

Tareas para los Físicos en la Industria Colombiana

GABRIEL POVEDA RAMOS

En este artículo se destaca la importancia de la industria como factor de progreso no sólo económico sino tecnológico, y se anotan las dificultades que en Colombia encuentra para cumplir este papel. Se mencionan temas específicos de investigación en física aplicada para la industria, especialmente aquellos referentes a mecánica de materiales, flujo de fluidos, rozamiento sólido, física del estado sólido, reología, teoría de la elasticidad, conducción de calor, convección, efectos termoelectrónicos, conducción en gases, radio isótopos, neutrones térmicos, vibraciones, modelos y otros. Finalmente, se subraya la importancia de la presencia de los Físicos en el planeamiento y dirección de la industria, y se mencionan sus posibles roles en tareas empresariales concretas, en funciones tales como planificación industrial, normalización, selección de tecnologías, elección de materiales, diseño de productos, etc.

1. INTRODUCCION

1.1. Universalmente se reconoce que la industria es el sector económico que contribuye más eficazmente al progreso técnico, y que, a su vez, se puede aprovechar más del mismo. Sin embargo, esta observación se presta a excepciones en países que, como el nuestro, han creado una industria a base de tecnología totalmente importada (en sus equipos, en sus procesos, en sus operaciones, etc.), y cuyas actividades son en su mayor parte actividades de trans-

formación o elaboración de materias primas naturales, con una proporción más bien baja de valor agregado. Tal es el caso de nuestro país, en donde hemos ido adoptando procesos industriales en los que la relación capital-mano de obra va siendo cada vez mayor, por provenir de países en donde abundan los recursos financieros y escasean o cuestan los de trabajo humano.

1.2. El procedimiento fundamental de que se ha servido nuestra industria para dotarse de tecnología extranjera ha sido la adquisición de patentes pagadas a base de regalías, a veces en condiciones francamente inconvenientes para el país, y cuyo costo anual le representa hoy una erogación que puede estimarse entre 15 y 16 millones de dólares al año. Esta cifra no incluye otras sumas pagadas por remuneraciones y servicios técnicos, y que superan en total a los cuatro millones de pesos anuales.

1.3. Para llegar a obtener un mínimo de autonomía y capacidad tecnológica propia, la industria colombiana requiere una vasta labor de investigación orientada hacia tres grandes finalidades: a) Adaptar tecnologías originarias del exterior a las condiciones propias de nuestro medio para asimilar la adopción de conocimientos exógenos. b) Crear y desarrollar técnicas de producción auténticamente colombianas, es decir, hacer innovación endógena en industrias ya existentes. c) Identificar procesos y materiales colombianos adecuados para crear nuevas industrias en nuestro territorio y con nuestros recursos. Es ésta una tarea urgente a la cual debe dársele la más alta prioridad en cualquier programa de fomento industrial, y de cuya importancia crucial los gobiernos colombianos tienen que tomar conciencia.

1.4. Prácticamente no hay en Colombia investigación tecnológica a nivel de empresa industrial. Es cierto que existen algunas pocas empresas e instituciones que han realizado valiosas investigaciones, como Bavaria, la Federación de Cafeteros, el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, el Laboratorio Químico Nacional, el Instituto de Asuntos Nucleares y el Instituto Agustín Codazzi. Pero su trabajo adolece de descoordinación, de falta de programación conjunta y de excesivo particularismo en cuanto a los temas estudiados. Es notoria la ausencia de apoyo a la investigación técnica por parte de entidades que debieran hacerlo, como ocurre con los bancos de fomento, las Corporaciones Financieras y el Banco de la Re-

pública. Es increíble por ejemplo que este último no realice ni patrocine ninguna investigación en Colombia en gemología o natroquímica, la cual podría redundar en su propio y exclusivo beneficio.

2. TEMAS DE INVESTIGACION EN FISICA APLICADA PARA LA INDUSTRIA

2.1. En la industria manufacturera colombiana, como en la de cualquier país, existen muchísimos problemas tecnológicos o económicos que requerirían para resolverlos, diversas formas de investigación que corresponden a la Física y a los físicos. Si ésto aún no se hace es porque los industriales no tienen aún una idea clara de lo que esta ciencia y sus profesionales pueden hacer por ella. Y ésto se debe precisamente a que los físicos colombianos no han podido identificar con exactitud cuáles son aquellos problemas ni mostrar en forma efectiva su indudable capacitación para ayudar a resolverlos. Por eso en este documento nos proponemos señalar algunas de esas cuestiones, al menos las más importantes.

