

LA FÍSICA Y EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA

Roberto Alexander, José Luis Fernández, Eduardo Piña.

Moderador: Gustavo Martínez-Mekler

PRESENTACION

La física y la ingeniería son disciplinas que históricamente han estado fuertemente relacionadas entre sí. En el caso específico de México basta recordar que la carrera de Físico comenzó a impartirse en el Palacio de Minería de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Actualmente, dada la sobreespecialización del trabajo intelectual impuesta por el mundo moderno, cabe replantearse cuál es la interrelación entre la física y la ingeniería. Esta pregunta cobra especial interés por su repercusión en el desarrollo tecnológico del país en momentos en que se busca aminorar la dependencia científico-tecnológica de México con el extranjero, y por su repercusión en la reestructuración de la educación superior que se viene implementando recientemente.

Una reflexión somera sobre el estado actual de la física y de la ingeniería en México sugiere que ambas disciplinas se enfrentan a problemas comunes en su desarrollo, problemas relacionados con la docencia, investigación, vinculación con el aparato productivo y con políticas de desarrollo científico y tecnológico. Con el propósito de que estos puntos fuesen tratados durante el "XXVII Congreso Nacional de Investigación en Física" celebrado en San Luis Potosí, la mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Física decidió abrir un foro de discusión sobre el tema "La Física y el Desarrollo de la Ingeniería" en la modalidad de una mesa redonda. Para tal efecto, la Sociedad Mexicana de Física invitó al doctor Roberto Alexander Katz, al ingeniero José Luis Fernández Zayas y al doctor Eduardo

Piña Garza como ponentes de esta mesa redonda.

El doctor Alexander Katz es investigador y profesor del Departamento de Física de la UAM-Iztapalapa, trabaja en el área de física de polímeros, donde ha realizado importantes contribuciones tanto en aspectos teóricos como experimentales. El doctor Fernández Zayas, es actualmente subdirector del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Como investigador se encuentra asociado a la Coordinación de Mecánica, Fluidos y Térmicas de dicho instituto, siendo sus especialidades ingeniería mecánica y transferencia de calor. El ingeniero Fernández es además profesor de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. El doctor Piña Garza participó en las discusiones en calidad de Gerente de Ciencias Básicas del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Actualmente es catedrático-investigador de la UAM-Iztapalapa asociado al área de mecánica del Departamento de Física. La experiencia profesional del doctor Piña es muy vasta, ha colaborado con diversos centros de investigación como son el Instituto Mexicano del Petróleo y la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN.

Los puntos de vista que se vertieron a lo largo de la mesa redonda, tanto por los ponentes como por el público asistente, si bien no resultaron ser conclusivos, si abrieron el camino a una discusión que esperamos sea extendida en un futuro cercano. Las confluencias y las discrepancias entre las dos disciplinas fueron resaltadas, las deficiencias en la formación profesional presentes en el actual aparato educativo se pusieron de manifiesto y los problemas de la relación entre el medio académico y el sector productivo se hicieron evidentes. A continuación se reproducen las ponencias de los participantes de la mesa redonda, en las cuales se tratan, entre otros, los temas arriba mencionados.

FOREWORD

Physics and engineering are disciplines that historically have been strongly interrelated. In Mexico the first physics degree courses were given at the Palacio de Minería of the Facultad de Ingeniería of the UNAM. Given the high degree of specialization imposed by the demands of our time, it is interesting to pose the question of the interplay between physics and engineering. The analysis of this point is particularly interesting in relation to the Mexican Government policy of reducing the scientific and technological dependence upon foreign countries. It is also important in connection with the changes in the higher education plans which are presently taking place.

A brief reflection on the present state of physics and engineering in Mexico shows that both disciplines face common problems in their development; problems related to teaching and research aspects, as well as their link with industry and influence on scientific and technological development policies. In order to discuss these topics the Sociedad Mexicana de Física programmed a panel discussion on "Physics and the Development of Engineering" for the "XXVII National Physics Congress" to be held in San Luis Potosí in November 1984. The invited speakers for this event were Dr. Roberto Alexander Katz, Dr. José Luis Fernández and Dr. Eduardo

Piña Garza.

