

# INVESTIGACION CIENTIFICA Y TECNICA PARA LA INDUSTRIA EN COLOMBIA

Por el Ingeniero *GABRIEL POVEDA RAMOS*

## PARTE I

### RESUMEN.

Se define el sentido de la investigación científica y tecnológica en Colombia, de acuerdo con la realidad y necesidades del país. Se plantea un diagnóstico factual del estado actual de la investigación científica y tecnológica, con énfasis especial en la que se refiere a cuestiones de interés para la industria manufacturera, la minería y la construcción. Se señalan temas específicos de investigación científica en las industrias de carbón, minerales férricos y otros diversos, azufre y ácido sulfúrico, de pesca, de conservas, lácteas, de grasas comestibles, molineras, panificadora, sucroquímica, de bebidas, textiles, madereras, de papel y pulpa, del cuero, del caucho, químicas minerales, químicas orgánicas, del cemento, del vidrio, de minerales no-metálicos, metalúrgicas y metalmecánicas. Se señalan otros campos de investigación más generales y que interesan también a la industria (recursos naturales, zoquímica y fitoquímica, mecánica de materiales, oceanografía, hidrobiología). Se menciona el problema de la escasez de científicos y la emigración de muchos. Finalmente se hacen recomendaciones sobre creación de instituciones rectoras y organización de la investigación científica en América Latina y en Colombia; sobre cooperación internacional en este plano; sobre coordinación de Gobierno y sector privado y sobre centralización y divulgación de información.

### EL PROBLEMA.

La investigación científica de carácter general, y en especial la que se refiere a problemas de interés industrial, se caracteriza por los siguientes rasgos esenciales:

- a) Es esporádica, limitada en sus alcances y está representada en muy pocos trabajos concretos, que se adelantan en forma dispersa y descoordinada entre sí

- b) Carece prácticamente de enlaces firmes y fructíferos con la realidad económica y social del país y de nuestro pueblo.
- c) En muchos casos responde a cometidos fijados desde afuera y los resultados no quedan a disposición del país sino de gobiernos o empresas extranjeras.
- d) No tiene apoyo firme, continuado y eficaz del Gobierno ni de la industria.
- e) Adolece de descoordinación, no tiene organización a nivel nacional y no responde a ningún plan o propósito central a nivel nacional.
- f) El número de científicos e ingenieros es inferior al 0.1% de nuestra fuerza laboral, y es totalmente insuficiente tanto en número como en preparación adecuada.
- g) Aparte de unos 4 o 5 nombres aislados no tenemos investigadores de categoría internacional.
- h) Muchos científicos y técnicos de alta preparación están desvinculados de la ciencia y de tareas propias de su preparación, unos por abandono y otros porque no encuentran una ocupación adecuada, o porque el medio universitario no les permite desplegar sus posibilidades.
- i) Por esta razón o por carencia de sentido de responsabilidad con la comunidad muchos han emigrado y siguen abandonando el país, con gran perjuicio para éste.
- j) 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.
- k) La universidad, con sus recursos de laboratorios y personal, no conoce o está alejada de 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.
- l) El intercambio científico y técnico con el resto del mundo es sumamente limitado y se circunscribe a unos tres o cuatro países del mundo. 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, por ejemplo; y casi ninguno con Inglaterra o Francia.

m) No hay servicios ni medios adecuados de documentación y el acceso a la literatura científica mundial es muy difícil por falta de medios de comunicación y referencia.

n) Hay muy pocas publicaciones científicas de valor, y carecen de apoyo pecuniario suficiente.

Esta situación ha determinado o contribuído a la manifestación de los siguientes problemas en la industria colombiana:

a) 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.

b) La tasa de crecimiento industrial es muy lenta, muy inferior a la necesaria para acompañar un proceso de desarrollo económico adecuado. Más aún, en los últimos años, la tasa de aumento en la producción industrial ha venido declinando, y en 1967 llegó a su punto más bajo de los últimos 15 años.

c) Existen diferencias exageradas de productividad de uno a otro renglón industrial (p. e. de textiles a madereras) y aún de una a otra fábrica de un mismo sector fabril.

d) El grado de desarrollo de algunos renglones básicos pero que requieren cierto nivel técnico más avanzado (v. gr. las metal-mecánicas y la química básica) es muy 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.

e) Absolutamente toda la tecnología de nuestra industria (materiales, procesos, equipos, métodos de trabajo) es extranjera. Casi toda procede (histórica y financieramente) de EE. UU. e Inglaterra; y una mínima parte es originaria de Francia, Alemania y Suecia.

f) El surgimiento de industrias de propiedad colombiana ha declinado casi hasta paralizarse, y muchas empresas antes de colombianos han pasado a propiedad extranjera para poder ser modernizadas y tecnificadas. En consecuencia, el grado de autonomía financiera de la industria en el país ha disminuido sensiblemente.

g) 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 muchas menos que lo que debiera hacer para ocupar debidamente los

nuevos contingentes humanos que lo necesitan cada año. Este fenómeno se ha agudizado desde 1962 y persiste ya como un problema crónico.

- h) En los nuevos sectores (papel, química, metales no ferrosos) se está creando una rígida dependencia respecto a insumos importados, inherentes a una tecnología que ha sido creada en países de monedas duras y convertibles, pero que es muy inconveniente para Colombia. En algunos casos, inclusive, se usa el pretexto de la tecnología para no hacer sustitución de importaciones de insumos que fueran posibles si tuviéramos técnicas propias.
- i) Renglones de vital importancia, vinculados a la explotación de recursos naturales, que podrían ser amplia fuente de empleo y contribuir apreciablemente al balance de pagos, como la pesca marítima, la minería, las maderas y los minerales no metálicos, están aún muy retrasadas en su aprovechamiento económico adecuado.
- j) La productividad y competitividad de algunos renglones son muy bajas, aún comparadas con otros países latinoamericanos.
- k) Las posibilidades de sustituir importaciones económicamente aparecen casi como agotadas en bienes intermedios y muy limitadas en bienes de capital, debido al distanciamiento progresivo entre los tamaños y capacidades de plantas mínimos, vigentes en el exterior (que es nuestro proveedor obligado), y cada vez más por encima del tamaño de nuestros mercados.
- l) Productos minerales y agropecuarios naturales, autóctonos y propios del país, se exportan sin ningún grado de industrialización (o a lo sumo muy pequeño), 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.
- m) Las industrias domésticas y la artesanía, que podrían ser una importantísima fuente de empleo, y donde se ocupan ya 700 mil personas, permanecen estancadas o retroceden en algunos frentes.
- n) El profesional y el técnico colombiano 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, y a 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.

## BASES DE SOLUCION.

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

- a) Es necesario reducir o frenar la progresiva dependencia tecnológica de la industria y la minería colombiana frente al exterior. Esto supone la adopción de una política correcta y sistemática acerca de la adopción de tecnología extranjera, sobre patentes y regalías y sobre estímulo a la investigación original en Colombia.
- b) Hay que promover, multiplicar y difundir activamente las investigaciones sobre tecnología y ciencia, especialmente la que se orienta al desarrollo industrial, comenzando por algunas universidades que están en condiciones de hacerlo, y convocando el apoyo financiero necesario que puedan dar varias entidades del país.
- c) Colombia debe iniciar, en forma vigorosa y efectiva, el intercambio de información y de personal 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.
- d) 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 y libre de tecnología oriunda de la región. Sólo 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.
- e) Para poder hacer investigación en alguna escala, es necesario dar a esta actividad una organización nacional, debidamente institucionalizada en el gobierno, y que oriente los esfuerzos oficiales y privados con criterio de conveniencia nacional, altura científica, adecuación a nuestras condiciones, y eficiencia.
- f) Una política correcta de ciencia y tecnología debe llevarse a cabo también teniendo en cuenta la diversidad geográfica y económica de las regiones del país, procurando impulsar en todas y cada una de ellas aquellas actividades investigativas más directamente conectadas con los problemas locales, sin perder de vista el interés universal que entraña siempre el conocimiento científico.
- g) Es necesario despertar y activar el interés del sector privado para que se vincule a la tarea de hacer fomentar investigación científica y técnica en el país, aportando sus dotaciones y equipos, el apoyo financiero, personal idóneo, y, especialmente, sus propios problemas para ser estudiados.

h) Como elemento indispensable de una política eficaz de pleno empleo de los recursos humanos del país, es necesario que creamos una nueva tecnología propia, en todos los sectores de la economía, que tenga en cuenta nuestra abundante población y nuestra escasez de capital y divisas. Esta es una tarea de lenta maduración, que debe iniciarse de inmediato y en forma ambiciosa, recabando la ayuda científica y técnica de todas las entidades y países del exterior que estén dispuestos a darla desinteresada e intelligentemente.