2.2. Diversos problemas de la mecánica de materiales pulverulentos se presentan en numerosas industrias en donde ocurren operaciones de movimiento de materiales sólidos a granel. Entre ellas están la molinería, los ingenios azucareros, las industrias de drogas, la fabricación de cemento, la de vidrio, las cerámicas, la de fertilizantes, la de carbón, la de maderas, etc. Como se sabe el conocimiento teórico sobre el flujo de materiales pulverizados es aún muy precario. Inclusive los estudios empíricos sobre estos fenómenos no son aún lo suficientemente extensos como para permitir la solución adecuada de dificultades técnicas como la de la compactación de materiales, la oclusión de conductos, las distribuciones de tensiones, la diferencia entre flujo y arrastre, los balances de energía para el movimiento de estos materiales y otras por el estilo que aquejan a varias fábricas.

2.3. Se requieren investigaciones extensas en la hidrodinámica de líquidos reales y de materiales semi-fluidos o análogos, para poder atender a problemas específicos que se presentan en las industrias de cervecería, de bebidas, de gases industriales y de productos químicos. En muchas de estas plantas se afrontan trastornos

en la conducción de líquidos que ponen a prueba el conocimiento que existe sobre la dinámica de fluidos.

La dinámica del flujo de fluidos en medios porosos insuficientemente conocidos, en general, es el campo dentro del cual hay que examinar algunos procesos muy utilizados en las industrias de cervecería, alimentos, bebidas, tratamiento de aguas y gases industriales, que suelen ser fuente de pequeños problemas técnicos tales como obstrucciones, sedimentación e incrustación que afectan a las piezas de los equipos en dichas industrias:

2.4. Aunque los físicos parecen creer que el fenómeno del rozamiento sólido está suficientemente conocido desde que Amon-ton y Coulomb formularon sus conocidas leyes empíricas, la realidad es que la teoría y la experimentación analizada acerca del mismo son aún bastante incompletas. Numerosos problemas en las industrias metalmeccánicas, en las de minerales y en casi todas las restantes, exigirían un mejor conocimiento del mecanismo y de los medios de prevención del desgaste por rozamiento sólido con el fin de eliminar o de reducir dificultades o pérdidas causadas por los efectos de la erosión y de la corrosión sólida.

2.5. El extraordinario desarrollo de la física del estado sólido en los últimos dos lustros ha reabierto amplios campos al estudio de la cristalografía. Gracias a ella ha renacido el interés por los cristales naturales, los macrocristales y las gemas. Basta citar, por ejemplo el rubí como componente central del lásser. La riqueza colombiana de minerales y de gemas, debiera movernos a participar en el estudio de las aplicaciones tecnológicas de estos materiales y de las propiedades físicas y químicas de los materiales cerámicos. Hoy no es posible hacer una industria electrónica que no sea superada a la tecnología exterior si no se dispone de conocimientos básicos y de experiencia técnica en la física del estado sólido.

2.6. La reología, ciencia de los últimos 30 años tiene todo por estudiar entre los productos de nuestra industria. Necesitamos conocer las propiedades mecánicas, las características elastoplásticas, las características térmicas y las demás propiedades específicas de casi todo lo que fabrica nuestra industria: plásticos, cerámicas, cemento, monómeros, fibras celulósicas, fibras sintéticas, artículos de caucho, vidrio, metales, maderas, textiles, etc. Sin estos conociemien-

tos no es posible cumplir una tarea de normalización adecuada para nuestros productos industriales, ni establecer un sistema efectivo satisfactorio de inspección pública de calidades.

2.7. En relación con el tema anterior cabe señalar que en las industrias de maderas, fibras celulósicas, fibras artificiales y resinas, existen varios problemas que desafían la formulación clásica que conocemos de la teoría de la elasticidad. Estos problemas —que deberían llamarse problemas cuasi-elásticos— aún no han sido sometidos a una formulación matemática adecuada y podrían dar lugar a la elaboración de un capítulo novedoso de la teoría de la elasticidad. Además de las ecuaciones en derivadas parciales que seguramente requiere su tratamiento, tendría que hacerse uso de las ecuaciones integrales que aparecen siempre en el estudio de los problemas llamados "hereditarios" de los sistemas físicos "con memoria".

