sí mismo preguntas en voz alta, incentivando a los estudiantes a contestarlas de vez en cuando y permitiendo y contestando preguntas racionales e inteligentes.

La prisa con que se desarrollan actualmente los estudios universitarios, la utilización de ciclos semestrales y trimestrales y los exámenes parciales frecuentes, han desarrollado en

el estudiante universitario de hoy, la tendencia a estudiar exclusivamente de las notas o apuntes tomadas en las clases; se trata en efecto, de una práctica peligrosa que da origen a profesionales ligeros y sin criterio, sin visión de conjunto cual "caballos con anteojeras". Piense nada más en lo siguiente: un profesor nunca conoce todo lo que ha descubierto el hombre de la materia que enseña, nunca enseña todo lo que sabe, el estudiante no siempre escribe todo lo que oye, al estudiar, no siempre entiende todo lo que tiene escrito y luego no siempre se aprende todo lo que ha entendido. Si lo aprendido ha sido sacado exclusivamente de apuntes, es evidente su pequeñez respecto a la cantidad total de conocimientos que componen la materia considerada. Es necesario, pues, desarrollar en el estudiante la costumbre de estudiar por libros, de leer revistas, de formar poco a poco su propia biblioteca, de utilizar los servicios de bibliotecas establecidas, de consultar varios autores, de estudiarlos con espíritu crítico y no dogmáticamente, sacando luego sus propias conclusiones, escogiendo su manera personal de enunciar las cosas, de demostrarlas, de justificarlas y complementarlas.

La misma prisa que lleva a estudiar por apuntes, también lleva a tratar de resolver problemas o desarrollar trabajos en la casa sin antes haber estudiado. Somos partidarios de la asignación de trabajos en la casa en la medida en que los mismos obliguen a estudiar poco a poco, pero de nada sirven si pueden ser desarrollados de una manera mecánica, irracional o ligera. Es necesario seleccionar los trabajos asignados con un criterio formativo y no con la simple finalidad de obligar al estudiante a hacer sustituciones numéricas en fórmulas directas. Recuérdese que ya ni siquiera ejercita su habilidad para efectuar las operaciones fundamentales de la aritmética pues las calculadoras de mesa y de bolsillo están al alcance de todo el que ha podido ingresar a una Universidad.

Ya que mencionamos a las calculadoras, permítasenos referirnos a su hermana mayor: la computadora electrónica. Indiscutiblemente que con la década del sesenta se inicia una transformación importante en todas las ramas del saber; en la misma comienza a ser rentable la comercialización de una

herramienta que pocos años atrás tenía una producción limitada y era utilizada con carácter de exclusividad por instituciones de alta capacidad económica. Las computadoras electrónicas comienzan a expandirse por el mundo y con esa expansión comienzan muchos a sentir la presión que genera la existencia de algo muy bueno y poderoso que se creyó inalcanzable, mientras que otros situados en el extremo opuesto, desarrollan con dicha herramienta una relación de dependencia absoluta. Los libros, que en la década del cincuenta no mencionaban siquiera la palabra computadora, comienzan en la siguiente, a hacer tímidas referencias a la misma y los más avanzados, contenían apéndices en los que, de una manera general, se planteaban posibilidades alternas de resolver los mismos problemas mediante la utilización de dicha herramienta. El álgebra matricial se sacó del olvido y comenzó a adquirir popularidad; las ecuaciones diferenciales complicadas dejaron de ser el resultado de un simple planteamiento clásico de un problema; los métodos interactivos de convergencia relativamente lenta para ser manejados manualmente, comenzaron a extenderse; el no tomar en cuenta ciertos factores que pudiesen tener alguna importancia en la solución final, comenzó a dejar de justificarse. En fin, ha sido muy variada y profunda la influencia que ha tenido la proliferación de computadoras por el mundo en todas las facetas de la vida del hombre, en especial en las ramas de la ciencia y la Tecnología.

Ya los libros aparecidos en la década del setenta, no mencionan a las computadoras tímidamente, sino que suponen en su contenido que quien los lee y estudia sabe utilizarlas y sacarles provecho de una manera directa o indirecta y no son pocos los que tratan exclusivamente del uso de las mismas en una determinada disciplina. Se trata, pues, de un fenómeno del cual las universidades no pueden abstraerse pero ahora cabe preguntarse: ¿hasta qué punto o hasta qué nivel debemos dejar que las computadoras influyan en nuestros planes de estudio y en nuestro sistema de enseñanza? Creemos que es importante no caer en extremos, debemos hacer uso del computador sin llegar a depender exclusivamente de él; debemos eliminar la idea de que el computador es una máquina muy sofisticada para nuestro medio; debemos erra-

dicar la idea de que se trata de una máquina poderosa y misteriosa cuyo interior desconocemos y que tiene dos ranuras: una por donde introducimos un papelito con una pregunta y otra por donde sale un papelito con la respuesta, sin que en ninguna parte haya habido intervención o influencia del hombre. Debemos hacer perder el miedo a la misma e incentivar su uso sin caer en el otro extremo. Recuérdese que existen desarrollados muchos programas que permiten resolver problemas muy complejos y que sólo exigen la introducción ordenada de los datos, y esto en todas las ramas de la Ingeniería. El uso de esos programas nos permite obtener respuestas sin saber cómo se producen. ¿Debemos caer en esos excesos en el proceso de enseñanza y de formación de profesionales? ¿Estaríamos realmente FORMANDO profesionales si sólo los entrenamos en la introducción de datos al computador? ¿Acaso no estaríamos creando con ello una generación de esclavos del computador?

