

La Ingeniería en Colombia

Sus ciencias y su historia

GABRIEL POVEDA RAMOS
DINPROA

Durante mucho tiempo, hasta hace unos 30 años, el estudio y ejercicio de la ingeniería fue la principal motivación para estudiar ciencias básicas en Colombia como matemáticas, física, geología, economía y otras. Además, lo ha sido para estudiar las ciencias propias de la ingeniería, creándose una estrecha dependencia gnoseológica de dichas disciplinas con respecto al estudio y ejercicio profesional de la ingeniería. En consecuencia, a juicio del autor, cada una de las ciencias de la ingeniería, carece de una historia interna a escala nacional. Lo que sí posee una historia interna colombiana, es la Ingeniería, como labor educativa universitaria y como ejercicio profesional.

En tal historia colombiana de la ingeniería, cada una de las ciencias tiene un papel protagónico en la medida en que ha aportado a la formación de los ingenieros, o en que ha sido aplicada por ellos para hacer obras de significado nacional. O sea, que esas ciencias tienen sólo una historia externa que se manifiesta a través de la historia de la ingeniería. Ello hace que los ingenieros colombianos hayan sido, como sostiene enfáticamente el autor, buenos "aprendedores" de conocimientos de ingeniería, sean ellos tradicionales o importados. Pero casi nada han hecho en materia de innovación en su tecnología ni en las ciencias propias de su profesión que merezca recogerse históricamente. Su capacidad de invención y de descubrimiento de hechos y artefactos nuevos ha sido mínima.

En sustentación de estas ideas, el ingeniero y matemático, Gabriel Poveda Ramos, presenta en este ensayo un análisis historiográfico de la evolución de la ingeniería y de "sus" ciencias en Colombia desde los primeros años de vida republicana hasta el presente. El trabajo forma parte de las monografías integrantes del Informe Final del proyecto sobre Historia Social de las Ciencias en Colombia, realizado por la Sociedad Colombiana de Epistemología con el patrocinio de COLCIENCIAS y del Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la OEA.

La ingeniería es el conjunto de conocimientos teóricos, empíricos y prácticos, que aplica profesionalmente el hombre para disponer y transformar la naturaleza, en busca de su bienestar económico y cultural. Tal especialidad del saber humano requiere una formación particular en ciencias naturales, en física y en economía; adoptando, de acuerdo con las necesidades y problemas del hombre, distintas formas de aplicación (1).

Así, la ingeniería demanda, tanto a nivel académico como práctico, el estudio y el conocimiento de ciencias básicas y de técnicas, que varían de acuerdo con cada especialidad y, que al intentar hacer una historia de la ingeniería no pueden ser separadas; como tampoco se puede disociar la acción mutua que en la práctica tienen la enseñanza y aplicación, de esas ciencias, de sus herramientas y sus resultados.

En Colombia, la historia de la ingeniería implica problemas tanto metodológicos (determinados en parte por la dificultad de definir esta disciplina), así como problemas prácticos, por la gran multiplicidad de sus formas de expresión (2).

Sin embargo, la ingeniería colombiana tiene el mérito histórico de haber absorbido rápidamente el "estado del arte" de la ingeniería mundial, y de haberlo adaptado muy adecuadamente a las necesidades del país.

1. Los antecedentes. Colonia e Independencia

Nuestros aborígenes no fueron grandes ingenieros. Sus adelantos en materia tecnológica y artística no sobrepasaron los ámbitos artesanales. Frente a otras comunidades precolombinas (Mayas, Aztecas e Incas) sus técnicas fueron más bien pobres.

Sin embargo, en el trazado de caminos, el manejo de la minería del oro y la sal, así como en la alfarería y la cerámica, y en el hilado y tejidos del algodón y lana, alcanzaron cierto desarrollo.

La conquista y la colonización española aportaron algunos elementos técnicos europeos: la metalurgia del hierro, el bronce y el cobre, y algunos adelantos mecánicos y físicos. Pero buena parte de la tecnología de su tiempo en materia de desarrollo in-

dustrial, y de las técnicas de la misma ingeniería fueron totalmente ignorados. Tal fue el caso de la máquina de vapor y sus derivados, el sistema de las carreteras afirmadas, distintas clases de prensas, el sistema métrico decimal, etc., que ya eran conocidos en Europa desde los siglos XVII y XVIII.

Las contribuciones españolas a la ingeniería del país se redujeron a pocas obras de carácter civil y militar como la construcción del canal del Dique (1649-1651), en donde se utilizaron técnicas de ingeniería como la agrimensura, el trazado geométrico de rutas y el cálculo de caudales hidráulicos. Otras obras de parecida envergadura fueron las murallas y fortificaciones de Cartagena; la construcción del camino empedrado entre Santa Fe y Honda (1570), y la construcción de un camino para carruajes desde Santa Fe hasta Facatativá.

Las personas encargadas de diseñar y dirigir estas obras eran en su mayoría ingenieros y arquitectos empíricos, formados en la práctica misma de la profesión, generalmente en el ejército y la marina españoles.

Al despuntar el siglo XIX aún no aparecía casi ninguna manifestación clara de la profesión de ingeniero en el Virreinato de la Nueva Granada. La tecnología incorporada a la sociedad americana era suficientemente rudimentaria como para poder ser manejada por la gente del común sin ningún grado de preparación técnica especial. Los instrumentos técnicos que se usaban eran análogos a los utilizados en Europa hacia los siglos XIII y XIV.

La Corona había hecho algunos esfuerzos por modernizar el sistema de laboreo de minas, así como las técni-

cas de la construcción de edificios. Por ejemplo, hacia 1800 envió una misión de ingenieros de minas (4), con el fin de estudiar la geología del Virreinato y buscar minas de plata. La comisión luego de recorrer la Nueva Granada, no tuvo mucho éxito. Los informes, aunque no se conocen, debieron recoger importantísimas noticias sobre la geología y la mineralogía de la Nueva Granada.

Por la misma época vino a Santa Fe como ingeniero militar el napolitano don Domingo de Esquiaqui, quien ejerció funciones como ingeniero civil: Reconstruyó iglesias y edificios públicos, elaboró el primer plano de Santa Fe, y construyó el puente del Común. Para la realización de dichos trabajos tuvo que utilizar instrumentos y métodos propios de la ingeniería civil de su tiempo, tales como la brújula, el nivel, el arco de mamposería y los planos isométricos.

En 1797 el también ingeniero militar, Carlos Francisco Cabrer, elaboró un nuevo mapa de Santa Fe.

Para 1792 fue nombrado como director de Obras Públicas de Santa Fe el señor Bernardo de Anillo. En 1801 él creó la primera "Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas", en Santa Fe, en donde se formaron algunos constructores con un buen nivel técnico y científico (5), los cuales se desempeñarían posteriormente durante las guerras de Independencia como oficiales de ingenieros militares.

En 1792 llegó el Sacerdote dominico español Fray Domingo de Petrés, quien se había hecho arquitecto autodidacta, y como tal construyó varias iglesias, hospitales y monumentos en Santa Fe, Zipaquirá, Guaduas y Chiquinquirá.

Sin embargo, el mayor empuje a las ciencias básicas de la ingeniería en el período virreinal fue dado por José Celestino Mutis, y sus colaboradores en la Expedición Botánica. Fue Mutis el encargado de introducir en las minas de Pamplona, en 1766, la técnica de la amalgamación para el oro y la plata. Más adelante, siendo ya director de la Real Expedición Botánica, se empeñó en la construcción del Observatorio Astronómico en Santa Fe, obra que proyectó y erigió Fray Domingo de Petrés, y que se terminó en 1803.

Así mismo, por conducto de la Expedición fueron estimuladas e introducidas nuevas ciencias, hasta ese momento desconocidas: la Geografía, la Medicina, la Botánica, la Zoología, la Climatología, la Física, la Química, la Mineralogía y la Geología, algunas de las cuales han sido y siguen siendo herramientas esenciales para el ingeniero.

Paralelamente con el desarrollo de nuevas ciencias se conocieron nuevos instrumentos y nuevas técnicas traídos por la Expedición Botánica (6).

Pero, quizá, lo más importante de la Expedición fue que algunos criollos asumieron con interés las labores de la ingeniería. El caso más sobresaliente fue el de Francisco José de Caldas, quien como Comisionado de la Expedición, y más tarde en las luchas de Independencia, realizó importantes tareas de cartografía, construcción, investigación y enseñanza como un verdadero ingeniero de su tiempo. En 1814, en plena guerra de Independencia, fue llamado por don Juan del Corral para dirigir las labores académicas del recién fundado Colegio Militar de Ingenieros de Rio-negro (Antioquia), cuya orientación

militar corrió a cargo de Manuel Ser-viez. Paralelamente con ésto, Caldas montó allí la fabricación de pólvora y de cañones con relativo éxito. Luego, en 1816 fue llamado por el gobierno central de Santa Fe para fundar allí otra escuela militar. Desafortunadamente la reconquista española cortó todos los proyectos de Caldas, y truncó su vida.

2. La Misión Boussingault

Una de las primeras acciones emprendidas por el gobierno republicano de Santander en la Gran Colombia fue solicitar a Cuvier, en París, el envío de una misión científica para venir a reconocer el país, modernizar su minería, inventariar sus recursos materiales y enseñar ciencias.

Para fines de 1822 llegó un selecto grupo de científicos franceses (7) que hoy llamamos "La Misión Boussingault", y que recomendaron que se fundara en Bogotá un nuevo Museo y escuela de Minas, el cual empezó a funcionar a partir de 1824, y en donde todos ellos colaboraron. Los proyectos de esa escuela eran académicamente muy ambiciosos. El Museo había de ofrecer cursos de Mineralogía, Geología, Química General y Aplicada, Botánica, Matemáticas, Física, Astronomía, Agricultura, Zoología, Anatomía, Entomología y Dibujo. La escuela debería enseñar Matemáticas Aplicadas en algunos de estos cursos.

Jean Baptiste Boussingault, fue quien dejó una obra mucho más perdurable que el resto de sus compañeros. En las minas de Santa Ana (hoy Falan), Marmato y el Chocó enseñó la amalgamación del oro y la plata, el uso de la pólvora y la geometría subterránea, alargando su permanencia en la Nueva Granada hasta 1832.