## PART II

### INTRODUCCION.

0.1. Si "investigación" equivale a "búsqueda de verdad", resulta evidente que **investigación en Colombia** no será otra cosa que la búsqueda de la verdad colombiana. Esta consideración es válida para cualquier área o disciplina académica, pero cobra aún mayor significado en el campo de la investigación en ciencia y tecnología, porque probablemente es ese "inmenso océano de verdad desconocida" de que hablaba Newton el que se extiende en una mayor amplitud sin que hasta ahora podamos decir que los colombianos nos demos cuenta de él, y, menos aún, que sepamos aprovecharlo debidamente en beneficio de nuestra nación.

0.2. Así pues, es claro que la investigación científica y tecnológica en Colombia debe motivarse en la confrontación de la gran verdad colombiana, la cual puede sintetizarse en tres conceptos: subdesarrollo económico, atraso técnico-cultural y desigualdad social. El concepto del investigador en su "torre de marfil" no puede admitirse en nuestro siglo, en una nación que adolece de estos males y cuya construcción está por hacer, si es que reconocemos que el científico tiene una responsabilidad ineludible ante la comunidad y que su tarea más urgente y más importante está en contribuir a la solución de los problemas vitales del hombre.

La investigación científica y técnica en Colombia será pues una búsqueda sistemática encaminada a ampliar y a implementar el conocimiento científico y la experiencia tecnológica en nuestro medio, con el fin de mejorar las condiciones de vida de los colombianos. Por eso mismo, la investigación que hagamos no puede reducirse a la tarea rutinaria y subordinada de resolver algunos sub-problemas que nos sean asignados desde fuera, dentro de programas que no preparamos en el país y que se inspiren en intereses ajenos a Colombia. Un ejemplo de lo que **no debemos** hacer son los estudios asignados por un gobierno extranjero a algunas universidades colombianas en busca de esteroides vegetales en especies de la familia de las solanáceas, cuyos resultados,

eventualmente exitosos, irán a beneficiar a otros países sin ningún beneficio real para el nuestro.

0.3. En este documento se presentan algunos temas o problemas de la industria colombiana, hacia los cuales podría orientarse el esfuerzo por emprender una actividad investigativa amplia y fructífera, especialmente en los campos de las ciencias naturales, de las llamadas ciencias tecnológicas y de las ciencias básicas. Omitimos referirnos a los múltiples y vastos campos de las ciencias sociales y humanas en que se requieren investigaciones extensas y profundas para conocer nuestra realidad colombiana respecto a los problemas inherentes a la industrialización (v. g. en demografía, antropología social, ecología humana, sociología, etc.) porque desbordaríamos los límites de este documento y porque esos son territorios ajenos a la formación profesional del autor.

0.4. 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 transformación o elaboración de materias primas naturales, con una proporción más bien baja de valor agregado. Tal es el caso de nuestro país, de donde desaparecieron algunas formas tecnológicas manuales que, aunque rudimentarias, contribuyeron de alguna manera a la vida de artesanías e industrias menores que llegaron a tener importancia, y en donde luego 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.

0.5. 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 3 y 4 millones de dólares al año. Esta cifra no incluye otras sumas pagadas por remuneraciones y servicios técnicos, y que superan en total los \$ 4 mns. anuales. De este recurso se ha abusado hasta el punto de que recientemente el Gobierno pudo verificar que una empresa extranjera giraba regalías a su matriz en el exterior por la fabricación de un comestible popular cuya elaboración es conocida de cualquier ama de casa colombiana.

0.6. 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, hasta innovación endógena en industrias ya existentes; y 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..

### **PROBLEMAS CIENTIFICOS Y TECNOLOGICOS EN LA INDUSTRIA.**

1.1. No hay síntoma más elocuente y grave de nuestro retraso en materia científica que nuestro impresionante desconocimiento de los simples recursos naturales de que está abundantemente provisto el territorio colombiano. Tan sólo de unos años para acá se ha venido a hacer un inventario minero para algunas regiones colombianas. Desconocemos todavía el verdadero potencial ictiológico de nuestros dos mares, a pesar de que está siendo explotado y saqueado aún por banderas extrañas. Carecemos de un inventario de bosques, para no hablar de la relación de especies maderables colombianas; y nuestra flora menor —salvo trabajos individuales meritorios pero aislados— está por conocer, aunque encierra enormes posibilidades de aprovechamiento industrial. Es deplorable, por ejemplo, que una rica fuente de cafeína exclusiva de nuestras selvas, como es el "yoco" (*Paullinia yoco*) fué identificada e investigada por el profesor Schultes, quien hubo de venir desde la Universidad de Harvard para ese fin. Aún desconocemos exactamente las propiedades físicas, químicas y farmacológicas del Bálsamo de Tolú, producto colombiano por excelencia cuyo nombre recordamos en el del tolueno. En general hemos abandonado o descuidado (para beneficio ajeno, en ciertos casos) los esfuerzos que desde la Expedición Botánica, y posteriormente algunos grandes naturalistas colombianos (*Zea*, *Triana*), se hicieron para engrosar nuestro patrimonio nacional con recursos cuyo valor científico y económico está al alcance de nuestra mano.

1.2. Prácticamente no hay en Colombia investigación industrial a nivel de empresa. 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 República. Es increíble por ejemplo que este último no realice ni patrocine ninguna investigación en Colombia en gemología o natro-química, que podría redundar en su propio y exclusivo beneficio.

1.3. En la relación que sigue a continuación sobre posibles temas de investigación tecnológica dejamos expresamente de lado el campo inmenso de la investigación agropecuaria, de la botánica, de la zoología, de la geología y de la mineralogía, por tratarse de disciplinas en donde las posibilidades de estudio son innumerables y están ya un poco más reconocidas. Así pues, nos concretamos específicamente al examen de los métodos, los materiales y los procesos de las industrias manufactureras, en donde las pocas investigaciones hechas en Colombia son fragmentarias y limitadas.

1.4. La pesca es sin duda una de las industrias que encierra mayores posibilidades para Colombia, como fuente de empleo, como productora de alimentos básicos esenciales y económicos, y como recurso exportable. Sin embargo, poco podrá hacerse en este sentido sin estudios ictiológicos y ecológicos de nuestra plataforma marina. Sobre recursos de pesca en el mar será necesario realizar un amplio programa de trabajos análogos a los que ha realizado la C.V.M. en biología de especies de agua dulce (p. e. en ecología y reproducción del "bo-cachico"). Estos mismos trabajos también deberían extenderse a otras especies de aguas tibias y aguas frías de los ríos y lagunas del país. El convenio firmado recientemente por el Gobierno y la FAO ofrece la posibilidad de iniciar esta importantísima línea de desarrollo industrial.

1.5. El carbón es una de las riquezas naturales colombianas más cuantiosas. Esta reserva nos da el primer puesto en Sur América, como el mayor y casi único país carbonífero, y está aforada en más de 20 mil millones de toneladas. Su aprovechamiento económico como combustible está ciertamente en plena decadencia, pero las evidentes ventajas de economía y técnica de explotación que tenemos, indican claramente que es necesario mejorar nuestro conocimiento geológico, mineralógico, físico-químico y económico de la hulla, con miras a utilizarla como posible materia prima para un eventual y amplio desarrollo carboquímico en el país. Teniendo en cuenta nuestra

abundante disponibilidad de carbones bituminosos, el amplio conocimiento existente sobre la tecnología y la química de la destilación de la hulla, y la diversidad e importancia de sus productos potenciales, se podría revisar la factibilidad de aprovecharlo sobre la base de un desarrollo en complejos industriales carboquímicos de dimensiones económicas.

1.6. El doctor Bruno Leuchner, en su estudio para la Cepal sobre "La Investigación Tecnológica en América Latina" sitúa en lugar destacado de importancia a las investigaciones sobre coquización de carbones en este continente. De los que se recomiendan allí específicamente, en Colombia deberían y podrían hacerse los estudios sobre purificación por separación de fases, sobre briquetación de coque preformado, sobre destilación a baja temperatura, sobre coquización de mezclas de carbones (solos o con brea y asfalto), y sobre características petrográficas de la hulla y su influencia en la coquización. El estudio de las condiciones de coquización de mezclas de carbonos sería de especial interés para el posible aprovechamiento de los carbones del Valle del Cauca.