2.8. Sólo en los últimos 10 años ha comenzado a estudiarse con cierta profundidad los problemas de la conducción del calor en sólidos no lineales y/o en sólidos inhomogéneos. Estos fenómenos están regidos por ecuaciones diferenciales más generales que la conocida ecuación de Fourier, y cuya solución, por lo tanto, también es más difícil de establecer por los métodos convencionales. Sin embargo, es posible obtener soluciones numéricas utilizando algoritmos conocidos del análisis numérico, debidamente programados para computador, que permitirían facilitar el diseño eficiente y económico de hornos industriales, aislamientos térmicos, y otros dispositivos, así como investigar algunos efectos locales en los sistemas de refrigeración y las propiedades antitérmicas en materiales aislantes autóctonos.

2.9. Observaciones análogas pueden hacerse sobre la convección térmica, de la cual se encuentran numerosos ejemplos que requieren un estudio más pormenorizado para comprender cabalmente sus efectos en calderas, procesos químicos, cavas de cervecería, autoclaves y equipos de refrigeración, todo lo cual utilizan las industrias de alimentos, cervecerías, lácteas, ingenios, licoreras, químicas, metalúrgicas y otras.

2.10. Los efectos termo-eléctricos y las posibilidades que ofrecen de ellos (tales como el efecto de Seebeck) para diseñar y construir unidades pequeñas y muy económicas de refrigeración, son

en Colombia tan solo una noticia, cuya aplicación entre nosotros hay que desarrollar. Es posible que en los sistemas termo-eléctricos de refrigeración resida la única posibilidad de diseñar un refrigerador doméstico liviano, transportable y sumamente económico, que pueda ponerse al alcance de la población campesina del país.

2.11. Varios procesos electrotérmicos que se usan en la industria, tales como la fabricación de cianamid cálcica, la de carburo de calcio y la fusión eléctrica de aceros, plantean diversos problemas que se refieren a la conducción eléctrica en gases en atmósfera a altas presiones y temperaturas y fuertemente inhomogéneas. Entre ellos están el estudio teórico de las características de voltaje-corriente, las leyes empíricas o teóricas de disipación de energía, el cálculo teórico de los elementos de impedancia, los efectos termoquímicos y electroquímicos secundarios, etc. etc. En ésto hay un vasto territorio de investigación y desarrollo aplicable.

2.12. Es casi redundante hablar sobre la infinidad de aplicaciones posibles de los isótopos en la industria. El estudio estructural de aleaciones, cristales, soluciones, polímeros, y toda clase de materiales, tiene en esta técnica su más eficaz herramienta. Hasta ahora, y excepción hecha de los trabajos del Instituto de Asuntos Nucleares, el uso de estos métodos está poco generalizado entre nosotros. Con ellos podrían estudiarse temas de tanto interés teórico y de tanta importancia práctica como la polimerización de resinas sintéticas, el fraguado del concreto, la sinterización de minerales, el comportamiento de las macromoléculas en fibras textiles naturales y artificiales, y otros muchos.

2.13 En un país en que la mitad de la población o más, padece de estados agudos o crónicos de desnutrición, los métodos de conservación de alimentos debieran tener la más alta prioridad en investigación y fomento. Como bien se sabe la irradiación con neutrones térmicos ha sido uno de los métodos investigados en otros países que mejores resultados ha dado en la preservación de las características nutricionales y organolépticas de toda clase de alimentos, especialmente los de origen animal. En Colombia sólo se ha estudiado ocasionalmente, por vía experimental, sin que se haya pensado nunca en implantarla a nivel industrial. Es cierto que estos procedimientos aún ofrecen algunas objeciones biológicas y tienen dificultades técnicas, pero justamente por eso necesitamos profundi-

zar las investigaciones para conocerlos mejor y para tratar de aplicarlos a escala industrial.

2.14. Todas las industrias utilizan máquinas, herramientas, vehículos, estructuras, y partes móviles sujetas a vibración. Esto produce fatigas mecánicas que reducen la vida útil de dichos bienes de capital. Por esta circunstancia el estudio y la aplicación tecnológica de la teoría de vibraciones lineales y no-lineales podría conducir a desarrollar dispositivos y métodos para prevenir las vibraciones mecánicas y sus efectos, con los consiguientes beneficios económicos representados en la prolongación de la vida útil de los equipos. Este resultado sería particularmente interesante en Colombia en donde la legislación tributaria ha establecido un régimen particularmente anti-técnico y restrictivo para la amortización de los bienes de capital.