Dr. Alexander Katz does research and lectures at the Physics department of the Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). He has worked on experimental and theoretical aspects of polymer physics. Dr. Fernández Zayas is subdirector of the Instituto de Ingeniería of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), he collaborates with the "Mechanics, Fluids and Thermal Research Coordination" of this Institute, and lectures at the Postgraduate Division of the Facultad de Ingeniería of the UNAM. Dr. Piña Garza is a researcher of the Physics Department of the UAM associated with the "Mechanics Group". Dr. Piña has an extensive professional career, he has worked among others at the Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, the Instituto Mexicano del Petróleo and the Escuela Superior de Física y Matemáticas of the Instituto Politécnico Nacional (IPN).

The points of view expressed by the invited speakers as well as the Congress participants initiated a discussion which we hope will be further developed in the near future. The confluences as well as the discrepancies between the two disciplines were exhibited, the deficiencies in the educational system were signalled, and the problems of relating the academic sector with the productive sector were made explicit. In the following pages, the contributions of the speakers (in which the above points are treated amongst others) are reproduced.

REFLEXIONES SOBRE LA FÍSICA APLICADA EN MEXICO

Roberto Alexander-Katz

En la gran mayoría de los países desarrollados, los físicos que de alguna forma se dice que hacen "física aplicada", lo hacen en unión a grupos multidisciplinarios ya sea en la industria o centro de investigación. En la mayoría de los casos su actividad no difiere mucho de lo que el físico "no aplicado" realiza en una universidad, salvo que el problema que investiga fue motivado o sugerido por un problema tecnológico. También en la mayoría de los casos, la relación con dicho problema tecnológico no se da en forma directa sino a través de otras disciplinas o grupos de trabajo multidisciplinarios. Este proceso de alguna manera selecciona la parte que le corresponde resolver al físico y por lo tanto éste desarrolla trabajo dentro de su campo profesional. El camino inverso también sucede, esto es, como consecuencia de un determinado trabajo surgen aplicaciones tecnológicas, sin embargo, el vínculo de dicho trabajo con el producto tecnológico final se establece a través de la concatenación de grupos o disciplinas mencionada. En consecuencia, la física aplicada en esos países es física vinculada al sistema productivo a mediano plazo.

En México poca es la industria que realiza desarrollo tecnológico propio y mucho menos es aquella que ha establecido centros de investigación y desarrollo. Entre las industrias que tienen centros de investigación tenemos a PEMEX con el IMP, la CFEC con el IIE, y recientemente industrias como Resistol, Negromex, Celanese Mexicana y otras. Aun así, PEMEX compra tecnología y servicios en mayor proporción de la que genera a través del IMP, y lo mismo se puede decir de casi toda la industria nacional. Esto tiene como consecuencia que las disciplinas directamente vinculadas con el desarrollo tecnológico no se hayan generado al nivel deseado, y mucho menos la física aplicada. Esta florece cuando la industria ha llegado a un grado de sofisticación en las cuales las ingenierías requieren, por ejemplo, de datos que no están en tablas, de instrumentos que no se pueden conseguir comercialmente, de materiales especiales, etc. En México, pocos son los casos en que se genera esa cade-

na de disciplinas y ésta plantea problemas de *física* a los físicos.

Ha habido ya muchos foros donde se ha discutido el porqué la industria nacional no genera desarrollos propios. Los industriales señalan que la infraestructura científico-tecnológica del país es muy precaria y que de esperar a que ésta se fortalezca, sus empresas se paralizarían, y por lo tanto se ven en la necesidad de comprar paquetes tecnológicos; además, a corto plazo, esta política resulta ser más económica ya que impulsar grupos de investigación resulta ser muy costoso, en especial cuando éstos nada más se requieren para un proyecto. A su vez la comunidad científica-tecnológica imputa a la política seguida por el sector industrial, como una de las razones por la cual no se crea esta infraestructura en nuestro país. Si bien éste es un círculo vicioso, esto poco a poco se viene rompiendo, ya sea por situaciones coyunturales como la crisis que fuerza a las industrias a hacer su propio desarrollo, por la saturación del mercado nacional que obliga a buscar mercados internacionales que exigen normas de calidad que a su vez obliga al sector industrial a generar desarrollo, por iniciativas del estado de impulsar diversas disciplinas en universidades y sus centros de investigación, o bien por la propia iniciativa de los investigadores en orientar su actividad profesional a cubrir los vacíos que los programas indicativos industriales requieren.