Es necesario actuar con cautela, orientar sabia e inteligentemente el uso del computador en la formación del Ingeniero Civil o de cualquier otro tipo de Ingeniero. Y es necesario ser cauteloso porque por otro lado se debe incentivar y extender el uso de esa herramienta cada vez más y sacarle provecho desde una hora temprana en el desarrollo de la carrera, pero sin llegar a niveles de irracionalidad, donde el estudiante no capte el sentido físico de la solución planteada. Es más formativa la enseñanza del método de Gross en los cursos básicos de Análisis Estructural que la enseñanza del programa STRESS, pues con el primero podemos lograr que el estudiante se imagine el hermoso proceso de cambio que tiene lugar al pasar la estructura de su etapa inicial con nudos perfectamente empotrados a su etapa final con nudos girados, desplazados y en equilibrio y puede sentir poco a poco la influencia que tiene el giro particular de un nudo, el nacimiento de los momentos asociados, los momentos que se transmiten hacia los nudos adyacentes y la influencia de la rigidez de cada barra. Nada de esto se siente ni se puede transmitir al estudiante con un programa como el STRESS.

No debemos, pues, erradicar de nuestros planes la enseñanza de los métodos clásicos; debemos comenzar por ellos,

formar la base con ellos y utilizar paralela o posteriormente al computador con herramienta. Debemos usar planteamientos matriciales para sintetizar vivencias ya adquiridas mediante procedimientos donde la matemática no sea un obstáculo entre el sentido físico del problema y quien trata de entenderlo. Consideramos un error hacer depender los cursos de formación del Ingeniero Estructural, por ejemplo, del análisis matricial de estructuras. Particularmente, nos ha tocado enseñar todos los cursos de Análisis Estructural de la Carrera de Ingeniería Civil de la UCMM y es en el tercero de estos cursos donde enseñamos Análisis Matricial de Estructuras y el Programa STRESS como parte de dicho cursos; en los demás planteamos los métodos clásicos como medio formativo y aunque incentivamos y exigimos la realización de algunos programas de computadoras, los mismos son un medio para hacer descansar en el computador la parte operacional del problema pues no debe olvidarse que para hacer un programa que resuelva un problema, primero es necesario saber resolver el problema manualmente.

En síntesis, creemos conveniente usar el computador como herramienta, racionalmente, sin desarrollar una relación de dependencia; simpatizamos con la elaboración de programas durante los cursos, pues los mismos exigen un conocimiento profundo y riguroso de la solución manual y desaconsejamos por alienante la utilización en los cursos básicos de programas ya existentes con los cuales puedan obtenerse resultados mediante la simple introducción de los datos correspondientes.

Tocando otros temas relativos a la formación del Ingeniero en general y del Ingeniero Civil en particular, no debemos dejar de mencionar la diferencia que existe entre lo que la sociedad exige a un recién graduado en un país desarrollado y a otro en un país subdesarrollado. En los países desarrollados existe plena conciencia entre los empleadores de la necesidad de entrenar a los egresados de las universidades antes de exigirles una madurez y un nivel de conocimientos y de rendimiento normales; se sabe que la Universidad provee una formación básica general, un esqueleto sólido pero sin

músculos cuyo desarrollo requiere tiempo, trabajo y orientación. Nuestra sociedad, en cambio, es exigente e injusta y pretende falsamente obtener de cualquiera que acaba de conseguir un título de Ingeniero, el mismo rendimiento, la misma madurez y la misma experiencia de quien tiene veinte años ejerciendo su profesión. Esto debe ser tomado en cuenta por las Universidades para orientar sus programas e incluir en los mismos materiales o sesiones de entrenamiento práctico, que le permitan al recién graduado ingresar a la vida profesional con los pies en la tierra. Creemos, sin embargo, que es peligroso debilitar el esqueleto en aras de desarrollar músculos; nunca debe desatenderse la solidez de la formación básica, pues de ella depende el posible desarrollo del profesional en niveles de conocimientos superiores, y, su posible incorporación a la sociedad con espíritu crítico y de cambio.

Entre un novato inexperto, pero con una formación básica sólida y otro que sabe cómo hacer las cosas y que funciona desde el principio, pero que tiene una formación básica débil, habrá ventajas a largo plazo, y no muy largo, para el primero, aparte de que poco a poco hará disminuir las relaciones de dependencia tecnológica y de todo tipo de que sufren los países como el nuestro.

No pretendemos haber desarrollado exhaustivamente el tema.

Sí creemos haber tocado algunos puntos importantes los cuales influyen tanto en la orientación de la carrera de Ingeniería Civil, como en la elaboración de las programas particulares de cada asignatura e inclusive en el comportamiento del profesor y del estudiante tanto en el aula como fuera de ella.