1.7. Las reservas colombianas conocidas de mineral de hierro económicamente explotables son hasta el momento bastante limitadas y, desde luego, muy inferiores en cuantía y calidad a las de Venezuela, Brasil o Argentina. Sin embargo, existen en el país extensas formaciones ferruginosas de bajo contenido, cuya utilización sería posible si lográramos desarrollar técnicas de explotación y concentración de menas de bajo tenor, como ocurre por ejemplo con las abundantes lateritas y piritas que hay en todo el país. Conviene recordar que el proceso de reducción de hierro "Strategic-Uddy" fué desarrollado precisamente para el aprovechamiento de minerales venezolanos de bajo contenido, y que en principio la química de las operaciones minero-metalúrgicas de explotación de hierro guarda ya pocos secretos. En este terreno, lo más importante para el avance técnico está en el uso de concepciones inteligentes e imaginativas y de recursos si se quiere elementales. Basta recordar cómo Austria, país menor en el campo de la industria siderúrgica mundial, devenga hoy cuantiosas regalías de las grandes naciones industriales por el uso de su patente de inyección de oxígeno para la fabricación de acero por el llamado proceso LD (Linz-Donawitz).

1.8. Aparte de las exploraciones geológicas y del examen de nuevos yacimientos de minerales metálicos de toda clase que debemos hacer en el país, serán necesarios mejores estudios sobre sus características, para determinar los procesos de reducción y explotación más recomendables, y pruebas a nivel de planta piloto de los procedi-

mientos que ofrezcan mejores posibilidades. Los fracasos que se han registrado muy recientemente en la explotación de roca fosfórica se deben a la falta de estudios geológicos y geoquímicos adecuados.

1.9. Sin pretender referirnos a todos los metales y elementos químicos que podríamos buscar en nuestro mundo mineralógico, sí cabe destacar la enorme importancia que tendría una búsqueda sistemática y a fondo de reservas de potasio en nuestro suelo. Este elemento, base de la industria kalio-química, de tan amplias posibilidades técnicas y agrícolas por ser uno de los tres elementos fundamentales de los fertilizantes químicos, abriría para el país una amplia gama de líneas de industrialización. El hecho de que sus yacimientos estén actualmente localizados en unos pocos sitios del mundo, y de que el Canadá haya encontrado un yacimiento que se asegura puede abastecer el mercado mundial por siglos, no debe hacernos desistir de tratar de superar esta seria limitación en la disponibilidad de nuestras materias primas básicas. El ejemplo de la roca fosfórica, que se consideraba también circunscrita a unas pocas regiones del mundo y que recientemente se ha descubierto en Venezuela y Colombia, en grandes cantidades, demuestra que no debe perderse de vista la posibilidad de tener éxito en una empresa tan importante como ésta.

1.10. El caso de los estudios mineralógicos sirve para subrayar la importancia de que nuestros centros e instituciones científicas y tecnológicas estén debidamente informados de lo mucho que se hace en otros países (inclusive en América Latina) y divulguen los resultados de estos trabajos. Existe, por ejemplo, una importante colección de trabajos sobre beneficio de minerales, hechos por el Instituto de Pesquisas Tecnológicas en São Paulo, por el IMIT de Méjico y por el INTI de la Argentina, que sería muy importante conocer bien en Colombia.

1.11. El extraordinario desarrollo de la física del estado sólido en los últimos dos lustros ha reabierto amplios campos al estudio de la cristalográfica. Gracias a ella ha renacido nuevamente el interés de la ciencia por los cristales naturales, los macro-cristales y las gema (v. g. el rubí como elemento central del laser). La proverbial riqueza colombiana de minerales y gema debiera movernos a participar al menos en el estudio de las aplicaciones tecnológicas de estos materiales y, en el estudio fundamental de la química de los materiales cerámicos, particularmente de aquellos que contienen átomos de metales pesados. En este terreno científico cabe destacar que no se puede aspirar a hacer hoy una industria electrónica que no sea supeditada a la tecnología y a los intereses extranjeros, si no se dispone de conocimientos científicos y experiencia técnica en la física del estado sólido.

1.12. La producción de ácido sulfúrico en Colombia es muy baja en comparación con nuestro grado de su desarrollo industrial. Nuestra producción es mucho menor que la de países como Perú y Chile cuyas industrias son menores o comparables a la nuestra, y por eso nos vemos obligados a importar ese producto esencial. Esa deficiencia se debe fundamentalmente a la baja producción de azufre en el único yacimiento minero explotado hoy en el país. Necesitamos multiplicar la producción de azufre y para ello podemos recurrir a nuestras extensas formaciones de azufre volcánico del macizo Colombiano y de la Cordillera Central. Pero para lograrlo, es preciso crear una tecnología adecuada cuyo desarrollo exigirá investigaciones sobre varios problemas básicos de esta industria. Entre ellos están: los métodos de concentración de mineral de azufre volcánico, la refinación de concentrados, la extracción de azufre sólido de piritas, la extracción de azufre y de ácido sulfúrico de gases de combustión, la flotación y la extracción del azufre del fango de lagunas, etc.

1.13. A más de que la fabricación de productos lácteos sigue siendo en gran medida un arte basado en la experiencia de siglos en donde aún existen prácticas empíricas y secretos de fabricación, en Colombia no dominamos ni aplicamos todavía los aspectos fundamentales de la química y la tecnología de la leche, ya conocidos universalmente. Esto explica que en una industria relativamente elemental como ésta, no existe prácticamente inversión colombiana (1). El simple proceso de la fermentación por *B. Acidilactici*, su cinética química y las variables que la afectan en nuestro clima, con la leche de nuestros ganados y nuestros suelos, necesitaría más estudio si pretendiéramos dar —como es indispensable para nutrir mejor nuestra población— un impulso vigoroso a la manufactura de productos lácteos. Hay que reconocer que esta industria adolece aún de calidades deficientes y que su repertorio de productos es muy escaso. Técnicas tan sencillas como la evaporación y la pulverización tuvieron que ser implantadas por una empresa extranjera al costo de altas regalías. Agreguemos que aún por el diseño geométrico de empaques, como el llamado "Tetrapak", nuestro país paga regalías que pudiera haberse economizado con la simple aplicación de un conocido y elemental teorema de la geometría del espacio. Para un desarrollo más ambicioso de las industrias lácteas en Colombia es necesario que creemos y perfeccionemos materiales desechables para envase, nuevas clases de productos y nuevos procesos de utilización de subproductos. Debemos también investigar más ampliamente las propiedades físicas, químicas y bromatológicas de la leche de otras especies rumiantes como la oveja y

(1) Salvo en la mera pasteurización y en unas pequeñas fábricas de derivados.

el búfalo de agua, cuyo fomento en Colombia se impone por poderosas razones económicas como la de la sustitución de carne de vacunos que se ha de destinar a la exportación en el futuro. Es interesante citar el ejemplo de las grandes cooperativas lecheras de búfalos (*Bubalus bubalis*) en la India que han desarrollado sus propias grandes plantas de beneficio, con altísima productividad, gracias a la aplicación sistemática de los principios básicos de la genética, la zoofisiología y la dietética.

1.14. Los procesos de las industrias de molinería y panadería, con su apariencia de industrias tradicionales y elementales acusan en general, un bajo nivel técnico en Colombia. La mera operación de trituración de granos, debe ser mejor estudiada a la luz de la tecnología ya conocida sobre reducción de tamaño de sólidos. Y para resolver numerosos problemas con que día a día se tropieza en los molinos y trilladoras, es necesario profundizar en la investigación de la mecánica de los materiales pulverulentos y granulados. Un interrogante que plantea un gran desafío a la investigación técnica en Colombia es el de qué hacer con las posibilidades de la maquinaria instalada en este renglón industrial, y que permanece inactiva en un 80% de su capacidad-tiempo, y cómo utilizarla en otros procesos industriales que —como los minerales tal vez— requieren de etapas u operaciones análogas.

1.15. La industria de panificación tiene su mayor problema en la escasa disponibilidad de materia prima, el trigo. Colombia importó en 1967 270 mil tons. y sólo produjo poco más de 100 mil tons. Es necesario emprender un programa metódico y en gran escala para analizar y evaluar industrialmente las harinas y sémolas de otras plantas (maíz, yuca, arroz, millo, centeno, etc.), diseñar procedimientos de mezcla, estudiar sus características de panificación, y desarrollar procesos industriales para obtenerlas.