En un futuro inmediato, es de fundamental importancia para la física en México que las diversas ramas de la ingeniería se incorporen plenamente a las tareas de investigación y desarrollo. En especial la coyuntura actual se presta para que eso se dé en relativo corto plazo, ya que la crisis actual no es pasajera y la industria quizás por primera vez está entendiendo la necesidad de crear sus propios centros de investigación. En la primera etapa, la industria requerirá en su inmensa mayoría hacer desarrollos a nivel de ingeniería, sin embargo, no pasará mucho tiempo en que, para su desarrollo, requieran de disciplinas como la física, química básica, etc., y si éstas no se cultivan paralelamente, representarán en un futuro un cuello de botella. Por esa razón, los físicos interesados en vincularse con el desarrollo tecnológico de la industria mexicana tendrán que abordar temas clave de física o bien disci-

plinas afines que van a ser requeridas a mediano o largo plazo.

En pocas palabras, el físico aplicado en México, no será en esta etapa necesariamente aquel cuyo trabajo está vinculado al sistema productivo sino que su trabajo está orientado por una política de desarrollo industrial.

LA FISICA Y EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA

José Luis Fernández

Huelga repetir lo que es bien sabido con respecto al tema de esta mesa, y acentuar la dependencia mutua de esas dos tareas. Queda claro que el éxito con que una sociedad equilibre la intensidad y dedicación a cada una de estas disciplinas determinará valores tan apreciables como la madurez técnica, la independencia tecnológica y la estabilidad económica que de ella se deriva. Administradores académicos responsables han procurado balancear los objetivos a corto plazo, dentro de un proyecto a largo plazo; así, han intentado estimular con intensidad equivalente el desarrollo de las ingenierías y de las ciencias fundamentales en que éstas se apoyan. Pocas veces, desgraciadamente, ha sido exitosa esta tarea.

Ha quedado en el pretérito de la crisis que vivimos la época gloriosa de la ingeniería de catálogo, de normas, gráficas y nomogramas. No es posible enfrentar los retos actuales del desarrollo sin la participación de profesionales bien entrenados en los conceptos fundamentales de la ciencia.

Conviene apuntalar este concepto con algún ejemplo reciente. Para no repetir ejemplos gloriosos de la ingeniería civil, recuérdese el reto que enfrenta el ingeniero ambiental mexicano con respecto a la urgencia de reusar el agua. La antigua ingeniería sanitaria, preocupada por enterrar, exportar o desaparecer los residuos líquidos y sólidos de la actividad humana, ha dado paso a una vigorosa e imaginativa empresa interdisciplinaria, que pretende reproducir e intensificar la capacidad de la naturaleza para purificarse. Los problemas físicos, químicos y biológicos que surgen cada día demandan contingentes técnicos crecientes en calidad y número, con un buen entendimiento de esas áreas del saber.

Ocurre algo parecido en la necesidad de desarrollar las fuentes de energía no tradicionales. El manejo adecuado de la geotermia, por ejemplo, depende de un cabal entendimiento de los procesos termodinámicos y geoquímicos en los yacimientos, donde las condiciones físicas son

continuamente cambiantes, a un ritmo intrigante; conocimientos que también se requieren en la conducción y transformación del flujo bífisico en potencia eléctrica. La riqueza de sólidos en las aguas geotermales son simultáneamente la promesa de vasta riqueza mineral y jaqueca ecológica.