2.15. Las investigaciones sobre modelos y maquetas, que tan fructíferas han resultado en la solución de problemas de la hidrología y la hidrodinámica, prácticamente nunca se han ensayado en Colombia para otros problemas. De ellas podría beneficiarse muy ampliamente la industria de la construcción, que mediante el estudio de las características mecánicas y geométricas de modelos adecuadamente diseñados, puede resolver problemas estructurales y económicos que permitan mejorar la productividad de dicha industria, la cual hoy es tan baja, y reducir sustancialmente sus elevados costos.

3. POSIBLES FUNCIONES DE LOS FISICOS EN LA INDUSTRIA

3.1. Comúnmente se cree entre nosotros que el físico es un profesional de gabinete o de laboratorio, incompetente para asumir responsabilidades importantes, en tareas industriales que requieren una gran capacidad de decisión. Sin embargo, como bien se sabe en países ampliamente industrializados los físicos como otros científicos, llegan a alcanzar las más altas posiciones en el escalafón de responsabilidades de toda clase de empresas industriales o de servicios.

3.2. Para que en Colombia esta profesión pueda llegar a alcanzar la amplia difusión que merece, y para que sus miembros pue-

dan llegar a cumplir las tareas en que podrían colaborar muy útilmente, es necesario sin embargo adecuar los programas de formación para darles a nuestros físicos actuales y futuros, mayor versatilidad y universalidad. De no hacerse así continuarán siendo desplazados en alguna medida por ingenieros, químicos, u otros profesionales más adaptables a las condiciones de trabajo en la industria.

3.3. De todas maneras, es importante señalar las numerosas posibilidades que una industria en crecimiento, como la industria colombiana, puede ofrecer a los profesionales de esta ciencia, cuya preparación y personalidad los ponga en condiciones de aprovecharlas.

3.4. El campo de más variadas oportunidades de investigación y desempeño profesional para un físico en la industria está sin duda en el de las operaciones unitarias de la tecnología industrial. Respecto a ellas puede desempeñarse en el diseño de equipos, en la operación de sistemas de instrumentación y control, en la optimización de sistemas, en la selección de materiales, en la definición de características de operación, en el desarrollo y la innovación de productos, y en la aplicación de normas.

3.5. Algo análogo puede decirse de los procesos químicos industriales, en los cuales el físico debería participar en el diseño de reactores, en el establecimiento de condiciones de operación, en el perfeccionamiento y optimización de los procesos, y en el estudio de materiales de construcción.

3.6. La selección de tecnologías adecuadas a las condiciones de nuestro país es una tarea de la mayor importancia a la cual nuestra industria no ha dado la suficiente atención pero es necesario emprenderla cuanto antes. En ella los físicos deberían intervenir identificando materias primas autóctonas disponibles, estableciendo las condiciones de operación aceptables para los equipos, señalando los requerimientos de trabajo humano, dimensionando adecuadamente la capacidad de producción, investigando la posible sustitución de insumos, y adaptando materiales, procesos y equipos a las circunstancias locales de nuestra industria.

3.7. En Colombia se pagan considerables sumas de divisas por patentes que amparan el diseño de productos de toda clase: desde automóviles y transformadores eléctricos hasta muebles y ves-

tuario, casi todos los renglones de producción industrial del país tienen que sufragar este extracosto. Por eso es necesario impulsar al máximo el diseño de productos industriales con características propias, teniendo en cuenta la existencia de materias primas locales, sus propiedades mecánicas y las posibles aplicaciones de los artículos. En esta tarea los físicos podrían desempeñar un papel central de mucha importancia.

3.8. El control de calidad es una función aún muy insuficientemente generalizada en la industria nacional. Es necesario ampliarlo mucho más, perfeccionar sus métodos, y extenderlo a las industrias que elaboran bienes de capital. En el caso de productos de mayor complejidad tecnológica, numerosos aspectos de esta función requieren la intervención investigativa o de aplicación de los físicos, particularmente en la especificación de las propiedades físicas y las dimensiones de los productos.