1.16. El campo de la investigación bromatológica es otro tan vasto que por fuerza debemos también dejarlo de lado. Sin embargo, no podemos pasarlo sin mencionar que en Colombia no hemos hecho casi nada para formular un alimento universal, rico, equilibrado y barato, en tanto que más de 6.800 colombianos mueren cada año de hambre. El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (Incap) demostró que sí puede hacerse investigación científica del más alto nivel en función de necesidades vitales y sociales de su pueblo, y produjo la fórmula de la "Incaparina" por cuya fabricación tenemos también que pagar hoy regalías, con materiales que se producen todos en Colombia. Tal vez hay aquí también un venero de posibilidades para la investigación técnica, la cual podría encontrar ins-

piración en procesos de fabricación de comestibles de carácter rudimentario y doméstico, bien conocidos en nuestro medio y que se trataría de tecnificar, mecanizar e industrializar.

1.17. La industria de grasas comestibles plantea también a la investigación tecnológica, botánica y zoológica, problemas del mayor interés científico. Se trata, ante todo, de identificar nuevas fuentes de aceites y grasas comestibles, y de establecer sus propiedades químicas, nutricionales y bioquímicas. Como ejemplo de los problemas importantes en esta industria, mencionamos que, frente a una cuestión vital para la salud de los colombianos como es la del contenido de ácidos saturados, de ácidos mono-etenoides y de ácidos dietenoides en las grasas vegetales, con sus diferentes efectos sobre el nivel de colesterol en la sangre, aún no tenemos análisis completos y exactos de las materias primas que utiliza la industria colombiana (soya, algodón, palma africana, ajonjolí, etc.).

En un país que hasta hace poco era fuerte importador de grasas vegetales y que aún importa grandes cantidades de aceite de pescado, es indispensable emprender un serio esfuerzo de investigación botánica, zoológica y bioquímica para identificar y evaluar especies animales o vegetales que puedan constituir nuevas fuentes de grasas y aceites, y para establecer con precisión sus características bioquímicas y nutricionales. Materiales como la cereza del café, la cascarilla de cereales (distintos del arroz), las semillas de las cucurbitáceas (como el pepino, Cucurbita pepo; y el melón, Cucurbita gratíssima) y los rizomas de algunas especies de amarilidáceas, aguardan la determinación de su contenido de aceites, de su valor nutricional y de sus posibilidades de uso industrial.

1.18. Entre otras tareas específicas que aguardan a los investigadores en este campo están: el inventario de las plantas oleíferas colombianas; la determinación de la influencia de las condiciones ecológicas sobre las características de los aceites vegetales; el control de procedimientos de extracción; las propiedades fisicoquímicas y su conducta en mezclas de aceites; el efecto cuantitativo de las variables físicas en las hidrogenación, la oxidación y la saturación; la industrialización de semillas y materiales autóctonos; la industrialización de subproductos como la lecitina; y la búsqueda de sustancias químicas importantes como esteroides y vitaminas.

1.19. Las grasas animales ofrecen otro grupo de temas de importancia para la investigación. Entre ellos cabe mencionar los siguientes: las posibilidades de aumentar el porcentaje comestible en los materiales grasos animales, la hidrogenación y la oxidación in-

dustrial de grasas animales, la interesterificación de grasas animales, el análisis de grasas de pescado y de diversas especies de ganado de carne, la industrialización de subproductos, y la separación industrial de sustancias químicas puras a partir de las grasas naturales.

1.20. Todo el campo de la sucro-química industrial está por desarrollar en Colombia. La literatura corriente muestra la rica variedad de productos que podrían elaborarse a partir del azúcar o de los subproductos de su elaboración. Las tendencias declinantes del mercado mundial del azúcar y la creciente presión de los países productores mayores del mundo, harían aconsejable que en un país como Colombia, que tiene ventajas económicas y técnicas para producir azúcar, se exploraran a fondo las posibilidades técnicas e industriales de desarrollar este renglón manufacturero.

Por supuesto, viene al caso advertir que la experiencia reciente que se tiene en el país con el uso de una patente de fabricación de ácido cítrico usando melazas, que ha tenido muchas dificultades, demuestra la necesidad de un mayor cuidado en la selección de tecnologías foráneas, y de que las que se adopten sean precedidas por investigaciones suficientemente cuidadosas para evaluarlas.

1.21. Si lográramos despejar las incógnitas químicas, bacteriológicas y económicas que es necesario resolver antes de hacerlo, el país podría surtirse por vía sucroquímica y en forma adecuada de acetona, butanol, ácido acético, ácido cítrico, ácido láctico, y de los esteres y sales de éstos últimos, que hoy importa en grandes cantidades, y podría aún exportar a mercados vecinos con obvias ventajas para nuestra balanza comercial. Sin embargo, esto requeriría una prolífica tarea de investigaciones microbiológicas, concretamente en el campo de la genética, el metabolismo y la ecología microbiana de las cepas que se requieren para estos procesos de fermentación, con el fin de identificar los nutrientes adecuados, de establecer el mecanismo químico de la cinética de estas reacciones y de encontrar las condiciones óptimas para su desarrollo industrial. Se requieren además ensayos completos a nivel de planta piloto que podrían ser costosos, pero realizables. Es este un promisorio renglón industrial que las entidades interesadas en su fomento y financiamiento (Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Banco de la República, Corporaciones Financieras, Asocaña, etc.) debieran promover, ya que se cuenta con factores tan favorables como el bajo costo de la materia prima, la disponibilidad local de los insumos, la posibilidad de construir los equipos en el país, el posible dimensionamiento de plantas de acuerdo con nuestros mercados, etc.

También para el desarrollo y la diversificación de la industria azucarera, el país está pendiente de complementar el conocimiento y el desarrollo industrial de los usos del bagazo y la corteza de la caña de azúcar para la producción de celulosa y derivados (ceras, furfural, etc.).

1.22. El nivel técnico de la mayor parte de las industrias de conservas en el país va poco más allá de los métodos domésticos. Ello explica el escaso dinamismo económico de este renglón industrial, sobre el cual el Plan Decenal de Desarrollo Económico fincó grandes esperanzas que nunca fue posible cumplir, y que se enfrenta hoy con vacilación a la posible competencia de otros países de la Alalec. Una o dos empresas que se han modernizado, lo han logrado a costa de ser transferidas a propiedad extranjera. Esta es una industria cuya tecnología se basa en operaciones unitarias de todas clases, que podrían perfeccionarse mucho en nuestras fábricas. Pero posiblemente el campo de investigaciones fundamentales más importante en este frente está en el estudio profundo del proceso físico-químico de la deshidratación celular, de los principales problemas de su realización industrial y de la economía de materiales que envuelve.

1.23. En la industria de bebidas no alcohólicas, el país viene dependiendo cada vez más de marcas extranjeras, que sólo aportan una formulación de mezclas, y que cuestan ya una suma apreciable en divisas. Es por lo menos anormal que, disponiendo de frutas, nueces, sabores, bayas, resinas y extractos vegetales de tal variedad como los hay en nuestros bosques, praderas y selvas, el país pague cuantiosas regalías por meras formulaciones de bebidas gaseosas a base de insumos importados. Para fabricar bebidas gaseosas estimulantes con cafeína pagamos unos US \$ 200 mil por año en regalías, cuando tenemos a la mano productos vegetales propios con que podríamos fabricarlas (p. e. en las especies del género *Paullinia*), pero que no hemos estudiado debidamente. En este sentido el Brasil nos ha dado un ejemplo, al industrializar la fabricación de una bebida gaseosa cafeínica con base en las semillas de su nativa "guaraná" (*Paullinia cupana*, de la familia *Sapindácea*).

1.24. La industria textil —seguramente la más desarrollada, moderna y eficiente del país— se ha hecho también, como la de todo el mundo, a base de tecnología inglesa, norteamericana y europea. En el aspecto de maquinaria y procesos textiles no hay muchas alternativas qué elegir, pero sí podríamos tratar de ampliar nuestra lista de materias primas utilizables, por ejemplo en el área potencialmente rica de las fibras liberianas o fibras duras. Ejemplo de lo mucho que puede hacerse en este campo es el interesantísimo trabajo del

Instituto de Investigación de Fibras Duras en Poznan (Polonia). Y en fibras suaves naturales y artificiales posiblemente no hay una labor de investigación más vasta y completa que la del Instituto Textil de Lodz en Polonia, la cual desafortunadamente es desconocida para nuestra industria textil.