Ya no es posible acudir a alguna empresa internacional, de esas que ofrecen desde "paquetes tecnológicos" hasta plantas "llave-en-mano", para que nos resuelvan muchos de nuestros problemas. La razón es bien simple: nadie tiene la solución a mano; o la generamos nosotros o seguiremos pagando permanentemente el alto costo de la dependencia y la inferioridad técnica. Y este alto costo-es obvio-no está dispuesto a pagarlo la sociedad moderna. Ya no satisfaremos nuestras necesidades tecnológicas con catálogos ni libros comprados en el extranjero: tenemos que generar el conocimiento propio de nuestra naturaleza y de los medios, ajustados a la realidad del país, para mejor transformarla en nuestro beneficio.

Tristemente, las vocaciones de los ingenieros jóvenes parecen distanciarse cada vez más de las necesidades del país y se orientan al empleo experto de herramientas (v. *gr.*, la ingeniería en computación) o a las áreas más glamorosas, como las ventas, la producción, el mantenimiento y el manejo de información. Frecuentemente se justifica esta desbandada aduciendo que la brutal diferencia de sueldos es la única responsable del fenómeno.

Yo pienso distinto. No creo que la vocación se defina, más que en un mínimo grado, por el incentivo salarial. Diversos estudios indican que la definición vocacional surge tanto de inclinaciones naturales como de la educación individual. Tal vez sobre las primeras haya poco qué hacer, mas no es así sobre las segundas. Al muchacho que ambiciona, desde su infancia, convivir continuamente con animales, se le adivina vocación veterinaria; pero, ¿cómo esperar que surjan biotecnólogos de entre bachilleres que jamás escucharon la palabreja?

Vivimos un momento académico curioso: se empieza a diseminar por todo el país el ejemplo de la UNAM para formar centros de investigación "de excelencia" desvinculados de la labor docente. Todavía hay mucha

gente que piensa que el problema de la generación del conocimiento nuevo no tiene nada que ver con impartir conocimientos. Se acepta todavía que los centros de investigación y desarrollo pueden nacer, crecer y reproducirse sin morir, todo esto en lugares vacunados contra el mundanal ruido de las facultades y escuelas. Y luego nos extraña que los nuevos investigadores vienen cada vez más frecuentemente de dos grupos principales: los mexicanos entrenados en el extranjero, porque aquí "no se puede" (por mil razones), y los nacionales de otros países. Estos dos grupos deben, no sólo subsistir, sino crecer, y en forma acelerada; sin embargo, es claro que todos saldríamos ganando si la proporción de expertos en todas las ramas, hechos en México, crecieran en calidad y cantidad.

Parece que también por este raciocinio se cae en la necesidad vocacional. En el país nos estamos saturando de profesionales en las áreas tradicionales, donde el proceso de "hacer escuela" está bien establecido, y simultáneamente perdemos presencia en áreas vitales de la física y las ingenierías.

Si los aspectos hasta ahora mencionados se observaran en forma coherente, pueden ser todos facetas distintas de un solo mal, complejo y añoso. Países más viejos, que han pasado por épocas difíciles para la relación academia-industria, coinciden en señalar experiencias que, en alguna medida, deben sernos de utilidad: sucintamente, la docencia y la investigación son inseparables; un plan racional de desarrollo industrial lleva de la mano a un plan racional de desarrollo académico; los esfuerzos en la física deben ser balanceados con los de ingeniería.

Pero quisiera terminar con una mención más al aspecto que me parece medular: al de la docencia, o lo que es lo mismo, al de la formación de verdaderas vocaciones técnicas y científicas. Aquí también hay necesidad de repensar el equilibrio; no ha sido exitosa, la decisión de dejar la orientación de los esfuerzos nacionales a gentes preocupadas por sólo el corto plazo, los "pragmáticos". Hace falta involucrar, cada vez más, a gentes entrenadas en lo más fundamental: los científicos.

LA FISICA EN EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA

Eduardo Piña Garza*

La ingeniería puede ser definida como física aplicada, pero ésta será una definición incompleta. La ingeniería es mucho más.