El Museo y la Escuela sólo duraron hasta 1828. Sin embargo, alcanzaron a dar algunos cursos de ciencias que son bases de la ingeniería, y enseñaron por primera vez en Colombia a usar el sistema métrico decimal.

De esa misión quedaron resultados técnico-científicos importantes, pues se tecnificó la minería de socavón mediante la aplicación de conocimientos de la geología estructural, la mineralogía y la química analítica, y de prácticas como la amalgamación, el uso de la pólvora, el trazado de túneles y la construcción de caminos.

3. La Nueva Granada de 1830 a 1850

Desde principios del siglo XIX la ingeniería ya era un oficio y una profesión establecida, reconocida y con fines propios en Europa. En la naciente república el primer ingeniero graduado fue Lino de Pombo, quien alcanzó sus grados en Madrid y en París, en 1830.

A partir de 1825 con el envío del Coronel Joaquín Acosta a Francia, empezó una política de ayuda pecuniaria por parte del gobierno a jóvenes colombianos que quisieran estudiar ciencias "útiles" en países europeos como Inglaterra y Francia, y en Estados Unidos.

Algunos de estos ingenieros (como el citado Pombo) al regresar al país, hacia 1830, intentaron establecer cursos de Matemáticas, Mecánica, de Ingeniería Civil y Militar, pero sus esfuerzos no fructificaron. Así pues, continuó la migración de colombianos hacia el exterior con el fin de estudiar ciencias, técnicas y prácticas como la misma ingeniería; algunos de ellos con la ayuda gubernamental,

otros con sus propios recursos. Tal fenómeno fue común a todos los países latinoamericanos.

La minería fue el renglón de la economía que primero se vio favorecida por la técnica moderna. En efecto, las minas antioqueñas de Marmato, Supía, Titiribí, Amalfi, Sonsón, etc., fueron entregadas a compañías inglesas para responder por empréstitos contratados para las guerras de independencia, razón por la cual vinieron un buen número de ingenieros europeos que elevaron enormemente el nivel técnico de la minería, especialmente de la veta. Introdujeron y enseñaron numerosas y novedosas técnicas (8), que hicieron pasar la minería de veta, de la tecnología rudimentaria usada desde los aborígenes, en un trabajo de elevada tecnología, que dio lugar a cuantiosas inversiones que configuraron así las primeras exitosas empresas capitalistas que operaron en Colombia (9). Ese avance tecnológico estuvo constituido por el uso de los molinos de pisones movidos por agua, la fundición del oro y la plata para refinarlas, el agua regia para probar minerales, y la máquina de vapor alimentada con leña para mover equipos pesados.

Esta inicial migración de ingenieros trajo a otros más, quienes además de minería trabajaron en cartografía, en ingeniería civil y aun formando empresas. Algunos volvieron a Europa, pero otros se quedaron en el país (Walker, Moore, de Greiff, Hausler), ejerciendo y enseñando la ingeniería civil y de minas, así como las ciencias físico-matemáticas. Sus obras y sus conocimientos se difundieron posteriormente a otras regiones del país a través de sus colaboradores, que los propagaron al Chocó, Cauca, Nariño, Tolima y Caldas.

3.1. Los inicios de la industria. —

La primera industria moderna del país fue la Ferrería de Pacho, Cundinamarca, que nació en 1824 y que con muchas vicisitudes sobrevivió hasta fines del siglo XIX (10). Durante su vida, la Ferrería fue una escuela práctica de metalurgia, mecánica, química aplicada, mineralogía y técnicas de combustión. En esa ferrería y en otras que surgirían después (Samacá, La Pradera y Amagá) se aprendió el manejo del alto horno, la minería de carbón, el uso de técnicas de soplado, la fundición del hierro en crisol y el forjado del metal.

Para 1834 se fundó en Bogotá la primera fábrica de loza, con una dotación rudimentaria (11) y con una regular técnica, suministrada por 4 operarios extranjeros, quienes dieron a conocer a 61 obreros neogranadinos el manejo de las altas temperaturas y el de la preparación y tratamiento de materiales cerámicos. Esa fábrica duró hasta principios de este siglo.

Entre 1837 y 1839 funcionó una fábrica de vidrio, que luego se intentó reabrir en 1841; pero en ambos intentos se fracasó. Sin embargo, esta fue una de las industrias pioneras en el manejo de tecnologías químicas y técnicas que eran nuevas entonces en nuestro medio (12).

La primera fábrica de papel en el país fue construida por el ingeniero y coronel Joaquín Acosta en 1836, para unos empresarios bogotanos, y que fue cerrada en 1839. Para 1841 el mismo Acosta y otros empresarios la reabrieron y lograron sostenerla por varios años. A ella se debe el haber aplicado en Colombia los proce-

sos de ingeniería química industrializada, a la producción de pulpas y de papel.

La primera fábrica mecanizada de tejidos de algodón fue instalada en Bogotá hacia 1836. Contaba con modernas máquinas y telares movidos por fuerza hidráulica, e implicaba ya un interesante avance en técnicas industriales.

3.2. Tomás Cipriano de Mosquera y el inicio de la ingeniería. —

Pese a los antecedentes precedentes, la ingeniería hasta 1845, cuando sube a la presidencia Tomás Cipriano de Mosquera, prácticamente no existía como profesión, ni poseía la base económica suficiente para desarrollarse. Fue gracias al impulso que le dio Mosquera con su mentalidad positivista, como la ingeniería ganó un estatus importante dentro de la vida nacional.

Mosquera trajo ingenieros y científicos europeos a trazar caminos, a enseñar Física y Química, a construir el Capitolio Nacional, a reequipar la Casa de Moneda, a iniciar la Comisión Corográfica, a construir caminos y a otras obras.

Así mismo, el gobierno de Mosquera concretó la construcción del primer ferrocarril construido en nuestro país, que fue el de Panamá, que se inició en 1849 y concluyó en 1855, durante la administración de Mallarino.

Pero el mayor empuje de Mosquera a la ingeniería fue la fundación del Colegio Militar de Ingeniería. Establecido por la ley 6 de 1827 (13), para formar "oficiales científicos" de Estado mayor, de ingenieros militares,

artilleros, caballería, infantería e ingeniería civil. La apertura del Colegio significó que en Colombia se iniciara la enseñanza de varias ciencias y técnicas de ingeniería como la geometría, la aritmética, el álgebra, el cálculo, la física, la cosmografía, la arquitectura, el dibujo, la cartografía y la topografía, todo con un sentido eminentemente práctico. El Colegio inició sus tareas el 2 de enero bajo la dirección de los generales José María Ortega y Joaquín Barriaga, contando con la participación docente de don Lino de Pombo, el Prof. Aimé Bergeron, el Coronel Joaquín Acosta, el Coronel Agustín Codazzi, don Ramón Guerra Azuola, y el Coronel Antonio R. de Narváez, entre otros. Sus labores en esa primera etapa duraron muy poco, hasta 1854 cuando se cerró debido al golpe de estado del general Melo. Fueron los egresados del primer curso de 1848 los primeros ingenieros colombianos, quienes desempeñaron posteriormente papeles claves en el desarrollo de la ingeniería nacional, así como en actividades gubernamentales, políticas y militares.

3.1. La navegación a vapor por el río Magdalena como avance técnico nacional.

— En 1823 el gobierno de Santander en la Gran Colombia concedió privilegio a Juan Bernardo Elbers para establecer la navegación a vapor, para aplicar en Colombia esta tecnología que había sido inventada por Roberto Fulton en 1803 en Estados Unidos.

El servicio lo inició Elbers en 1825, en el río Magdalena, con dos vapores, el "Santander" de 250 toneladas que viajaba desde Barranquilla hasta Conejo, y el "Gran Bolívar" de 300 toneladas que lo hacía hasta Barranca. En 1829 el libertador Simón Bolívar

revocó la exclusividad de Elbers, declarando libre la navegación a vapor del río. Se estableció así una ruinoso competencia hasta 1833, cuando se restableció el monopolio de Elbers. Todos los intentos por instalar definitivamente en esa época la citada navegación fracasaron. Pero, lo importante fue que el uso del vapor marcó la introducción en nuestro medio de tecnologías y equipos nuevos en nuestro medio como la caldera, la lubricación, las técnicas de alta presión y la termodinámica aplicada.

Sólo a partir de 1839 comenzó de nuevo la navegación a vapor por esa vía fluvial. Fueron sus reiniciadores un consorcio de empresarios alemanes y antioqueños, pero su empresa sólo funcionó hasta 1841 cuando el único barco traído fue hundido, durante la segunda gran guerra civil que sufrió el país.

Para 1847, durante la administración de Mosquera, fue reemprendida la navegación a vapor por el Magdalena, que fue declarada luego como libre en 1850. Así se pudieron formar nuevas compañías que trajeron nuevos y modernos barcos, operados casi totalmente por capitanes y maquinistas colombianos.

Fue así la navegación a vapor por el Magdalena un importante medio de introducción al país de nuevas y modernas técnicas y tecnologías.

Pero, la navegación sólo se extendió entonces a los tramos bajos y medios del río. Será durante el gobierno de Rafael Núñez cuando se implante la navegación a vapor en el alto Magdalena. Aquí, como en los inicios, la acción corrió a cargo del empeño de un individuo: el ingeniero cubano Francisco Javier Cisneros, quien fue encargado de tal realización, pudien-

do, luego de grandes esfuerzos, hacer navegar pequeños buques desde Honda hasta Girardot y Purificación.

3.2. La comisión corográfica y sus consecuencias. — Otra realización de Mosquera, de enorme significación en el desarrollo de la ingeniería nacional fue la de traer al país, en 1848, al militar e ingeniero italiano Agustín Codazzi, para levantar el mapa geográfico de la Nueva Granada. Codazzi ya había hecho en Venezuela, el trabajo análogo. Mientras se aprobaba la ley para la Comisión Corográfica, Codazzi se desempeñó como profesor del Colegio Militar. El contrato se firmó en 1850 bajo la administración del general José Hilario López. Este convenio estipuló como objeto de la Comisión Corográfica el de estudiar la geografía de todo el país y levantar la carta general de la Nueva Granada y la de cada una de las provincias que formaban el país.