1.25. Se puede señalar dos líneas específicas de investigación y desarrollo técnico en la industria textil colombiana, de acuerdo con nuestras necesidades específicas. Una se refiere a la posibilidad de diseñar y desarrollar maquinaria para operación semi-manual con el fin de crear una industria doméstica y artesanal de tejidos y confecciones, como la que la India ha desarrollado con ayuda de Polonia, para establecer una industria artesanal de alta calidad, ampliamente distribuída en el país y técnicamente bien equipada, para dar empleo a su población rural y semi-rural, y que plantea problemas técnicos análogos a los que Colombia habría de resolver, eventualmente.

Otra amplia línea de investigación y desarrollo textil está en el de los procesos y acabados y materiales auxiliares en los cuales el país depende hoy totalmente de la técnica y de los proveedores del exterior. Por ejemplo, a pesar del extraordinario desarrollo de las industrias de colorantes en el mundo (pero no en Colombia), podría no darse por descartada la posibilidad de redescubrir y utilizar colorantes naturales como los muchos que el mundo llegó a conocer procedentes de América Latina (p. ej. cochinilla, brasileína, hematoxilina, madera azul de Nicaragua, palo brasil y violeta de púrpura). En Guatemala aún se usan colorantes vegetales naturales para la fabricación de telas de uso popular. Desde el punto de vista económico y dentro del concepto de "costos de sombra" y "costos de oportunidad", parecería existir amplias posibilidades de redesarrollo para el uso de colorantes naturales cuya investigación química sería un área del mayor interés, y de alto valor científico.

1.26. La industria de confecciones es una de las que le ocasionan al país más altas erogaciones de divisas por el simple uso de marcas extranjeras. Sin embargo, puede decirse que en esta industria no existe, a nivel mundial, ninguna originalidad extraordinaria y patentada, salvo algunos detalles menores de diseño y costura. En realidad, puede decirse que para la confección de vestuario los conocimientos técnicos más avanzados sólo suponen un poco de geometría descriptiva, algo de anatomía, y un tanto más de estadística, aparte de lo cual sólo se requiere imaginación.

De manera que aunque no hay aquí temas específicos de mayor importancia para investigar, el caso de esta industria es ocasión para

señalar que, además del impulso necesario a la investigación tecnológica para acumular un acervo de conocimientos técnicos propios, es necesario también desalentar el recurso fácil (y a veces fútil) al "know-how" extranjero que poco o ningún aporte efectivo haga al progreso técnico y que deba pagarse en las costosas y escasas divisas que queremos para otros fines. El desarrollo tecnológico autóctono y el control sobre la incorporación indiscriminada de tecnología extranjera, deben ser los dos pilares fundamentales de una política colombiana de desarrollo técnico-científico.

1.27. No es exagerado decir que la tecnología de la madera en el siglo XX, es prácticamente la misma que el hombre conoce desde la era neolítica. Solamente en las décadas de los años treintas y cuarentas, se inventaron y adoptaron algunos procesos relativamente elementales de tratamiento (para inmunización, impregnación y aglutinación) que ampliaron ciertamente los usos de este material, que sigue siendo el material de construcción de mayor demanda en el mundo. Pero puede decirse que no se ha logrado introducir cambios fundamentales en las propiedades de la madera en forma industrializable, para diversificar extensamente su utilización y hacerla competitiva con otros materiales estructurales más costosos. En efecto, poco se ha hecho para darle a la madera propiedades permanentes de incombustibilidad, impermeabilidad, resistencia mecánica y homogeneidad, por procesos industriales. Las investigaciones recientes (en los últimos diez años) sobre materiales compuestos naturales y artificiales, abren un vasto campo para el progreso de la investigación en este sentido. Basta señalar la enorme importancia económica que tendría para un país como Colombia, bastante escaso de metales básicos y abundantemente provisto de bosques, la posibilidad de dotar a la madera de propiedades de dureza, rigidez, resistencia mecánica, elasticidad, impermeabilidad, plegabilidad e incombustibilidad, con lo cual se le convertiría en un gran sustituto para el hierro, el aluminio y el cobre, que hoy consumimos en tal cuantía y en los cuales probablemente nunca lleguemos a ser autosuficientes.

1.28. Pero la primera tarea de investigación silvícola y xilotécnica que nos aguarda, es la formación del inventario de especies maderables colombianas y la determinación de sus propiedades, así como el estudio de sus posibilidades de uso industrial para la obtención de alfacelulosa, curtientes, gomas, aceites, resinas, fibras y materiales comestibles. La guadua, por ejemplo, espera un estudio sistemático de sus posibilidades industriales y de sus características como material estructural.

1.29. Un tema que merece interés por la enorme importancia que tendría cualquier avance técnico que en él se hiciera, es el

de la investigación sobre nuevos diseños y nuevos procedimientos de construcción y preformación de obras y estructuras en madera, especialmente para edificaciones. Los resultados positivos que se alcanzarán en un programa tal, aumentarían en gran medida la productividad de la industria de la construcción (que hoy es bastante baja, en general), especialmente en la edificación de vivienda de interés social. Entidades como Cinva, ICT, Camacol e IIT deberían por esto auspiciar un programa de investigación en tal sentido, en el cual podrían aprovechar las interesantísimas experiencias ya ganadas en la Argentina por el INTI, en Méjico por el III de Monterrey y en Chile por la U. Católica.

1.30. El ejemplo de la industria maderera de Dinamarca, cuya originalidad y simplicidad en el diseño de mobiliarios le ha ganado el mercado mundial y cuantiosos ingresos por regalías, demuestra que no sólo la investigación tecnológica compleja puede rendir frutos económicos para el país, sino que algunas innovaciones que sólo requieren capacidad creativa e inteligencia, más que laboratorios y equipos, pueden ser tan fructíferas como lo primero.

1.31. La invención e industrialización del proceso de fabricación de papel a partir del bagazo de caña, producto típicamente tropical, por una empresa norteamericana, es otro motivo de reflexión sobre la negligencia con que los latinoamericanos (y en particular los colombianos) hemos descuidado las posibilidades de utilización económica de nuestros propios recursos locales. Pero este mismo ejemplo debería invitarnos a examinar a fondo los demás recursos potenciales que podríamos utilizar para obtener pulpa y celulosa en Colombia, que podrían ser muchos. Está claramente establecida la posibilidad de utilizar con este fin materiales o subproductos como el tamo de trigo, la cascarilla de los cereales, el pericarpio y la almendra del café, la guadua, numerosas especies de árboles de selva húmeda, el fique y otras fibras liberianas. En este terreno sería muy importante contar con la colaboración del IMIT de Méjico y del INTI en la Argentina. Hay que reconocer sin embargo que la investigación de estos problemas puede dar alguna espera mientras se atiende a otros más urgentes, como son, sin duda, los que señalamos atrás sobre las industrias de alimentos.

1.32. En la industria del cuero prevalecen aún procedimientos y técnicas tradicionales que datan de siglos, y que siguen haciendo de esta actividad una artesanía guiada en buena parte por prácticas empíricas y hábitos establecidos. Esto mismo hará, por supuesto, que en las próximas décadas se hagan a nivel mundial grandes

avances e innovaciones en la preparación y manufactura del cuero. Pero ésto no obsta, sino que urge, a que en Colombia se emprendan investigaciones que mejoren la productividad y los resultados técnico-económicos de la industria del cuero, que aún están bastante atrasados en el país, a pesar del esfuerzo hecho por el Centro de Tecnología del Cuero del IIT para mejorar su nivel técnico. Una posible área de investigación está en el examen y en la evolución de nuevos métodos para preservar, curtir y modificar las propiedades del cuero, como podrían ser los rayos X, la radiación gama, la exposición a neutrones, la electroforesis, la electrocoagulación y el caldeo dieléctrico. Aún en el campo de la tecnología tradicional, queda mucho por hacer en la investigación de nuevos colorantes y curtientes, de condiciones óptimas y control de curtición, de mejoramiento en las propiedades mecánicas, y de aumento de la resistencia del cuero a la abrasión, el desgaste y a la rotura.