Frecuentemente en ingeniería se formulan modelos que sirven para analizar la solución de problemas humanos, en donde se pueden requerir conocimientos de todos los campos del saber: las ciencias biomédicas, las ciencias sociales y las llamadas ciencias exactas, además de técnicas humanas de liderazgo y convivencia.

La ingeniería utiliza *in extenso* todo el poder de la computación para estimar la solución a los problemas que se plantea. Por eso parametriza y cuantifica la actividad humana. Los requisitos de salud y seguridad humana son su preocupación. La funcionalidad de costos y la satisfacción de los requerimientos legales están siempre presentes en sus proyectos.

Estos ejemplos, tomados de las ciencias biomédicas y sociales, constituyen algunos de los instrumentos cotidianos del ingeniero, pero su herramienta más usada es la computación matemática aplicada a predecir la conducta del modelo que sirve para representar la solución que él propone a un problema definido; y el ingeniero tiene confianza en que el modelo simula satisfactoriamente a este último. El siguiente paso será realizar dicha solución, optimizada por medio de la retroalimentación.

El problema a resolver siempre exige restricciones, además de que la solución no es única. La solución que se acepta es una solución de compromiso para optimizar las restricciones en términos de parámetros cuantizables, tales como más calidad, más seguridad, menos costo, etc. Mucho de todo esto se aprende en los estudios de ingeniería. Mucho más se aprende y se vuelve a aprender en la práctica profesional.

Aunque un ingeniero conoce mucho de la dinámica de la sociedad, conoce mucho más de las propiedades y la conducta del mundo físico que

* Con licencia sabática de la UAM Iztapalapa.

nos rodea: su estructura, leyes y dinámica. La física está ahí, en muchos lugares, en muchas ocasiones. Cuando la ingeniería da un paso adelante, frecuentemente la física está ahí. El ingeniero entiende a la energía y sabe usarla con eficiencia. El ingeniero descubre analogías entre los diversos sistemas y reproduce conductas en modelos para propósitos diversos. El ingeniero posee conocimientos sobre las propiedades y comportamiento de los materiales frente a cambios externos. La física la volvemos a encontrar a cada paso que da el ingeniero.

Existen especialidades de la ingeniería para permitir al profesional dominar su campo sin exagerar su extensión. Algunos de ellos son los ingenieros topógrafos y geodestas; los ingenieros eléctricos, químicos y geólogos; los civiles, hidráulicos, mecánicos, petroleros, hidrólogos, biomédicos, ambientales, industriales, militares, electrónicos, metalúrgicos, etc., etc.

Del ingeniero podemos esperar maquinarias y equipos complejos; podemos esperar carreteras, aeropuertos, líneas de conducción y transmisión, canales, plantas petroquímicas, camiones, fundidoras, presas, estudios cartográficos, puentes, torres de destilación, ferrocarriles, etc., etc.

En sus estudios e investigaciones, en sus diseños y realizaciones, en todas sus obras la física está ahí. El ingeniero usa la física y la aplica. La conoce y este conocimiento le permite resolver problemas humanos que requieren también de muchos otros conocimientos.

El ingeniero es eminentemente pragmático; debe resolver problemas en tiempos predeterminados y con limitaciones y requisitos varios. Sus soluciones deben ser prácticas y, por ello, estimará de la física el que ésta le proporcione los conocimientos más adecuados a la solución de un problema. El ingeniero es: un usuario exigente de la física.

El ingeniero quiere saber lo necesario para resolver su problema, pero no requiere saber toda la física. Requiere lo suficiente para resolver de la mejor manera sus problemas. En muchas ocasiones el problema de una firma de ingeniería consiste en diseñar y construir un proceso complejo. No se fijará entonces en los detalles que podría dominar un físico. Toma el problema en su conjunto. Construye una planta piloto. Entonces el ingeniero se transforma en el físico que descubre la dinámi-

ca de su planta piloto aplicando con generosidad todos los conocimientos del análisis experimental y de la estadística matemática, hasta que domina el comportamiento de la planta y sigue adelante. Nunca dará el tiempo que pide a veces el científico para obtener resultados.

Si quieren dar a un ingeniero el mejor regalo, entonces denle el conocimiento científico riguroso y probado que resuelve su problema.