Alrededor de este importante hecho otra élite nacional (14) (parecida a la formada por Mutis en la Real Expedición Botánica) retomó la responsabilidad científica y cultural de explorar intensamente el territorio nacional entre 1850 y 1858, en diez expediciones, al cabo de las cuales Codazzi entregó los innumerables mapas, informes y dibujos levantados por la Comisión, que cubrían todo el país, faltando solamente los Estados de Bolívar y Magdalena, labor que no se pudo terminar por la muerte de Codazzi en 1859, en plena ejecución de sus labores.

A partir de los trabajos efectuados por la expedición se formaron las bases de la geografía y la cartografía actual. Ellos sirvieron para la búsqueda y el trazado de nuevas vías, (camino, carreteras y ferrocarriles)

rriles) por parte de los ingenieros de la época. Los adelantos tecnológicos que trajo la Comisión fueron sobresalientes, especialmente por el uso de la brújula de precisión, el teodolito, el podómetro, la carta de gran exactitud, la cadena de agrimensor, y con ellos la medición de longitudes y latitudes por las estrellas, la triangulación geodésica y la topografía de precisión.

Las labores de la Comisión, como las del Colegio Militar contribuyeron a entender lo absurdo de la ley que en 1850 abolió los títulos profesionales dizque en gracia del "libre ejercicio" de todas las profesiones en el país. Afortunadamente, para la ingeniería esa medida torpe tuvo pocos efectos prácticos. Lo que hasta entonces había limitado el desenvolvimiento de la profesión era que la realidad cultural y económica del país no permitía expandir la oferta ni la demanda de ingenieros. Pero el Colegio Militar, la Comisión Corográfica y los trabajos de los primeros ingenieros crearon entre las clases cultas de Bogotá y Medellín un concepto claro sobre la profesión de la ingeniería, como una actividad permanente y de importancia como campo de trabajo para la élite social e intelectual del país.

En realidad, el ejercicio de la ingeniería se vio estimulado en aquella época, pues tanto Tomás Cipriano de Mosquera como José Hilario López se preocuparon por construir nuevas obras civiles, para lo cual fueron traídos algunos ingenieros extranjeros (15).

Así mismo, algunos de los estudiantes egresados del Colegio Militar viajaron a París a profundizar sus estudios, al tiempo que muchos de los que habían viajado a estudiar en

Europa y los Estados Unidos regresaron. Entre este selecto grupo de estudiantes es importante destacar a Vicente Restrepo quien había estudiado química en París y metalurgia en Alemania (16).

4. Los orígenes de la profesión (1850-1890)

A partir de 1854 cuando el Colegio Militar fue cerrado por Melo, no se fundó ninguna institución que lo reemplazara, y por eso los jóvenes colombianos que querían hacerse ingenieros continuaron viajando al exterior para estudiar.

Sólo hasta 1861, el general Tomás Cipriano de Mosquera, nuevamente en el poder, intentó reabrir el Colegio Militar ahora con el nombre de Escuela Politécnica, dedicada a preparar ingenieros civiles y militares. Pero las difíciles condiciones políticas no permitieron su reapertura, la que solamente se pudo hacer para 1866, esta vez bajo otro gobierno de Mosquera, quien lo puso bajo la dirección de Lorenzo María Lleras. En este breve período gubernamental de Mosquera de 1866, la ingeniería tendría un nuevo impulso, debido a la ley 70 del 4 de julio de 1866, sobre deslinde y formación del catastro de las tierras baldías de la nación. Esta ley organizó un Cuerpo Nacional de Ingenieros, el que constaba de un ingeniero director central con base en Bogotá y de un ingeniero director en cada uno de los Estados Soberanos.

En 1867 se da un trascendental paso en la consolidación de la ingeniería nacional. En ese año, bajo la presidencia del general Santos Acosta se creó mediante la ley 66 de 1867 la Universidad Nacional de los Estados Unidos de Colombia, a la cual se le

incorporó la Escuela de Ingeniería. La Escuela empezó a funcionar en 1868, dirigida por el coronel Antonio R. de Narváez, quien lo hizo hasta 1877. Su orientación inicial fue para ingenieros civiles y militares, pero luego pasó a ser exclusivamente para ingenieros civiles.

En Antioquia, además de la inmigración de ingenieros extranjeros para las minas, el gobierno seccional se interesó por fortalecer la educación técnica en el Colegio Académico del Estado, a donde se trajeron algunos docentes europeos que introdujeron a la juventud antioqueña en la Física, la Química y el Cálculo. Algunos de estos jóvenes, fueron posteriormente al exterior a perfeccionar sus estudios, conformando el germen de la ingeniería y de sus ciencias en aquella región.

En 1871 el Presidente Berrío convirtió el Colegio Académico de Antioquia en la Universidad de Antioquia, ordenándose que en ella funcionara una escuela de ingeniería de minas, la cual no llegó a formarse.

4.1. El avance minero antioqueño. Durante el período una de las primeras actividades que registran un avance considerable fue la minería. Esta actividad se centró en Antioquia (donde se consolidaron aún más las técnicas traídas por los extranjeros que allí laboraron), y de allí se difundieron a otras regiones sus innovaciones tecnológicas. Tal fue el caso del uso de bombas de madera para extraer agua, las que fueron construidas localmente; así como de las bombas accionadas por vapor, que reemplazaron a las anteriores; de la rueda Pelton, utilizada para mover molinos de pisones, y del "monitor" hi-

dráulico. Tales avances implicaron mejores conocimientos técnicos y teóricos en química, geología, metalurgia, hidrostática y termodinámica, así como una mayor destreza práctica para diseñar, construir, instalar y reparar los nuevos equipos (17).

La actividad empresarial también se vio aguijoneada, como lo mostró la aparición de algunos laboratorios químicos, mineralógicos y metalúrgicos.

4.2. El adelanto de las comunicaciones: El telégrafo. — Los primeros pasos para la introducción del invento de Morse fueron dados por el gobierno de Mosquera, pero sus gestiones no tuvieron ningún resultado. Fue Manuel Murillo Toro quien en 1865 contrató con los ingenieros y empresarios norteamericanos Henry L. Davidson, William W. Wolsey y Lee Stiles la construcción de la línea telegráfica Bogotá-Puerto Nare, la cual entró a funcionar en el mismo año, ampliándose la línea cada vez más, desde Bogotá a Medellín. Durante los años siguientes la cobertura de la red creció. Se construyeron las líneas Honda-Manizales, Medellín-Manizales, Ambalema-Ibagué, Manizales-Cartago.

En 1871 se nacionalizó la empresa y el sistema, que siguió operando desde entonces con ingenieros y operadores colombianos, los que poco a poco fueron extendiendo las líneas telegráficas en todo el país. Diez años después de iniciado el servicio, la red cubría las principales ciudades del centro del país, así como numerosas poblaciones intermedias.

La introducción del telégrafo permitió un conocimiento de nuevas tecnologías, equipos y materiales, hasta ese momento desconocidos (18).

4.3. El desarrollo de la industria antioqueña. — Luego de los intentos fallidos realizados en Bogotá en la década de los años treinta, la industria renacerá en Colombia cuando en 1855 José María Plata y Antonio Ponce de León fundan en Bogotá una fábrica de tejidos de lana en donde se utilizaron 15 telares mecánicos. Poco después, en 1858 en la Ceja (Antioquia), los irlandeses inmigrantes Nichols fundan una pequeña cervecería. Posteriormente esta iniciativa fue iniciada (en 1876) por los hermanos Vicente y Pastor Restrepo, quienes montaron una fábrica con cierto cuidado técnico en sus procesos de cocción de malta, fermentación, maduración y gasificación, usando equipo y maquinarias entonces novedosos, como la cocina a vapor y el compresor de gas.

En 1865 se crea en Amagá una fertería, dirigida por los ingenieros metalúrgicos franceses Eugene Bonnet y Eugene Lutz quienes después de salvar escollos técnicos y financieros, lograron ponerla a funcionar y producir hierro gris. Lo que fue más difícil, lograron también ampliar la cobertura de su mercado, inyectándole un buen nivel técnico en las áreas de fundición y trabajo mecánico, lo que permitió obtener numerosos productos requeridos por otras actividades productivas como la minería y la agricultura (19).

La industria cerámica también apareció en Antioquia. En efecto, para la década del sesenta se establecieron en Rionegro y Caldas dos o tres fábricas de lojería con cierto grado de desarrollo técnico, el cual se fue incrementando poco a poco. La tradicional industria textil antioqueña nació en 1864 en Copacabana, cerca de Medellín en una fábrica con diez telares mecánicos mantenidos y trabaja-

dos por los alumnos de la Escuela de Artes y Oficios del Estado de Antioquia.

Excepción hecha de la industria cervecera de los hermanos Restrepo la participación de la ingeniería antioqueña en estos comienzos fabriles fue poco significativa. Sólo hacia 1874, como producto del fracaso del ingeniero francés Eugene Lutz en la fábrica estatal de ácido sulfúrico, fue llamado Pastor Restrepo para reemplazarlo y éste logró, mediante un cambio de métodos, producir hasta 150 libras diarias de ácido de buena calidad. Fue quizá la primera industria química diseñada y construida, acertadamente, por un ingeniero colombiano. Esa producción sólo duró hasta 1883 pues su mercado era muy pequeño.

4.4. Los primeros ferrocarriles. — Después del de Panamá, terminado en 1855, el país hubo de esperar hasta 1869 para que una empresa de ingenieros alemanes iniciara el ferrocarril de Barranquilla al Océano, el cual entró en servicio en enero de 1871 hasta Puerto Salgar.

En 1871 se planearon dos rutas más (20), pero las obras no se emprendieron. El Estado de Antioquia, en 1874, contrató la construcción del ferrocarril del río Magdalena a Medellín con el ingeniero cubano Francisco Javier Cisneros. La obra se inició en octubre de 1875 y Cisneros trabajó en ella por espacio de 10 años pero en 1885 hubo de retirarse de ella dadas las enormes dificultades que se presentaron en su realización (21).