1.33. Posibilidades de industrialización del cuero se ofrecen también para el aprovechamiento industrial de los desperdicios por procesos de hidrólisis, desdoblamiento y otros tratamientos químicos, a condición de que previamente obtengamos los conocimientos químicos y la técnica necesaria para usarlos. Si el país se prepara para un gran programa de fomento y de exportación ganadera, como ahora se pretende, debe emprender desde hoy estos estudios para valorizar y diversificar el uso del cuero.

1.34. Parece que Colombia no está hoy en condiciones ni tiene urgencia inmediata de emprender vastos estudios científicos y técnicos sobre el caucho y sobre los procesos para fabricarlo y transformarlo. Pero podríamos hacer mucho, con indudable beneficio, en el estudio por rayos X de la estructura interna de los materiales elastómeros naturales y artificiales; en determinar la influencia de los materiales usados como relleno para las manufacturas de caucho, como el negro de humo y el caolín; y en establecer la posibilidad de rellenos sustitutivos económicos, tales como las arcillas locales.

1.35. Sería innumerable la relación de problemas concretos de la industria química en Colombia en donde es necesario y posible hacer investigación fundamental o desarrollo tecnológico autóctono. Este es el campo donde el país ha creado una industria más subordinada desde el punto de vista técnico y financiero, debido a que en ella se requiere una tecnología más o menos compleja que ha sido obtenida toda en fuentes externas, en países donde se ha desarrollado bajo circunstancias económicas y sociales muy diferentes, sin estudios adecuados de adaptación para implantarla en Colombia. Sin embargo, nos limitamos a señalar dos grandes grupos de problemas hacia donde

debieran orientarse los mayores esfuerzos inmediatos. El primero es la búsqueda de materias primas nacionales sustitutivas de las importadas, especialmente en el caso de las industrias químicas inorgánicas; y el segundo es la necesaria revisión de tecnologías "clásicas" o totalmente nuevas que permitan diversificar nuestra producción de productos químicos orgánicos.

1.36. En cuanto a materias primas sustitutivas, el problema se plantea en dos sentidos. Uno de ellos es el de encontrar en el país los materiales que se importan como materias primas naturales, y que no implican cambios en los procesos o los equipos. En este caso está la necesaria investigación que deberemos hacer para hallar en Colombia potasio, azufre, níquel, cromo y boro.

1.37. El otro problema, más complejo aún, es el estudio de materiales domésticos sustitutivos, posiblemente de naturaleza química y física distintas de los importados, que implican cambios en los procesos y en los equipos que usamos, para continuar produciendo o iniciar la fabricación de materiales y productos químicos necesarios para el país. Esto exigirá entrar en estudios fundamentales sobre la física-química de los procesos, para llegar a implementar eventualmente y a escala industrial, el uso de insumos diferentes a los convencionales. A título de ejemplo puede insinuarse los siguientes estudios: el uso de caolines nacionales en lugar de hidróxido de aluminio para producir sulfato de aluminio; el uso de lateritas para producir óxido, cloruro y pigmentos de hierro; el uso de los distintos tipos de calizas nacionales para producir cianamida; y el aprovechamiento industrial de nuestros minerales de bario.

1.38. La industria de productos químicos orgánicos en Colombia, que es relativamente incipiente, requiere un enfoque nuevo y original para poder ser impulsada y para que podamos realizar sustituciones de importaciones que hoy son sumamente necesarias. Uno de los posibles enfoques para impulsarla hoy en Colombia, se inspira en la consideración obvia de que una gran parte de la tecnología con que esta industria se desarrolló y prosperó en Europa y Norteamérica, se basaba en el aprovechamiento de recursos naturales, y contando con abundante mano de obra, relativamente no muy calificada. Si esta clase de procedimientos se abandonó en beneficio de otros que implican inversiones muchísimo mayores y menores requisitos de mano de obra —como son los de la industria petro-química—, ello se debió a la desaparición de los recursos naturales originales, al encarecimiento y disminución de la mano de obra disponible, al extraordinario desarrollo de la capitalización interna y a la necesidad de asegurar la demanda futura de petróleo.

1.39. El hecho de que el desarrollo de la moderna industria petro-química en Colombia sea tan difícil se debe a que el país no sólo no está en las condiciones que la han visto nacer en el mundo, sino justamente en las contrarias. Por eso también sería muy conveniente revisar cuidadosamente la tecnología "clásica", que hasta 1940 permitió a Europa hacer una industria química muy avanzada y en gran parte basada en el uso de recursos naturales (madera, productos agrícolas, hulla, gas natural) y que sólo fue sustituida por los nuevos procesos industriales basados en la química de la síntesis orgánica, cuando desaparecieron dichos recursos naturales, cuando la guerra absorbió y aniquiló la gran mayoría de los hombres jóvenes, cuando la demanda post-bélica ensanchó en gran medida los mercados internacionales y cuando el triunfo militar de Estados Unidos le permitió imponer a Europa su propia tecnología a través de sus inversiones.

1.40. Colombia cuenta con recursos naturales abundantes, cuyo inventario y valorización está inclusive por completarse; enfrenta el enorme problema de ocupar una fuerza laboral creciente; carece de grandes capitales y está obligada a economizar su limitado ahorro interno; tiene mercados domésticos que son y serán por mucho tiempo pequeños, frente a los tamaños mínimos de planta económica internacionalmente predominantes; y necesita industrias cuyos insumos sean total o mayoritariamente domésticos. Disponemos de un importante factor de ventaja como es el hecho de que tenemos en abundancia materiales naturales y económicos como melazas, productos agrícolas feculentos, madera y vegetación arbórea, gas natural, alcohol etílico, flora autóctona, sal, azufre, carbón, cueros, calizas, roca fosfórica y amplias posibilidades para desarrollar nuevas especies maderables. Recordemos que de estos recursos naturales primarios se fabrican o se fabricaron industrialmente muchos productos químicos en varios países del mundo, por simples procesos de reducción, destilación seca, extracción por solventes, oxidación y calcinación, y con equipos relativamente elementales. Entre esos productos hay químicos industriales tan importantes y que en Colombia no se producen hoy, como muchas sales industriales de sodio y potasio, ácidos del azufre y el fósforo, y sus sales; cianamida cálcica y sus derivados; bisulfuro y tricloruro de carbono; silicatos y siliconas; sales de amonio; metanol y formaldehído; glicerina; acetaldehído, cloral y cloroformo; furfural; acetona y butanol; ácidos fórmico, acético, benzoico, oxálico, láctico, tartárico y cítrico, sus ésteres y sus sales metálicas; celulosa y sus numerosos derivados; éter; trimetilamina, cianuro y azules de Prusia y de Turnbull; el alquitrán de hulla y su inagotable serie de derivados industriales; el fenol; el pirrol, la piridina y la quinolina; alcaloides; antibióticos y hormonas; gelatina comestible e industrial, etc. etc.

Se trataría de hacer investigación básica sobre la cinética y la termo-dinámica química de estos procesos para adecuarlos a nuestras condiciones y nuestras materias primas, realizar estudios tecnológicos sobre su implementación industrial y hacer evaluaciones técnico-económicas de factibilidad para proveer el mercado colombiano y/o el de la Alalc.

1.41. La industria de cemento es una de las más antiguas y más importantes del país y ha alcanzado un nivel técnico en el cual debiera haber iniciado ya un programa de investigaciones sobre la fabricación, el uso y las propiedades del cemento. Esto se hace en muchos países del mundo en centros o institutos de investigación sobre el concreto. Es oportuno recordar que en realidad todavía se sabe muy poco sobre la naturaleza íntima de los procesos físicos, químicos y mineralógicos que tienen lugar durante la calcinación y durante el fraguado del cemento, salvo lo que se ha logrado esclarecer en recientes investigaciones hechas en Estados Unidos.

1.42. En Colombia no se fabrica cemento por vía seca, la cual permitiría una gran economía en la producción. Ello se debe, por una parte a que nuestras fábricas fueron instaladas hace muchos años, y por otra, a que no conocemos la tecnología adecuada ni hemos indentificado los materiales que pueden usarse como insumos, ya que no se han hecho investigaciones sobre este punto y las patentes internacionales son sumamente escasas y costosas.

1.43. Un tema de investigación básica que está por explorar debidamente es el de la naturaleza y las propiedades de las interfasas metal-cerámicas, cuyo conocimiento es muy importante para lograr progresos sustanciales en el diseño de concretos reforzados, pretensionados y postensionados. En cuanto a las perspectivas potencialmente interesantes de las mezclas con fibra de vidrio, fibras metálicas, granulados metálicos, fibras artificiales, etc., todo está por investigar.