Pero hay tantos tipos de ingeniero, y éste hace tantas cosas diferentes, que resulta una demanda enorme e imposible de satisfacer toda la ciencia física que nos pide nuestro amigo el ingeniero. Si no se la damos, el ingeniero desconfiará en la medida que desconozca nuestro trabajo y lo difícil que representa descubrir principios y leyes generales que se apliquen en todos los campos de la ingeniería. Y sobre todo, lo difícil de predecir, a partir de primeros principios, la dinámica de procesos complejos y mal conocidos.

El ingeniero es útil. La física que utiliza cotidianamente el ingeniero también es útil. Esta física se fabrica con un esfuerzo creativo lento y complejo. Lo que no se conoce no es útil. Pero el esfuerzo de transformación y manufactura de la ciencia, para pasar de lo ignoto a lo práctico, lo realiza la física. Este también es un trabajo valioso e importante. Su importancia proviene de poder ayudar al ingeniero a realizar su quehacer. Desde luego que ésta no es su única importancia.

Sería muy fargo señalar toda la importancia de la física, pero no quiero dejar de indicar aquí que si algo no se sabe tampoco se puede utilizar. Además, la capacidad de saber y poder realizar lo que otros países saben, pueden y hacen, es un ingrediente esencial de estabilidad emocional de una patria, y de confianza en su destino y de estimación de su identidad. En esta labor van de la mano la ciencia y la ingeniería en busca de la independencia nacional. Esta búsqueda debe ser racional, porque la independencia tecnológica sólo puede ser resultado de un esfuerzo colectivo de la mayoría de los científicos e ingenieros mexicanos con apoyo efectivo del sistema político y de la sociedad republicana.

Estas palabras les sonarán algo políticas y anuncian que me salgo del tema. En realidad desde hace unos minutos trato de entrar al tema de la ciencia y la técnica para lograr la independencia tecnológica.

La independencia tecnológica no se logrará solamente con el deseo sincero de los ingenieros honrados mexicanos; que son la mayoría. De ser así, ya se hubiera logrado.

Falta un esfuerzo de coordinación, y éste, aunque está en el deseo de algunos funcionarios, carece del motor simple que lo produce.

En mi opinión tal objetivo de la independencia tecnológica es una meta que requiere de un incentivo simple, pero claro, de un destino nacional.

En pocas palabras: se logrará dicho objetivo cuando se vea que el único camino aceptable por encima de las ideas personales es el bien de la patria. Insisto: *por encima del bien personal*. Cuando estemos dispuestos a concurrir con solo esta bandera a una batalla que podremos ganar porque seremos todos los mexicanos peleando en nuestra patria por nuestra patria. Esta batalla no se está dando y cuántos de nosotros traicionamos a México por nuestro beneficio personal o de grupo.

Ahora debo detenerme aquí.

Ayer estuve en casa de Manuel José Othón, el gran poeta potosino, y lo fui a visitar porque cumplía 78 años de muerto y me dijo:

"Coge la lira de oro y abandona el tabardo, descálzate la espuela, deja las armas, que para esta vela no es menester ni daga ni tizona".

Cuando lo leí entendí que no debería traer conflicto a esta mesa. Cuando lo volví a leer para traerlo aquí entendí que hablaba del Quijote.

Ya sé que somos un país pobre en educación y con defectos que nos cierran el camino, pero tengo una fe muy grande en los profesionistas mexicanos que en su mayoría van a transformar al país en próspero y a conducir a la Nación en viaje a la independencia. En ese camino los ingenieros irán primero con los físicos.

En la construcción del México con futuro, junto a nuestro deber personal y nuestro auténtico quehacer, debe siempre estar la defensa de los intereses de México. Una renovación de nacionalismo es indispensable para coordinar las acciones, lograr la mutua colaboración y recuperar el rumbo. Sin este principio la independencia tecnológica no existe, porque no se explica independencia de qué entidad respecto a qué otra.

Si quieren que los ingenieros y científicos nos unamos para reali

pláticas invitadas