La figura de Francisco Javier Cisneros es muy importante dentro del desarrollo de la ingeniería colombiana. Fue él quien emprendió los tra-

bajos del ferrocarril de Buenaventura a Cali (1878-1885) (22); hizo la prolongación del ferrocarril de Puerto Salgar hasta la bahía de Sabanilla (1879-1881), llevando el ferrocarril hasta el actual Puerto Colombia como estación terminal, en 1887; construyó allí el muelle (que entregó en 1893 y que existió hasta mediados de nuestro siglo); construyó el ferrocarril de Honda a La Dorada (1881-1884); e hizo un trayecto de 32 kilómetros de la línea de Girardot a La Sabana en los mismos años (23).

El primer ferrocarril construido totalmente por ingenieros colombianos fue el del río Zulia a Cúcuta, que fue emprendido en 1876 y terminado en 1888, con una extensión total de 55 kilómetros. Lo dirigieron los ingenieros Juan Nepomuceno González y Enrique Morales, ambos alumnos del Colegio Militar. Después de la anterior obra se iniciaron, entre 1881 y 1882, la construcción de los ferrocarriles de La Sabana y de Puerto Wilches, dirigidas por ingenieros graduados en el Colegio Militar o en la Universidad Nacional, pero que tuvieron que suspender sus labores debido a la guerra civil del 85. En el ferrocarril de La Sabana se utilizaron rieles producidos por la ferrería de La Pradera.

El ferrocarril de Santa Marta también comenzó a construirse en 1882 por concesionarios e ingenieros norteamericanos. Demoró cinco años en llegar a la población de San Juan de Córdoba (hoy Ciénaga).

Con la construcción de estos ferrocarriles, comenzó a conocerse con alguna amplitud la técnica de cómo construir y operar este tipo de vías. Se generalizó el uso de la brújula, el nivel y la cadena, y se conoció lo que era un riel. Así mismo, se ampliaron

aún más los usos de la máquina de vapor en nuestro medio; se montaron los primeros talleres mecánicos; y comenzaron a formarse, en la dura escuela de la práctica, los primeros topógrafos, cadeneros, maquinistas, herreros, forjadores, mecánicos, calderistas, fogoneros, etc. En los talleres de estos ferrocarriles se instalaron las primeras plantas generadoras de electricidad, movidas por máquinas de vapor y se instalaron también las primeras líneas telefónicas.

Así, nuestros ingenieros adquirieron nuevas experiencias en muchas áreas científicas y técnicas, como la mecánica, la hidráulica, la topografía, la geodesia, la geología, la mecánica de suelos, la resistencia de materiales, la metalurgia, la electricidad, la termodinámica, etc. El número inicial de ingenieros colombianos que trabajaron en los ferrocarriles fue reducido, pero aumentó a medida que regresaban del exterior, o que se graduaban en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional. Su número no se conoce a ciencia cierta, pero se calcula en unos doscientos, durante el siglo pasado.

Entre 1885 y 1890, estaban tendidas las siguientes líneas, según Mc Greevey:

	1885 (km.)	1890 (km.)
FC. de Antioquia ...	38	48
FC. de Cúcuta	54	55
FC. de La Dorada ...	15	29
FC. de Girardot	31	31
FC. del Pacífico	38	52
FC. de La Sabana ..	—	40
FC. de Bolívar	27	27
TOTAL ...	203	254

4.5. Consolidación académica y profesional. — Con la fundación en 1867 de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional la profesión de la ingeniería tomó un rumbo definitivo de consolidación, pues a medida que pasó el tiempo el número de estudiantes creció ostensiblemente. En 1870 la universidad tenía 132 estudiantes, 29 de los cuales eran estudiantes de ingeniería. Para 1874 la universidad contaba con 184 estudiantes y 65 de ellos pertenecían a la facultad en mención. En 1872 el número de profesores ascendía a 16, los que dictaban un extenso y exigente currículum para su tiempo (24).

El aumento numérico de ingenieros los estimuló a crear en junio de 1873, en Bogotá, la Sociedad de Ingenieros de Colombia, cuyo primer presidente fue el señor Enrique Morales. Uno de los objetivos principales de la Sociedad era propender por la ocupación de profesionales colombianos en las obras públicas, que por esos años se estaban intensificando y en cuya dirección predominaban los ingenieros extranjeros norteamericanos. Era el caso de la construcción de ferrocarriles, caminos de herradura y pequeños puentes, obras en las cuales los ingenieros colombianos tenían una fuerte competencia de parte de los extranjeros.

En estos años la ingeniería (en general) se identificaba con la ingeniería civil. Las otras especialidades, como mecánica, eléctrica, química, etc., no aparecerían en nuestro medio sino hasta bien entrado el siglo XX, debido principalmente al tardío desarrollo industrial y técnico del país.

La vida de la Sociedad de Ingenieros de Colombia fue corta. Tal circunstancia, unida a la supresión en

1880 de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional (cuya tutela fue otorgada al Ministerio de Guerra), contribuyeron a que en los primeros años de la década de los ochenta la profesión decayera. Pero en 1884 la facultad fue reintegrada a la universidad, lo que permitió que hasta 1890 se prepararan y graduaran un buen número de ingenieros. La preparación de estos ingenieros presentaba un claro sesgo teórico y tenía muy poco complemento práctico, ya que la facultad carecía casi totalmente de laboratorios de electricidad, mecánica e hidráulica, y los de física y química solamente eran remanentes del antiguo Colegio Militar Politécnico.

Quizá una de las principales funciones que cumplió en esos años la universidad, fue la de preparar sus propios profesores. El más importante de ellos fue don Julio Garavito Armero, quien en 1891 se graduó como profesor de Ciencias Matemáticas, y desempeñó luego importantes funciones en el campo de la enseñanza y la investigación en ingeniería, matemáticas, física matemática y astronomía, con lo cual contribuyó a un favorable avance y a una elevación del nivel académico de la facultad y de la enseñanza a los alumnos (25).

En la provincia, la labor técnica tomó cierta importancia, debido esencialmente al desarrollo de la minería del oro en Antioquia, Tolima y Cauca. En 1857 en el seno del Colegio Provincial de Antioquia se creó la facultad de ingeniería civil, pero debido a la pobreza del fisco provincial sólo pudieron funcionar las cátedras de química y mineralogía. Hasta 1874 no se logró consolidarla. El impulso definitivo lo daría en 1885 una ley

que ordenó crear escuelas de minas en Medellín, Ibagué y Popayán. Las dos últimas nunca llegarían a existir, pero la primera habría de convertirse en realidad tres años después.

Estos signos de reanimación de la ingeniería, y la intensificación de sus campos de labor, animaron a un grupo de ingenieros de Bogotá para volver a dar vida, el 20 de mayo de 1887, a su asociación, ahora con el nombre de Sociedad Colombiana de Ingenieros.

La fundación y el funcionamiento de la Escuela de Minas de Medellín, deben mucho al empeño desplegado por los hermanos Pedro Nel y Tulio Ospina, quienes con base en los elementos, los estudiantes y los profesores de la fallida Escuela de Minería de la Universidad de Antioquia, crearon la nueva institución, suministrándole la suficiente dinámica para que adelantara una misión que desde el principio del siglo debía haberse atendido: la capacitación de ingenieros colombianos para las labores de minería. El país requería para su desarrollo un mayor número de ingenieros, y la Escuela de Minas asumió de lleno esa labor: en ella se centró la actividad tecnológica de Antioquia, y se formaron ingenieros civiles y de minas de la región así como los de otras regiones del país.

Las labores académicas se iniciaron el 11 de abril de 1887. Los primeros ingenieros de minas graduados en esa institución (primeros en Colombia) fueron Carlos Cock, Alfonso Robledo y Antonio Alvarez, quienes recibieron el título en 1893.

Para fines del siglo la Escuela de Minas había definido su currículum,

enfatiéndolo en la ingeniería de minas, en química industrial y en mecánica, como respuesta a las necesidades y demandas de la minería, la construcción de ferrocarriles y la incipiente industrialización antioqueña (especialmente en Medellín, en donde funcionaban fábricas de textiles, cerveza, fundiciones, locerías, vidrieras, laboratorios), así como de la explotación de los recursos como el carbón y la hidroelectricidad.

Sin embargo, el egresado de las dos facultades de ingeniería (Bogotá y Medellín) podía desempeñarse en cualquier labor de la ingeniería de entonces, pues su preparación era amplia y sólida en ciencias básicas y tecnológicas, para hacer frente a diversas tareas profesionales (26), pese a que los laboratorios de ambas escuelas eran aún muy escasos.

Para fines del siglo XIX y principios del siglo XX, la mayoría de los textos de matemáticas y de tecnología que se usaban en nuestras escuelas de ingeniería eran franceses, pocos eran colombianos (generalmente los de aritmética y álgebra) y otros pocos eran norteamericanos (27).

El envío de jóvenes colombianos para estudiar en el exterior continuó. El presidente Rafael Núñez se interesó especialmente en la preparación de instructores para escuelas de mecánica y fundición. Tal esfuerzo sólo fue aprovechado por Juan Nepomuceno Rodríguez quien estudió en Francia y regresó en 1890 a fundar la Escuela Nacional de Artes y Oficios en donde instaló un taller de instrucción con equipos para fundición, caldería, torneado, fresado, etc. La escuela funcionó durante muchos años. La educación tecnológica tuvo otro gran avance en 1890 cuando vi-

nieron los Padres Salesianos de Turín, contratados por el gobierno de Carlos Holguín. Inicialmente se establecieron en Bogotá, donde instalaron su escuela técnica con especialidades en fundición, mecánica, panadería, encuadernación, electricidad y artes gráficas. Progresivamente fueron instalando sus escuelas técnicas en otras ciudades del país, contribuyendo así muy favorablemente al desarrollo industrial de Colombia.

5. Fines de siglo y Guerra de los Mil Días

5.1. Los avances de la minería. —

En este período finisecular la minería de Antioquia, Cauca, Tolima, Nariño y Santander tuvo significativos avances tecnológicos, pues aparecen nuevos empresarios nacionales y extranjeros interesados en el aumento de la producción del oro. Fue entonces cuando se trajeron las primeras turbinas tipo Pelton, los primeros molinos californianos y el "monitor" hidráulico; y se instalaron nuevos laboratorios de fundición y de ensayos de minerales. Pero quizá el principal avance tecnológico lo constituyó entonces la adopción de la draga flotante con cangilones, que fueron traídas al Chocó por compañías norteamericanas e inglesas, ampliándose luego su uso a Antioquia y Nariño. En los primeros años tales máquinas contaron para su funcionamiento con ingenieros extranjeros, esencialmente ingleses y norteamericanos.