3.9. La sanidad ambiental, la seguridad industrial y la ingeniería humana son otros aspectos en los cuales existen numerosos problemas que deben resolverse. Es necesario señalar en muchas industrias colombianas cuales son las condiciones tolerables de atmósfera de trabajo en términos de humedad, dimensión, toxicidad, humos, temperatura y estado eléctrico. Es bien sabido que estas condiciones afectan marcadamente la productividad de trabajo y que, por supuesto, de ellas depende la seguridad y el bienestar del elemento más importante de toda actividad, a saber las personas que en ella participan. Esto, sin embargo, exigirá investigaciones físicas más amplias para resolver algunos de estos problemas.

3.10. Gracias al Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Icontec, ya se ha abierto paso la idea de que necesitamos realizar una vasta tarea de elaboración de normas de toda clase para procesos y productos industriales. El mismo Icontec ha realizado una gran labor, pero no puede esperarse que él solo la cumpla en su totalidad. En gran parte debiera ser la misma industria la que realizara este cometido, en el cual sería necesaria la intervención no solo de ingenieros y economistas, sino de químicos en forma muy activa.

3.11. Otro campo de ejercicio profesional de mucho interés es el diseño de plantas, especialmente en el de estructuras en la esquematización de flujo de materiales, en la especificación de con-

diciones para instalaciones auxiliares y en el señalamiento de condiciones de trabajo.

3.12. En un futuro más o menos próximo, la dirección superior de nuestras empresas industriales requerirá la asesoría técnica de esta profesión para evaluar procesos, para elegir tecnologías, para identificar nuevos productos, para analizar nuevas materias primas, para encontrar y valorar oportunidades de inversión y en general para colaborar en la adopción de decisiones técnica y económicamente óptimas en el más alto nivel de dirección de las empresas.

3.13. La función de las ventas en nuestra industria hasta ahora, ha incorporado la participación del personal técnico en muy pequeño grado, y casi en ninguna medida de personal científico. Pero a medida que se intensifica la competencia, crecen los mercados, se diversifica la demanda, y se construyen artículos más complejos, será necesario vincular profesionales de estas especialidades a la labor de formular especificaciones técnicas de productos, garantías de durabilidad y/o de eficiencia, relaciones óptimas de costo/calidad, usos de productos, y otros estrechamente vinculados con la comercialización de artículos manufacturados.

4. CONCLUSIONES

4.1. En Colombia la investigación de carácter general en física, y en especial la que se refiere a problemas de interés industrial, se caracteriza por los siguientes rasgos esenciales:

- Es esporádica, limitada en sus alcances y está representada en muy pocos trabajos concretos, que se adelantan en forma dispersa y descoordinada entre sí.
- Carece prácticamente de enlaces firmes y fructíferos con la realidad económica y social del país y de nuestro pueblo.
- En muchos casos responde a cometidos fijados desde afuera y los resultados no quedan a disposición del país sino de gobiernos y empresas extranjeras.
- No tiene apoyo firme, continuado y eficaz del Gobierno ni de la industria.

- Adolece de descoordinación, no tienen organización a nivel nacional y no responde a ningún plan o propósito central.
 - El número de físicos e ingenieros idóneos es inferior al 0.1 por mil de nuestra fuerza laboral, y es totalmente insuficiente tanto en número como en preparación adecuada.
 - Prácticamente no tenemos investigadores de categoría internacional.
 - Por esta razón o por carencia de sentido de responsabilidad con la comunidad, muchos físicos han emigrado y siguen abandonando el país, con gran perjuicio para éste.
 - La industria depende totalmente de tecnologías foráneas, paga cuantiosas regalías (a veces por marcas o patentes triviales), no acude a las universidades en busca de ayuda científica y no utiliza ni patrocina investigaciones de categoría. El valioso aunque incipiente esfuerzo del IIT y del ICONTEC no ha contado con apoyo suficiente de parte de la industria nacional.
 - La universidad, con sus recursos de laboratorio y personal, no conoce las necesidades concretas y específicas de la industria en materia de desarrollo tecnológico y de investigación económicamente aplicable, y no propicia ni facilita el contacto de los profesores con los problemas de las empresas industriales.
 - El intercambio científico y técnico con el resto del mundo es sumamente limitado y se circunscribe a unos tres o cuatro países. No hay absolutamente ningún intercambio con naciones tan importantes en desarrollo científico como la Unión Soviética, Suecia, Israel, Canadá, las dos Alemanias, Polonia e Italia, y casi ninguno con Inglaterra o Francia.
 - No hay servicios adecuados de documentación, y el acceso a la literatura científica mundial es muy difícil por falta de medios de comunicación y referencia.
 - No hay publicaciones de valor en el campo de la física.
- 4.2. Esta situación ha contribuido a la manifestación de los siguientes problemas en la industria colombiana:

- El aporte de la industria fabril a la economía del país es inferior a lo que debiera, teniendo en cuenta nuestra población, nuestro grado de desarrollo económico y nuestra dotación de recursos naturales.
- La tasa de crecimiento industrial a largo plazo es lenta, muy inferior a la necesaria para acompañar un proceso de desarrollo económico adecuado.
- El grado de desarrollo de algunos renglones básicos que requieren nivel técnico más avanzado (v.g. la metal-mecánica y la química básica) es inferior a lo que debería tener en un modelo normal y equilibrado de configuración de toda la industria fabril. Lo mismo ocurre con ciertos renglones tradicionales en donde no se ha hecho prácticamente ninguna innovación técnica, como la industria maderera.
- Absolutamente toda la tecnología de nuestra industria (materiales, procesos, equipos, métodos de trabajo) es extranjera. Casi toda procede (histórica y financieramente) de Estados Unidos e Inglaterra; y una mínima parte es originaria de Francia, Alemania y Suecia.
- Puesto que en sus países originarios (altamente capitalizados) la tecnología que usamos se orienta fuertemente a la economía de mano de obra (que allá es más costosa), nuestra industria está abriendo muy poco empleo nuevo, y las plazas adicionales que crea son menos que lo que debiera hacer para ocupar debidamente los nuevos contingentes humanos que lo necesitan cada año. Este fenómeno se ha agudizado desde 1965 y persiste ya como un problema crónico.
- La productividad y competitividad de algunos renglones son muy bajas, aún comparada con otros países latinoamericanos.
- Productos minerales y agropecuarios naturales, autóctonos y propios del país, se exportan con un bajo grado de industrialización, como el café, el banano, las esmeraldas, el ganado, la madera, el tabaco, los cueros y los metales preciosos, perdiéndose así un considerable margen de valor agregado que, de otro modo, pudiera quedar en el país si conociéramos los métodos para beneficiarlos.

— El profesional y el técnico en la industria no se ven frecuentemente estimulados a innovar y a progresar científicamente, ya que se limitan a aplicar unos procedimientos y unas normas extranjeras, ya que usualmente ni siquiera participan en los estudios de fondo que requieren los problemas de diseño y operación de equipos, materiales y procesos, porque esos problemas vienen resueltos del exterior o son enviados siempre allá para ser resueltos.

4.3. El enfoque y tratamiento de estos problemas debería apoyarse sobre las siguientes bases:

— Es necesario reducir o frenar la progresiva dependencia tecnológica de la industria y la minería colombiana frente al exterior. Esto requiere de una política correcta y sistemática acerca de la adopción de tecnologías extranjeras, sobre patentes y regalías y sobre estímulo a la investigación original en Colombia.

— Hay que promover, multiplicar y difundir activamente las investigaciones sobre física aplicada, especialmente las que se orientan al desarrollo industrial, comenzando con algunas universidades que están en condiciones de hacerlo, y convocando el apoyo financiero, que puedan dar varias entidades del país.

— Colombia debe iniciar, en forma vigorosa y efectiva, el intercambio de información y de personal científico con los países de mayor avance tecnológico y científico en todo el mundo. Actualmente estamos aislados totalmente de todos ellos, salvo de uno o dos.

— El progreso científico y técnico nacional debe encuadrarse en el marco del de América Latina, dentro de la cual es necesario formar un mercado común, libre de tecnología oriunda de la región. Solo así podrá detenerse la emigración de los más valiosos científicos y recuperar los emigrados, allegar los recursos financieros necesarios para tareas mayores de investigación, y aprovechar racionalmente nuestras limitadísimas disponibilidades de material y de científicos. Como primer paso, es muy conveniente orientar las vocaciones por los estudios avanzados en estas disciplinas, hacia países latinoamericanos.

— Es necesario despertar y activar el interés del sector privado para que se vincule a la tarea de hacer y fomentar la investigación en física aplicada en el país, aportando sus dotaciones y equipos,

su apoyo financiero, personal idóneo, y, especialmente sus propios problemas para ser estudiados.

(El artículo apareció originalmente en la revista "Tecnología Administrativa" de la Facultad de Ciencias Económicas, Administración de Empresas, Universidad de Antioquia, Volumen 1 Número 1. Enero-Abril, 1979).