1.44. Los extraordinarios trabajos experimentales que se han hecho recientemente en Inglaterra, Estados Unidos y Alemania sobre el vidrio, podrían hacer de éste uno de los materiales de más diversas e increíbles aplicaciones, incluyendo la posibilidad de convertirse en material de construcción estructural que compita con el acero. Para Colombia, que produce vidrio con materias primas totalmente nacionales, y que es pobre en metales, estos desarrollos tendrían extraordinarias consecuencias económicas. Sin embargo, nada estamos haciendo sobre este tema y, como tantas veces en el pasado, cuando estos desarrollos sean perfeccionados en el exterior, nos limitaremos a comprar patentes, pagar regalías, castigar nuestra balanza de pagos y continuar siendo tecnológicamente subordinados.

1.45. Uno de los recursos naturales más comunes y abundantes en Colombia son las arcillas. Hasta la fecha se las utiliza casi únicamente para hacer materiales de construcción de rudimentaria elaboración, como adobes o artículos cerámicos más o menos primitivos. Sin embargo, su compleja constitución química permitiría contemplar la posibilidad de aprovecharlas como materia prima para la obtención de productos químicos inorgánicos, particularmente los derivados del hierro, el aluminio, el calcio y el magnesio, muchos de los cuales consume la misma industria colombiana en apreciables cantidades. Hace unos tres años se recomendó la organización de un programa conjunto de investigación sobre arcillas industriales entre Centros de estudios técnicos de varios países latinoamericanos, cuyos progresos y resultados serían muy importante conocer en Colombia.

1.46. Lo mismo que las industrias de alimentos y las químicas, las industrias metalúrgicas y metal-mecánicas constituyen una de las ramas principales de nuestra actividad fabril. Pero han llegado ya a un punto en que su desarrollo posterior está seriamente limitado por el escaso grado de innovación tecnológica y de modernización que se está haciendo en ellas actualmente. Es por esto por lo que las investigaciones y el progreso técnico en estos campos son no sólo muy urgentes sino también muy prometedores en resultados aprovechables. Es tan vasto el campo de la investigación mineralógica, metalúrgica, química, metalográfica y física que podrían cubrir los estudios que requiere esta industria, que es imposible siquiera mencionarlo rápidamente. Todas las actividades de esta industria necesitan perfeccionamiento y tecnificación: la fundición, el maquinado, la estampación, el troquelado, el corte, los acabados, etc. La asistencia que el Instituto de Investigaciones Tecnológicas está prestando a las fundiciones ha sido valiosa y útil pero es necesario generalizarla a todo el país y extenderla a las otras operaciones fabriles.

1.47. Dada la relativa escasez de minerales metálicos en Colombia, bien haría el país en invertir algunos recursos para investigar las posibilidades de utilizar minerales de bajo tenor para la producción de hierro, cobre, aluminio, plomo y zinc, mediante procedimientos simplificados que no exigen grandes instalaciones ni costosas inversiones. En ello podrían aunarse los esfuerzos de las principales industrias metalúrgicas, del Instituto de Fomento Industrial y del Instituto de Investigaciones Tecnológicas y de las demás entidades de fomento minero e industrial.

1.48. Hay otro gran número de problemas colombianos que, si bien no afectan directamente a las industrias existentes, sí tienen que ver con las posibilidades de desarrollo y diversificación in-

dustrial del país, de algunas de sus regiones o de algunos de sus sectores. Son tantos y tan diversos que sólo se puede aspirar a presentar una lista incompleta de algunos temas de más importancia y quizás de más prometedores resultados. Entre ellos pueden mencionarse:

- a) Los estudios para la elaboración del mapa metalogenético en todo el país.
- b) La búsqueda de materiales naturales intercambiadores de iones para uso en las industrias químicas, petrolera, de bebidas, de tratamiento de aguas, etc.
- c) Las investigaciones geográficas, geológicas y geofísicas para establecer la posibilidad de utilizar energía solar, eólica y geotérmica en regiones aisladas de los centros de generación eléctrica o en zonas rurales.
- d) Las investigaciones sobre elaboración de productos farmacéuticos básicos (antibióticos, hormonas, opoterápicos, esteroles, etc.) a base de materiales vegetales y animales colombianos, para aliviar la gravitación que hoy ejercen sobre la balanza de pagos por concepto de regalías, patentes y materias primas sobrefacturadas.
- e) Los estudios fitoquímicos y zooquímicos sobre la flora y la fauna colombianas, para evaluar sus inmensas posibilidades de industrialización.
- f) Las investigaciones sobre la física del estado sólido en nuestro mundo mineralógico.
- g) Los estudios básicos sobre la mecánica del flujo de materiales granulares y pulverulentos, que frecuentemente causan problemas en nuestras fábricas.
- h) La elaboración de materiales de construcción de viviendas, universales y económicos, y el desarrollo de técnicas elementales y eficientes de construcción.
- i) Las investigaciones sobre mecánica de suelos, ciencia en la cual deberíamos hacer aportes de interés para resolver los problemas que se están presentando en el diseño y construcción de fundaciones para edificios industriales.
- j) Los estudios y las investigaciones de oceanografía e hidrobiología que se requieren para el mejor conocimiento del país y para el desarrollo industrial del incalculable potencial económico que encierran nuestros mares.

1.49. Es imposible no referirse así sea rápidamente a la cuestión del personal necesario para este vasto trabajo, y de su escasez en Colombia. (Ver anexo). En otros trabajos y documentos se le ha tratado con mayor detalle y profundidad. Aquí sólo se quiere

hacer énfasis en que si no resolvemos esta dramática carencia en forma adecuada y definitiva es inútil pensar en posibilidades de progreso técnico y científico en Colombia.

1.50. Uno de los aspectos más graves de este problema es el de la emigración de técnicos y científicos. Colombia comparte con la Argentina la dudosa distinción de ser el país latinoamericano que exporta el mayor número de este precioso recurso humano gratuitamente, con gran perjuicio para sí mismo y en beneficio de países altamente desarrollados. El ICETEX estima en 900 el número de profesionales que emigran al exterior cada año, causándole un grave perjuicio a Colombia, tanto por la pérdida de capital que con ellos se va, como por lo que dejan de hacer para el país, agudizando nuestro atraso técnico y cultural.

Aunque se aducen varios motivos para este éxodo, parece que no se ha advertido claramente que se trata fundamentalmente de un problema ético, atribuible a una deficiencia en la educación colombiana, la cual no imparte en el estudiante ni en el graduado universitario una clara conciencia sobre la responsabilidad que tiene con su nación.

1.51. Es indudable también que por negligencia o imposibilidad, tanto el sector público como el sector privado niegan oportunidades de ocupación y de contribución al progreso a nuestros técnicos y científicos. Los profesores universitarios, por ejemplo, viven confinados a sus actividades docentes o de laboratorio, sin que el país aproveche para su desarrollo social y económico ésta que es su más valiosa y calificada reserva de conocimientos científicos y de competencia técnica.

## RECOMENDACIONES

2.1. Con referencia a la investigación tecnológica para uso industrial, y además de las diferentes medidas de carácter general que será necesario adoptar para impulsar la ciencia y la tecnología en Colombia, conviene dar los siguientes pasos:

2.2. Es necesario crear un Instituto Latinoamericano de Ciencias y Tecnología, que coordine y centralice todas estas actividades en América Latina, que permita aprovechar al máximo los equipos y el personal escaso de que disponen nuestros países, que recobre e incorpore los científicos latinoamericanos emigrados, y que sirva de contacto con todas las instituciones análogas del mundo. La creación de esta entidad fue ya recomendada a la Unesco por la Conferencia sobre Ciencias y Tecnología en América Latina (Santiago de Chile, Septiembre de 1965) y a ella deberían contribuir también el BID, la Alalc, el Ilafa y todas las demás entidades de desarrollo industrial

latinoamericano. Esta entidad debería investigar y recabar todas las posibilidades de cooperación científica y técnica disponibles hoy en el mundo, especialmente aquellas que demuestren ser más adecuadas y más adaptables para las condiciones concretas de América Latina.

2.3. En busca de la constitución de un mercado común de ciencia y tecnología en América Latina, Colombia debería iniciar las gestiones para un Acuerdo Intergubernamental de liberación e intercambio científico y tecnológico con los principales países latinoamericanos, especialmente en los campos de la agricultura, la minería y la industria.