Así mismo, se utilizó por vez primera en las minas de Antioquia la dinamita. Los encargados de introducirla fueron ingenieros estadounidenses, pero de inmediato los ingenieros y técnicos colombianos aprendieron a usarla y a extender su uso a la mayoría de las obras civiles.

A estos adelantos tecnológicos se sumó el sistema de cianuración, el cual se usó por primera vez en 1891, en Antioquia, y con el cual se mejoró notablemente la productividad minera, especialmente la de los pequeños mineros que no podían comprar el costoso mercurio que requería el proceso de amalgamación para separar el oro. Estas nuevas modalidades tecnológicas venían asociadas a un proceso generalizado de introducción del hierro y el acero en toda clase de máquinas, equipos y herramientas que se necesitaban en las minas, en lugar de la madera, lo cual exigía un intenso desarrollo del conocimiento de la metalurgia física de metales ferrosos (fundición, forjado, mecanización), así como del diseño y la fabricación de máquinas y piezas de hierro y acero.

5.2. La aparición del teléfono. —

En 1884, ocho años después que Alexander Graham Bell hubiese inventado el teléfono electromagnético, el cubano José Raimundo Martínez obtuvo del municipio de Bogotá el privilegio de establecer el servicio telefónico local. Para 1885 se habían instalado 47 líneas y ya funcionaba una pequeña central operada manualmente por operarios que establecían las comunicaciones a solicitud del interesado. La primera planta telefónica empezó a funcionar en Medellín, en 1890, instalada por el departamento de Antioquia. En 1896 se fundó la segunda empresa en Bogotá, pero ya de carácter privado. La primera línea telefónica que hubo en el país fue instalada por Francisco Javier Cisneros en 1880, entre Puerto Berrío y la estación Malena.

Al principio la instalación de teléfonos corrió a cargo de ingenieros y técnicos extranjeros, pero rápida-

mente éstos fueron reemplazados por técnicos colombianos, quienes se familiarizaron prontamente con los nuevos avances tecnológicos. Buena parte de la agilización en la adopción se debió a la experiencia previa adquirida con el telégrafo.

5.3. El desarrollo industrial. —

Los crecimientos de la economía minera y cafetera, suministraron al país en general y a Antioquia en particular un impulso decisivo a la industrialización.

La introducción del hierro y el acero a diferentes sectores productivos permitió el nacimiento de nuevas fundiciones y talleres especializados en la metalurgia del hierro y del diseño de máquinas, a través de técnicas como la fusión y el forjado, mediante instrumentos que entonces eran nuevos para nosotros como el crisol, el horno de alta temperatura, el molde de arena y sus herramientas, dando origen así a nuevos oficios técnicos como los de hornero, moldeador, fundidor.

Para 1882 se inicia la locería de Caldas, la que, al igual que la minería, contó en sus primeros tiempos con el aporte tecnológico de varios extranjeros, pero donde rápidamente tales labores fueron asumidas totalmente por personal colombiano.

5.4. La electrificación de las ciudades. —

En este renglón las ciudades de la Costa tuvieron el liderazgo. Primero Cartagena en 1891, y luego Barranquilla en 1892, gozaron de energía eléctrica generada por plantas diesel-eléctricas, con un retraso frente a las primeras ciudades de los Estados Unidos de sólo 9 y 10 años respectivamente.

En Bogotá la electricidad fue introducida gracias a la iniciativa privada del ingeniero Santiago Samper, quien tuvo la idea de aprovechar la caída del río Bogotá para construir una planta hidroeléctrica. Esta obra se inició en 1890 y fue dada al servicio en 1895, con un retardo frente a Norteamérica de 13 años. Fue ésta la primera planta hidroeléctrica que existió en el país.

La segunda planta del género mencionado fue la instalada en Medellín por el ingeniero José María Escobar en 1897, aprovechando la quebrada de Santa Helena, con una potencia de 200 kilovatios. Con estos adelantos se introdujo la tecnología de las altas corrientes y de los altos voltajes, lo que implicó el uso de nuevos materiales, equipos y maquinarias en nuestro país.

5.5. El incremento de las líneas férreas. — Durante el período en mención los ferrocarriles se extendieron, en la Costa Atlántica. Se hizo la línea Cartagena-Calamar (1890-1894) con el respectivo puerto marítimo de 200 metros de longitud (28), cuyas obras fueron adelantadas por ingenieros y empresarios norteamericanos.

Otra zona beneficiada fue la de Cúcuta, pues se prolongó el ferrocarril del Zulia hacia la frontera con Venezuela. Esta obra fue realizada por ingenieros colombianos entre 1893 y 1897. Así mismo, en la zona de la Sabana de Bogotá se emprendió la construcción del ferrocarril del Norte (1893-1898), y el del Sur (1895-1903), obras que, unas veces por problemas legales y administrativos y otras por los conflictos de la guerra, no pudieron terminarse satisfactoriamente o demoraron mucho en su ejecución.

El ferrocarril entre Flandes e Ibagué acometido por el empresario Carlos Tanco, por iniciativa del Departamento del Tolima, fue realizado entre 1893 hasta 1908 cuando Tanco murió. De igual forma se terminó el tramo Honda-Dorada en 1897.

6. De la Guerra de los Mil Días a 1930

Durante la calamitosa guerra de los Mil Días, los ingenieros colombianos estuvieron prácticamente en receso. Se suspendió la construcción de ferrocarriles, caminos y telégrafos; la navegación del Magdalena casi se paralizó; nadie volvió a construir edificios; la actividad minera se estancó. La enseñanza de la profesión decayó ostensiblemente pues la Escuela de Minas cerró sus puertas en 1894 por decreto de Miguel Antonio Caro; y los estudiantes de la Facultad de la Universidad Nacional, que en 1895 eran 60, se fueron en buen número a los campos de batalla. Algunos profesionales (como Pedro Nel Ospina, Enrique Morales y Julián Uribe Uribe) también lo hicieron en ambos bandos.

Al llegar la paz, y con el gobierno progresista de Rafael Reyes, renació nuevamente la profesión, pues se emprendieron numerosas obras públicas. Así mismo, al gobierno de Reyes la ingeniería le debe un importante avance: la creación en 1905 de la Oficina de Longitudes, la que se encargó de amojonar las fronteras y trazar el mapa del país, y que con el tiempo se convirtió en el actual Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

-- La Escuela de Minas reabrió sus puertas en 1903, y se intentó adscribirla en 1906 a la Universidad de An-

tioquia. Pero esta pretensión fracasó, volviéndole su carácter nacional en 1911.

Las vicisitudes en su administración no lograron desviarla de su interés central: formar ingenieros civiles y de minas. Dadas las nuevas necesidades, se dictaron cursos de vías de comunicación, termodinámica, locomotoras, electrotecnia y arquitectura, lo que implicó la introducción de nuevos equipos destinados a la docencia, especialmente de la física.

Nuevas generaciones se fueron formando en las tres facultades existentes en el país; contribuyendo a consolidar, cada vez más, el prestigio social y profesional de la ingeniería en Colombia. Funcionaban las facultades de la Universidad Nacional, la Escuela de Minas y la Universidad Republicana. La ingeniería era ya una profesión aprestigiada que era ejercida en su mayoría por hijos de familias con un nivel elevado o medio dentro de la escala socio-económica.

En 1920 y como compensación al cierre de la Universidad Republicana, se fundó en Popayán, en el seno de la Universidad del Cauca, la facultad de ingeniería, la que ofrecía programas en Ingeniería Civil, y algo que para la época era una verdadera innovación: Ingeniería Industrial.

Los planes de estudio de las dos facultades tradicionales eran muy similares. La de Bogotá hacía énfasis en las matemáticas mientras que la de Medellín lo hacía en la geología y la metalurgia. El tiempo de estudio en ambas era de seis años, con muy baja experimentación o práctica. En

términos generales no habían cambiado mucho respecto al siglo XIX.

Sin embargo, durante esta época las labores de los ingenieros se multiplicaron en gran medida y se ampliaron también sus campos de acción y sus funciones incluyendo, entre otras, la administración pública: De 1922 a 1926 el ingeniero Pedro Nel Ospina ejerció la presidencia de la república; el ingeniero Laureano Gómez desempeñó el ministerio de Obras Públicas, y el ingeniero Camilo G. Restrepo ocupó la gobernación de Antioquia. También actuaban como proyectistas, constructores, operadores y administradores de obras. Así mismo su número aumentó. Pero la Gran Crisis del 29 vino a trastornar el empuje que traía el país, pues muchas fábricas se cerraron. La gran mayoría de ingenieros quedaron cesantes y las obras emprendidas se paralizaron. A pesar de esta inmovilización el país ya había adquirido una buena infraestructura técnica de vías, transportes y comunicaciones, y que permitieron la creación de un mercado nacional integrado sobre un país disperso y quebrado como el nuestro.

6.1. El despertar de la industria nacional y antioqueña. — Al iniciarse el siglo XX ya había una pequeña pero definida base industrial en Antioquia. Si bien el desarrollo tecnológico e industrial era mínimo, ya se habían cumplido los primeros intentos de aclimatación de los productos de la tecnología hidráulica, la mecánica, la metalurgia, la térmica y la electricidad en esta industria.

La primera década del presente siglo muestra una fuerte actividad industrial en Antioquia, pues además de las fábricas que ya habían, se crea-

ron otras (29). Tal desenvolvimiento trajo aparejada la generalización del uso de la electricidad a todos los campos de la vida humana (30). Se demandaron ingenieros para dirigir el diseño, la construcción y el montaje de las nuevas instalaciones fabriles, así como la adaptación y el mantenimiento de las mismas. La Escuela de Minas jugó aquí un papel fundamental pues fue la encargada de proveer la mayoría de los ingenieros para tales labores. Esos ingenieros civiles asumieron en la práctica las funciones de ingenieros mecánicos, químicos, electricistas e industriales, pues el desarrollo así lo requería. La principal industria antioqueña fue sin lugar a dudas la textil, pues para 1915 el número de fábricas de ese renglón instaladas en Medellín ascendían a doce. Allí se presentaban los principales avances técnicos.

El desarrollo industrial de Antioquia en la época, superaba ampliamente al resto del país. Pero en algunos sitios (como Bogotá con el montaje de los primeros equipos de destilación diseñados en Europa, y el Valle con la instalación en el ingenio Manuelita de equipos evaporadores de azúcar al vapor) constituyeron nuevos e importantes desafíos para la ingeniería nacional, que se asomaba poco a poco el país a la tecnología del siglo XX.

Para 1925 ya había servicio de energía eléctrica en las capitales de los 14 departamentos de entonces, y en numerosas poblaciones más, lo que permitió que en algunas de ellas: Medellín, Bogotá, Barranquilla y Cali, se diera un incipiente desarrollo fabril, en el cual los ingenieros empezaban a participar activamente. Aunque las labores de dibujo, diseño,

construcción, dirección de montajes e instalaciones de nuevos equipos, así como su mantenimiento eran más bien sencillos, sólo los ingenieros estaban capacitados para hacerlo.

Las principales industrias estaban representadas por trilladoras, ingenios azucareros, cervecerías, una fábrica de cemento, jabonerías, talleres de madera, curtidurías, fundiciones y destilerías de licores.

De los avances tecnológicos traídos al país a comienzos del siglo, uno de los más importantes para la ingeniería fue el del uso creciente del cemento, que aun era casi todo importado. Estos y otros desarrollos planteaban a los ingenieros nuevos problemas técnicos en campos de la profesión como la resistencia de materiales, la transferencia de calor, la mecánica de suelos, la hidráulica, la electrotecnia y otros.

Ya para ese entonces existía la refinera de petróleo en Barrancabermeja, la cual desde su apertura en 1922 ocupaba ingenieros extranjeros y operaba como un puro enclave colonial, sin enlaces económicos ni técnicos con el resto del país, aunque los productos destilados allí elaborados fueran destinados al consumo nacional.

6.2. El desarrollo ferrocarrilero. —

Al ascender Rafael Reyes a la presidencia encontró varios ferrocarriles suspendidos en su construcción. Así, una de sus primeras disposiciones fue reiniciarlos y para ello contrató con empresas extranjeras y nacionales su terminación (31). Durante los 5 años de gobierno de Reyes se construyeron más de 350 kilómetros de ferrocarriles. Así mismo, el gobierno contrató los estudios sobre la desem-

bocadura del río Magdalena con el ingeniero Lewis M. Haup. Nuestros ingenieros aún no tenían conocimientos, ni experiencia para abordar estos complejos problemas de hidráulica, fluvilogía y oceanografía. Estas obras públicas dieron nuevo pabulo al interés por la ingeniería entre los jóvenes. Las tres facultades (Universidad Nacional, Universidad Republicana y Escuela de Minas) habían reiniciado labores. En el país debían existir entonces alrededor de unos tres centenares de ingenieros.

Aún después de terminado el gobierno de Reyes, el impulso que él dio a los ferrocarriles continuó. Para 1911 el gobierno de turno contrató la construcción de la línea Manizales-La Virginia, buscando con ello unir a la capital de Caldas con el río Cauca. La construcción en todas sus fases estuvo a cargo de colombianos, siendo éste un positivo síntoma de la preparación y de los conocimientos que ya tenían los ingenieros nacionales. Desde esa época la proyección y construcción de líneas férreas estuvo a cargo de ingenieros de nuestro país (32). Buena parte de la continuación de las obras se debió a la mejora de la economía nacional basada en el auge del café. Este estado de cosas hizo que muchos departamentos aspiraran a hacer sus propios ferrocarriles. Uno de los casos más conocidos fue el del Departamento del Tolima, que en 1919 contrató la construcción del ferrocarril Ambalema-Ibagué con una empresa privada nacional.

Durante el gobierno de Pedro Nel Ospina ejerció las funciones de Ministro de Obras el ingeniero Laureano Gómez. El país atravesaba por un momento fiscal de bonanza, pues tenía en sus arcas los 25 millones de

dólares de indemnización por el atraco de Panamá, así como numerosos empréstitos de bancos extranjeros, que le permitieron impulsar algunas obras que marchaban lentamente (33), el estudio de posibles vías (34), y finalmente la construcción de otras (35).

Un proyecto básico de ese gobierno, que nunca se realizó, fue construir un ferrocarril a todo lo largo del occidente del país, desde Cali hasta Cartagena. Por eso en 1923 inició el trazado de tal obra, partiendo de la estación de Bolombolo, en Antioquia, sobre el río Cauca, por la orilla izquierda aguas abajo. Este trabajo continuó hasta 1929. Al mismo tiempo avanzaba el ferrocarril de Medellín a Bolombolo. Durante el gobierno de Ospina se trabajó en 22 frentes de trabajo ferroviario, en 4 cables aéreos, en 40 carreteras, en comunicaciones inalámbricas, en telégrafos, etc.

Cuando Ospina subió al poder habían 1.481 kilómetros de ferrocarriles los cuales aumentaron en 800 kilómetros durante su gobierno. En total se gastaron 90 millones de dólares desde 1923 hasta 1930, y otros 22 millones de pesos para gastos de operación, reparación y gastos de edificios. Todo este trabajo fue hecho por ingenieros civiles colombianos.

6.3. El desenvolvimiento de otras obras públicas. — El primer automóvil llegó a Bogotá en 1906, y rápidamente se difundió su uso tanto en la capital como en Medellín, lo que significó la introducción de nuevos equipos y máquinas. El motor de Otto, de combustión interna, la llanta neumática, así como diferentes modelos de vehículos destinados a diversas labores de la vida humana. Algunos de

ellos, como la volqueta, se convertían en herramientas esenciales de la ingeniería.

El nuevo artefacto amplió las posibilidades profesionales de los ingenieros, pues a la vez que se requirieron especialistas en mecánica automotriz, se planteó la necesidad de construir carreteras las cuales no existían antes en ninguna parte.

El primer camino de afirmado en "macadam" se inició en 1909. Su ruta era de Bogotá a Facatativa, con un trazado de 45 kilómetros y por él podían transitar además de automóviles, peatones, bestias y carros de tiro. A partir de este momento la construcción de carreteras continuó demandando ingenieros, así como gran cantidad de mano de obra.

Durante la primera guerra mundial (1914-1918) se generalizó en las grandes ciudades el uso de automóviles. A nuestro país además del modelo T de la Ford, llegaron camiones de carga y de pasajeros, intensificándose la construcción de carreteras desde las ciudades mayores a poblaciones vecinas. La totalidad de estas obras fueron diseñadas y dirigidas por ingenieros nacionales. Con esto se impuso en las facultades de ingeniería la formación de ingenieros en el diseño de vías, cátedra que rápidamente fue incluida en los pensumes de estudio de las tres facultades de ingeniería del país.

Pero quizá el mayor empuje a la construcción de carreteras se le debe al ingeniero-presidente Pedro Nel Ospina, quien con gran espíritu progresista, aunado a una buena balanza financiera del gobierno logró proyectar, iniciar y construir buen número de carreteras (36) que unieron im-

portantes centros urbanos, y que permitieron el desarrollo regional y aún local (ver Cuadro N° 1). Este auge de las obras públicas hizo que el número de ingenieros civiles aumentara. En esa época se generalizó el conocimiento y uso de mapas, brújulas, podómetros, tránsito, niveles Abney, niveles Locke, niveles de precisión, decímetros o lienzas, dinamita, mecha de seguridad, gasolina, volquetas, zapa-picas, barrenos de mano, pequeñas plantas dectrógenas de gasolina, etc. A donde quiera que llegara el ingeniero debía ir acompañado de sus inseparables instrumentos de trabajo.

Al igual que en los ferrocarriles, en el gobierno de Pedro Nel Ospina, y por las causas anteriormente anotadas, el kilometraje de las carreteras nacionales aumentó considerablemente. A finales de 1929 la longitud de carreteras abiertas era de unos 2.500 kilómetros, fuera de unos 1.600 kilómetros adaptados para el tráfico automotor. Lógicamente el número de automóviles creció: desde unos pocos centenares que había en 1913 pasó a 15.350 en el año 1929.

Una de las principales obras ejecutadas en ese período fue la construcción de la estratégica carretera de Ibagué a Armenia, que unió el oriente con el occidente del país.

El gobierno de Reyes se había preocupado por intensificar la inversión pública, representada en construcción de acueductos urbanos, entre otras obras. Ello implicó para los ingenieros una inmediata aplicación de una cátedra que hasta el día de hoy es tenida como eminentemente práctica: la hidráulica. Los servicios públicos de acueducto y alcantarillado fueron aumentando cada vez más.

Cuadro N° 1

CARRETERAS EXISTENTES EN EL PAIS — 1925

Departamento	Total kms. en explot.	Porcentaje	Pavimento con triturado de piedra (Kms.)	Cubierta con grava y arena (Kms.)	Sin nin- gún cu- brimiento (Kms.)	Carreteras en cons- trucción (Kms.)
Cundinamarca	1.683	48.9	498	—	1.185	98
Boyacá	367	10.7	277	—	90	21
Santander	302	8.8	276	—	296	18
Valle del Cauca	298	8.7	12	196	90	8
Nariño	240	7.0	—	15	225	20
Antioquia	234	6.8	11	131	92	52
Cauca	120	3.5	7	30	83	43
N. de Santander	80	2.3	—	—	80	15
Tolima	49	1.4	—	—	49	—
Huila	30	0.9	—	—	30	15
Bolívar	30	0.9	—	30	—	20
Magdalena	4	0.1	4	—	—	54
Caldas	—	—	—	—	—	5
TOTAL	3.437	100.0	815	402	2.220	369

FUENTE: Pearse Arno. "Colombia, with special reference to cotton". London, 1926.

Para 1925 las capitales de los 14 departamentos con que contaba el país en ese entonces tenían ya estos servicios.

El país comenzaba a despertar de su letargo. Aparecieron y se activaron nuevos modos de transporte, como el cable aéreo, que dadas las difíciles condiciones de la topografía nacional, representaron efectivas soluciones. En 1913 se inició la construcción del cable aéreo entre Mariquita y Manizales, con un curso de 73 kilómetros, obra que se terminó en 1921, y que fue ejecutada en su totalidad por ingenieros ingleses, pues los ingenieros colombianos no tenían experiencia en esa modalidad de obras de transporte. Así mismo, los sistemas de transporte masivo en las ciudades empezaron a ser una permanente preocupación. En Bogotá, Medellín y Pereira se establecieron líneas de tranvías eléctricos.