2.4. Es necesario crear el Consejo Colombiano de Investigación Científica y Tecnológica, con un número reducido de distinguidas personalidades del mundo de la ciencia y de la técnica, y adscrito a la Presidencia de la República. Sólo una entidad de estas puede coordinar las dispersas e incipientes tareas investigativas que se realizan en el país, racionalizar y canalizar el apoyo estatal a esta actividad, supervigilar la incorporación de tecnología extranjera y el uso de patentes, concentrar el uso de recursos para investigación, e implantar una política seria y consistente de fomento científico.

2.5. Es necesario organizar un programa concreto de investigaciones sobre tecnología industrial, especialmente para las industrias químicas, de alimentos y metalúrgicas, mediante acción conjunta del Estado y la industria privada, y aprovechando en él los medios y la experiencia de las Universidades, los Institutos Oficiales y semi-oficiales, y los laboratorios industriales.

2.6. Es necesario robustecer el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, abrirlo al patrocinio y a la participación de empresas industriales privadas, coordinar su acción con las de entidades industriales financieras y universidades, y crear sus dependencias en Medellín, Barranquilla y Cali.

2.7. Es necesario establecer o robustecer nuestras relaciones culturales y científicas en forma permanente y activa, con varios países del mundo que hoy son protagonistas principales del desarrollo científico y técnico como la Unión Soviética, Francia, Japón, Suecia, Canadá, Polonia, Sur África e Israel.

2.8. Sería conveniente llegar a acuerdos bilaterales de intercambio de personal y de trabajos con centros de investigación técnica y científica para la industria en los distintos países del mundo, tales como el Portland Cement Institute en Estados Unidos, el ICAITI

de Centro América, el Instituto Textil en Lodz (Polonia), el Instituto Butantan en Sao Paulo (Brasil), el Centro de Estudios Metalúrgicos de la Comisión Nacional de Energía Atómica de la Argentina, etc. Asimismo es necesario institucionalizar oficialmente la cooperación permanente y el intercambio con centros nacionales de investigación latinoamericanos como el INTI de la Argentina, el IMIT de Méjico, el IPT de Sao Paulo, el INVESTI de Venezuela, el III de Monterrey, etc.

2.9. Una fórmula para concretar y aprovechar la posible creación de un Instituto Latinoamericano de Ciencia y Tecnología, sería la de definir y emprender programas de investigación en disciplinas o áreas académicas específicas (v. g. química de los metales, mineralogía, esteroides vegetales, metalografía, etc.) para ser realizados en Colombia, con científicos latinoamericanos y con asesoría de institutos o países del mundo elegidos exclusivamente por su competencia científica.

2.10. Es necesario crear un fondo colombiano para el desarrollo de nuevas industrias, específicamente colombianas, financiado por el Gobierno Nacional, el Banco de la República, las Corporaciones Financieras, las industrias estatales y privadas, el IFI, los bancos y demás aportantes voluntarios, que se encargue de financiar el diseño, el desarrollo y la industrialización de tecnologías adecuadas a las necesidades y posibilidades concretas de la industria colombiana.

2.11. Un instrumento imprescindible para la organización de la investigación en Colombia es un Centro de Documentación e Información cuya constitución y funcionamiento deberían estar a cargo del Consejo Colombiano de Investigación Científica y Tecnológica que se recomendó atrás. Una tarea que podría cumplir esta entidad, de particular interés para la industria, es la de obtener y divulgar en el país la información sobre patentes industriales expiradas en Estados Unidos, Europa y otros países, y entre las cuales sin duda muchas podrían ser aprovechadas en nuestro medio.

2.12. El ICETEX debe orientar sus programas de préstamos preferentemente hacia países latinoamericanos más adelantados, como Méjico, Brasil, Argentina y Chile, que cuentan con institutos docentes de alto nivel en campos científicos tan importantes para el progreso técnico como la Matemática, la Física, la Química, la Bioquímica, la Metalurgia, la Estadística, la Hidráulica y la Farmacología.

2.13. Pero lo más importante de todo es estimular y unir a los científicos colombianos, repatriar a los que han emigrado, y darles condiciones decorosas e interesantes para hacer investigación científica, al más alto nivel, y en función de las necesidades colombianas.

Asimismo hay que promover en gran medida el despertar y el cultivo de vocaciones científicas en la juventud universitaria, estimulando su curiosidad intelectual, respetando su libertad de opinar, encauzando su profunda y sincera preocupación por Colombia y abriendo el país a las corrientes científicas y de pensamiento del mundo entero. Lo esencial para hacer ciencia es tener científicos, y lo esencial para tener científicos es formar jóvenes científicos.

## BIBLIOGRAFIA

Conferencia sobre la aplicación de la ciencia y la tecnología al desarrollo de América Latina (CASTALA). Santiago de Chile, 1965. *Conocimiento técnico necesario para la industrialización de países poco desarrollados y obstáculos que se oponen a su transferencia*. Preparado para la Cepal por el Ingo. Eros Orozco. 102p. mimeogr.

—Final report of the Conference. p. v. mimeogr.

Giral, Francisco. "Phyto-chemistry and zoo-chemistry in Hispanic America". *Impact of Science on Society*, vol. XVI, Nº 4, 1966 pp. 227 - 275.

Lachmann, Kari E. "La transferencia de TECNOLOGIA a los países en desarrollo". *Comercio Exterior* - México. t. XVII, Nº 2, Febrero 1967. pp. 131 - 134.

Lecerf, D. "Major research and development programmes as instruments of economic strategy" *Impact of Science on Society*, vol. XVII, Nº 2, 1967. pp. 115 - 134.

Leuchsner, Bruno. "La investigación tecnológica en América Latina". *Boletín Económico de América Latina* - NN. UU. vol. VIII, Nº 1, Marzo 1963, pp. 67 - 68.

Maddison, Angus, "Foreign skills and technical assistance in economic development". *The OECD Observer*, Nº 22, junio 1966. pp. 11 - 18.

Oficina Internacional del Trabajo. *Los recursos humanos para la industrialización. Algunos aspectos de la política general y de la planificación*. Ginebra, 1967. 270 p.

"Science and technology as development factors". *International Social Science Journal*, vol. XVIII, Nº 3, 1966.

United States. "Industrial Development". *Science, Technology, and Development*, vol. IV.

— "Scientific and technological policy, planning, and organization. *Science, Technology, and Development*, vol. IX.

(Documentos preparados por los Estados Unidos para la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la aplicación de la Ciencia y de la técnica en las regiones poco desarrolladas, 1963).

Woodward, F. N. "Comment organiser la recherche industrielle". *L' Observateur de l'OCDE*, Nº 12, Octubre 1964, pp. 44 - 46.

## A N E X O

### PROPORCIONES DE ALGUNAS CLASES DE PROFESIONES ESPECIALIZADAS CON RELACION A LA FUERZA LABORAL

1959

	Científicos e Ingenieros	Médicos Dentistas Farmacéuticos y Veterinarios	Profesores de Secundaria y Superiores	Suma de las tres Columnas
<b>Países Desarrollados</b>				
Francia	0.8	0.4	0.6	1.8
Italia	0.9	0.6	1.0	2.5
Reino Unido	1.0	0.3	0.7	2.0
Estados Unidos	1.7	0.7	1.0	3.4
Canadá	1.3	0.5	0.9	2.7
URSS	1.2	0.4		
<b>La Europa en Desarrollo</b>				
Grecia	0.4	0.5	0.4	1.3
España	0.3	0.6	0.3	1.2
Turquía	0.2	0.1	0.2	0.5
Yugoslavia	0.5	0.2	0.3	1.0
<b>Africa</b>				
Guinea	0.002 <sup>1</sup>	0.007	0.016	0.025
Nigeria	0.01	0.01	0.05	0.07
<b>Asia</b>				
India	0.05	0.1	0.3	0.45
Irán	0.16	0.1	0.2	0.45
Pakistán	0.05	0.03	0.2	0.28
Filipinas	0.24	0.42		
Formosa	0.1	0.2	0.6	0.9
Tailandia	0.01	0.03	0.1	0.14
<b>Latinoamérica</b>				
Argentina	0.2 <sup>1</sup>	0.4 <sup>2</sup>		
Brasil	0.1 <sup>1</sup>	0.2	0.4	0.7
Colombia		0.1	0.5	
Perú		0.2	0.6	
México		0.2	0.4	

<sup>1</sup> Sólo ingenieros

<sup>2</sup> Solamente Médicos y dentistas.

Fuente: OECD Observer.