6.4. Radiocomunicaciones y teléfonos. — La introducción al país de la telegrafía sin hilos fue hecha en 1911, por la United Fruit Company, en la zona bananera de Santa Marta, que fundó las primeras estaciones radio-transmisoras, las cuales estuvieron ubicadas en Santa Marta, Cartagena y San Andrés y enlazaban con estaciones similares de la misma compañía en las Antillas, Centroamérica y Estados Unidos. Pero este era un servicio estrictamente privado de la empresa, que en nada repercutió como innovación tecnológica a nivel nacional, y al cual fueron totalmente ajenos los ingenieros nacionales (37).

Las primeras estaciones de servicio público fueron instaladas en 1913 por la compañía norteamericana Marconi-Wireless Company en Bogotá

(estación "Morato"), Medellín (estación "Las Palmas") y en Buenaventura. El nuevo servicio creció rápidamente, de tal modo que para 1920 ya había instalaciones telegráficas inalámbricas en Bogotá, Medellín, Buenaventura, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Puerto Colombia, Santa Marta y Arauca.

Simultáneamente se intensificó la construcción de líneas telegráficas por conductor. Para el año 1920 poseía el país una red telegráfica que cubría casi todos los municipios del país. Un año antes ya se prestaban servicios internacionales, pues se inauguró el servicio de cable submarino entre Cartagena y Colón (en Panamá).

Poco a poco la red nacional de radio-comunicaciones fue creciendo. En 1921, además de tener servicios instalados en 20 lugares del país, se establecieron circuitos con Venezuela, Estados Unidos, Panamá y Centroamérica. Operaban la Marconi Wireless y la All America Cables and Radio. La mayoría de sus operadores y técnicos eran ya colombianos capacitados directamente en el trabajo. Hoy estas personas aparecen como los precursores de la ingeniería electrónica en nuestro país. Buena parte de este empuje a las comunicaciones inalámbricas fue dado por el ingeniero-presidente Ospina, quien no se dio tregua en la labor de modernizar el país.

Los servicios de telefonía también aumentaron, pues desde el gobierno de Reyes se formaron empresas privadas o municipales de teléfonos en las principales ciudades, en las cuales empezaron a participar ingenieros civiles colombianos planeando y dirigiendo la instalación de las líneas

telefónicas. Este trabajo los llevó a interesarse en el funcionamiento de las centrales telefónicas y de los aparatos, y a familiarizarse con esos sistemas, nuevos entonces en el país.

Las comunicaciones inalámbricas se vieron estimuladas porque en 1924 el gobierno contrató una misión belga que se encargó de preparar técnicos y de estudiar la extensión de las radiocomunicaciones a otras regiones del país (38).

Así, los servicios de telefonía, telegrafo, correo y transporte de pasajeros creció de manera rápida durante el gobierno de Pedro Nel Ospina. Por ejemplo, para 1927 los cables telefónicos sumaban 34.680 millas, para 21.110 aparatos instalados, frente a 5.094 millas que había en 1913 para 3.177 aparatos. La longitud de cable telegráfico pasó de 11.680 millas a 20.066 millas.

6.5. Los comienzos de la aeronavegación. — La navegación aérea entró de lleno en la tecnología del mundo occidental con la primera guerra mundial, pues se la convirtió en una poderosa arma, lo que permitió su vigoroso desarrollo técnico. Así, el diseño, la operación y el mantenimiento de los aviones formaron a nivel mundial una nueva especialidad dentro de la ingeniería: la ingeniería aeronáutica. La aviación comercial en el mundo tuvo sus inicios en Medellín, donde a comienzos de 1919 se fundó la Compañía Colombiana de Navegación Aérea, fundada y gerenciada por Guillermo Echavarría Misas. Se trajeron cuatro aviones franceses pilotados por franceses, norteamericanos e italianos, quienes manejaban y mantenían los aviones. El intento fracasó rápidamente, pues al año si-

guiente se habían accidentado todos los aviones.

En el mismo año, en Barranquilla, se fundó la Sociedad Colombo-Alemana de Transportes Aéreos, SCADTA, la cual contaba con socios colombianos y alemanes, y con pilotos e ingenieros alemanes. El primer vuelo se efectuó desde Estados Unidos a Puerto Colombia en junio de 1919. La nueva compañía tuvo éxito, y posteriormente amplió el número de sus aviones e itinerarios, e incorporó cada vez más, pilotos y técnicos colombianos. Esta es hoy la compañía Avianca.

Entraron así nuevos saberes a la tecnología del país: la aerodinámica, la meteorología, la radio-electrónica, etc., empezaron a ser materias de dominio por parte de radio-operadores y mecánicos, así como de algunos ingenieros civiles colombianos, quienes aprendieron, sobre el trabajo, a localizar, construir y a nivelar pistas de aterrizaje y torres de control, lo cual era para ellos un nuevo quehacer.

De todas formas en nuestro país la navegación aérea sólo vendría a repercutir como factor de demanda de ingeniería hacia los años cincuenta, con la sofisticación tecnológica que trajeron los modelos de aviones y de motores posteriores a la segunda guerra mundial.

6.6. Los inicios de la radiodifusión. — Otra innovación técnica y económica llegó a Colombia a mediados de los años veinte: la radiodifusión comercial, y en general la radio electrónica. Al igual que en la aviación, su importancia se hizo evidente a partir de la primera guerra mundial, pues toda la capacidad para producir radiotransmisores y radio-

receptores fue aplicada entonces a atender necesidades militares. Apenas terminó el conflicto, el uso de radioreceptores y de estaciones emisoras se generalizó en los Estados Unidos, en Europa y en todo el mundo con el radioreceptor doméstico.

En Colombia se instalaron en 1923 las primeras radioemisoras locales en onda larga y onda corta, con una pequeña potencia de 5 kilovatios en antena, y desde entonces comenzaron a importarse al país los radioreceptores domésticos de tubos de vacío. Las primeras emisoras fueron operadas por técnicos colombianos que habían viajado a Estados Unidos a aprenderlo. Así mismo, se creó la necesidad de su mantenimiento y reparación, naciendo con todo ello nuevos oficios técnicos, que con el tiempo se convertiría en una nueva modalidad de la ingeniería: la ingeniería de sonido y la ingeniería electrónica.

7. La ingeniería en Colombia de 1930 a 1950

Debido a la gran crisis mundial de 1930 a 1932 prácticamente se paralizó el ejercicio de la ingeniería en Colombia. Sólo unas pocas obras públicas continuaron, y eso por un corto tiempo. Las tres facultades de ingeniería (Bogotá, Medellín y Popayán) continuaron abiertas, pero el número de estudiantes rebajó sensiblemente y sus egresados en esos años fueron pocos.

El gobierno del doctor Enrique Olaya Herrera luchó contra la crisis. Se aplicaron medidas proteccionistas para la industria nacional, mediante aranceles altos a las importaciones, y se actuó sobre el fisco y la moneda. Pero la clave de la solución se daría en el centro mismo de la crisis: los

Estados Unidos, donde en 1932 asumió la presidencia Franklin D. Roosevelt, quien aplicó de inmediato su política keynesiana del "New Deal" contra la recesión de ese país, con resultados eficaces inmediatos, que también repercutieron favorablemente en Colombia, pues el mercado cafetero volvió a reponerse. A la par con esta rehabilitación se reiniciaron algunas obras públicas (39).

En medio de la Gran Crisis, en 1931, el ingeniero Germán Uribe Hoyos elaboró y presentó al Congreso el primer Plan Nacional de Carreteras (ley 88 de 1931), lo cual constituía una novedad técnica, administrativa y económica en Colombia. Era el comienzo de un impulso interno a la construcción de carreteras como función del Estado. Con base en el citado plan se siguieron construyendo las carreteras en los 15 años siguientes (40). El impulso dado a las carreteras significó para la ingeniería un importante paso y un empuje, pues los ingenieros se hallaron otra vez ocupados, en número apreciable, en la construcción de obras públicas.

Todavía entonces el trabajo de los ingenieros en el campo era una dura labor, llena de dificultades técnicas, ambientales y humanas, que tipifican las épocas de la "Ingeniería heroica".

Fue política gubernamental en aquellos años responder con obras de mayor envergadura a las necesidades crecientes de la población en las ciudades principales. Así por ejemplo, en Medellín se construyó en 1932 la Central Hidroeléctrica de Guadalupe, la cual contaba con una capacidad generadora de 10 mil kilovatios, constituyendo en su tiempo una obra extraordinaria de ingeniería hidráulica, de electrotecnia y de diseño de estructuras en concreto. La

obra fue ejecutada y diseñada por ingenieros colombianos, pero necesitó asesoría de ingenieros extranjeros, especialmente en algunos aspectos de diseño hidráulico, diseño y montaje eléctrico y mecánico, e instalación eléctrica. Esta obra significó un aumento fundamental en el orden de magnitud de la electrificación en el país, que hasta entonces estaba apenas en estado incipiente, y existía solamente a escala local de cada ciudad o población. Lógicamente, el deseo gubernamental por acondicionar y modernizar las ciudades, contempló la ampliación de redes eléctricas, la construcción de acueductos y alcantarillados (41), constituyendo una importante palanca de progreso para la técnica y para la economía nacional. Las necesidades de mejores he-

rramientas de trabajo determinaron en esos años treinta la introducción de novedosos incrementos como la máquina calculadora manual, el taladro neumático, la grúa autopropulsada de vapor, el bulldozer, la máquina cilindadora (a vapor y diésel), así como el motor diésel. La utilización del acero se extendió a casi todas las actividades de la ingeniería, dándole un mayor rigor y confiabilidad a las nuevas estructuras que se calcularon y levantaron. La hidráulica, la resistencia de materiales y el diseño de concreto empezaron a ser materias de obligado conocimiento por parte de los ingenieros colombianos, lo que requirió de ellos una mayor actualización y especialización para responder a las nuevas necesidades técnicas de la construcción.

Cuadro N° 2

EXPANSION DE LA RED FERROVIARIA

AREA	1922 (Kms.)	1934 (Kms.)	Crecimiento porcentual
Caribe	313	486	55.27
Antioquia	242	439	81.40
Pacífico	341	678	98.82
Tolima	205	310	51.21
Cundinamarca	249	626	151.40
Santander	92	192	108.70
Caldas	39	117	200.00
TOTAL	1.481	3.262	120.25

NOTA: En el lapso de un lustro, 1925-1929, el stock de capital en equipo de transporte casi se duplicó: en 1925 era de 620 millones de pesos, y en 1929 ascendía a 1.100 millones de pesos. Entre 1925 y 1931 la red ferrocarrilera también se duplica: de 1.500 kilómetros en 1925 a 3.000 kilómetros.

Pero no sólo el sector estatal requirió el servicio de los ingenieros. La industria, que desde el fin de la crisis, había entrado en un franco proceso de crecimiento —sobre todo en Medellín y Bogotá— demandó cada vez más el servicio de más ingenieros. Estas funciones fueron asumidas por los ingenieros civiles, los que tuvieron que adaptar y ampliar, rápida e idóneamente sus conocimientos para atender el nuevo tipo de demanda de conocimientos, centrada en el manejo de una gran variedad de técnicas de operación de fábricas y de procesos industriales.

Las tres principales innovaciones introducidas en la época fueron:

a) La generalización del uso del motor eléctrico, que reemplazó en la generación de fuerza motriz al tradicional y antieconómico sistema de la máquina de vapor, que hacía girar uno o varios ejes elevados de poleas. Con tal innovación se pudieron crear industrias pequeñas y medianas.

b) La adopción de técnicas modernas de refrigeración mecánica o industrial, que fueron introducidas por primera vez en las cervecerías que funcionaban en el país, y que poco a poco fueron adoptadas por los ingenieros colombianos en las industrias de alimentos, bebidas, drogas, etc.

c) El comienzo de la producción de acero en el país, en lo cual tuvo mucho que ver la popularización del concreto y el uso del cemento Portland (42). Las primeras barras de acero se fabricaron en Medellín hacia 1939, con la activa participación de los ingenieros nacionales, quienes se encargaron de importar la tecnología industrial de los países desarrollados del exterior. A propósito

cabe anotar que esta práctica ha sido la común en materia de tecnología industrial y que ha llevado a descuidar el análisis crítico de esas tecnologías y a desestimar el posible desarrollo de tecnologías autóctonas más apropiadas.

Si se analizan los títulos de las tesis de la Escuela de Minas entre 1893 y 1940 podemos apreciar que los ingenieros civiles y de minas se interesaban por toda clase de temas técnicos, además de los de su profesión específica, así como por las innovaciones tecnológicas, muchas de las cuales fueron estudiadas en las citadas tesis aun antes de ser realidades en el país, cubriendo así el amplio universo de las ciencias de la ingeniería.

Además de construir obras públicas de todo tipo, los gobiernos reformistas de los años treinta crearon y modernizaron instituciones que tenían o que habrían de tener fuerte incidencia en el perfil tecnológico del país. En 1931 se crearon la Caja Agraria y el Banco Central Hipotecario. Este último sería desde entonces un activo constructor de vivienda urbana o financiador de ella.

En 1935 se reestructuró, mediante la ley 68, la Universidad Nacional. En 1936 se creó el Servicio Geológico y Minero en el ministerio del ramo. En 1935 se fundó el Instituto Geográfico Militar y Catastral Agustín Codazzi, a partir de la antigua Oficina de Longitudes, y que estuvo adscrito al Ministerio de Guerra hasta 1958, año en que pasó al Ministerio de Hacienda. Desde su fundación la citada institución ha cumplido la función de levantar la carta geográfica de Colombia, inventariar sus recursos naturales y formar el Catastro Nacional de tierras y predios ru-

rales y urbanos. El instituto ha sido un gran centro de práctica para ingenieros civiles y de minas, así como para geólogos y oficiales del ejército. Ha sido también, una gran escuela de especialización en disciplinas como la cartografía, la meteorología, la geodesia, la geología y la agrología, directamente relacionadas con su función propia.

El papel del Estado respecto a la ingeniería no se limitó a impulsar sus campos de aplicación en más y mayores obras públicas, sino que, por primera vez se dio una reglamentación oficial al ejercicio profesional. Con este objeto el gobierno presentó el respectivo proyecto al Congreso y éste lo convirtió en la ley 94 de octubre de 1937. Esta ley creó el Congreso Profesional Nacional de Ingeniería y estableció la necesidad de obtener la matrícula profesional para poder ejercer la profesión.

7.1. La coyuntura de la guerra. — Durante la segunda guerra mundial ya todas las concepciones sobre la ingeniería y la tecnología provenían de los Estados Unidos. La influencia francesa que había sido dominante y muy fuerte hasta los años veinte se sustituyó, más o menos rápidamente en el período de la Gran Crisis, por la influencia norteamericana. Se mudó de la concepción francesa del ingeniero como "Ingenieur du Génie Civile, ou Chimique, ou Electrique..." a la del simple "Engineer (Civil, Chemical, Electrical, etc.)" de los norteamericanos.

Para 1940 las facultades de ingeniería civil ascendían a cuatro: Universidad Nacional de Bogotá, Escuela de Minas de Medellín, Universidad del Cauca en Popayán (43), y Universidad de Cartagena. Existía una

facultad de Minas, la de la Escuela de Minas de Medellín; y una reciente de ingeniería química industrial en la Universidad Católica Bolivariana de Medellín. Las otras especializaciones de la profesión no se conocían, sino a través de algunos graduados en el exterior.

La segunda guerra mundial vino a equilibrar la oferta y la demanda de ingenieros en el país, siendo así quizá, una época única en la historia de la profesión, pues lo más frecuente ha sido que la economía nacional no ocupe suficientemente a la totalidad de los ingenieros existentes, sino solamente a una parte de ellos.

La guerra propició un nuevo impulso a la industrialización del país. Aparecerán durante este período nuevas tecnologías, nuevas empresas y nuevos productos. Por ejemplo para 1937, en Medellín, se comenzó a trabajar en repujado y troquelado de aluminio en lámina y discos para elaborar artículos de ese metal para uso doméstico. De igual forma, en 1940, en Barranquilla y Medellín se inició la fabricación de rayón-viscosa, el que se producía de manera industrial, desde 1892, en los Estados Unidos. Quizá la industria de mayor crecimiento en ese lapso fue la textil, cuya maquinaria se automatizó casi totalmente. Algunos avances tecnológicos que se registraron en la industria en la época fueron la instalación de la primera planta de ácido sulfúrico (en Medellín), el montaje del sistema de evaporación al vacío para preparar la leche en polvo (en Bogotá, 1942), y la producción de cloro por electrólisis.

Todos estos desarrollos industriales y tecnológicos condujeron a la creación en Medellín de la segunda

Cuadro N° 3
 LA EXTENSION DE LAS LINEAS FERREAS, 1904-1949
 (CIFRAS EN KILOMETROS)

Líneas Férreas	1904	1909	1914	1922	1934	1949
FC. de Antioquia	66	102	205	242	439	338
FC. de Cúcuta	71	77	71	72	83	60
FC. de La Dorada	33	119	111	111	111	111
FC. de Girardot	49	132	132	132	132	132
FC. del Pacífico	43	94	234	341	678	824
FC. del Tolima	17	25	30	94	199	236
FC. de Ambalema-Ibagué	—	—	—	—	65	65
FC. de La Sabana	40	40	40	55	238	200
FC. Central Norte	47	74	82	82	365	341
FC. Central Nordeste	—	—	—	—	252	253
FC. de Caldas	—	—	—	39	117	111
FC. de Nariño	—	—	—	—	97	111
FC. de Bolívar	27	27	28	28	28	—
FC. de Cartagena	105	117	105	105	105	105
FC. de Santa Marta	67	94	128	180	189	96
Otros	—	—	—	—	164	—
TOTAL	565	901	1.116	1.481	3.262	2.983

FUENTE: W. Mc Greevey, Economic History of Colombia.

escuela de ingeniería química, la de la Universidad de Antioquia, en 1943. Esta, al igual que la de la Bolivariana, estructuraban sus p^énsum alrededor de las matemáticas, la física y la química como ciencias básicas; así como de materias técnicas y específicas. Al principio se les quiso imprimir un carácter similar al de la ingeniería civil, pero con la práctica docente y profesional, la naciente especialidad tomó un perfil propio, incorporándose definitivamente al acervo cultural y tecnológico del país, como lo harían posteriormente otras nuevas especialidades que surgirían después.

El desarrollo vial del país, como el auge de los automotores de gasolina y diésel, hizo que la demanda nacional de llantas y neumáticos de caucho aumentara, de tal forma que en 1944 se inició en nuestro país su fabricación.

Las radiocomunicaciones fueron nacionalizadas por la ley 6 de 1943, fundándose la Empresa Nacional de Radiocomunicaciones en 1945, la cual creció rápidamente, absorbió en 1950 el servicio de teléfonos a larga distancia y se transformó en la Empresa Nacional de Telecomunicaciones. En el mismo año se estableció el radioenlace de V.H.F. entre Bogotá y Medellín.

Los sistemas telefónicos locales de las ciudades también crecían y se automatizaban, al mismo tiempo que se abrían canales internacionales. Así se creaba paulatinamente una demanda de ingenieros electrónicos en el país.

8. La ingeniería de 1950 hasta el presente

8.1. La enseñanza de la ingeniería en los años cincuenta. — Al comen-

zar la segunda mitad del siglo XX había en el país alrededor de mil ingenieros civiles, y unos cien ingenieros químicos, pero la ingeniería en nuestro medio carecía casi totalmente de especialistas en ingeniería eléctrica y mecánica. Los pocos que había eran formados en Estados Unidos. Otras diversificaciones, como la ingeniería industrial, la metalúrgica, la electrónica o la de sistemas eran totalmente desconocidas.

Tales especialidades ya eran necesarias porque la industrialización del país, representada en la creación de nuevas industrias y en el ensanche de las existentes, así como la creciente demanda de servicios públicos y de infraestructura en las grandes ciudades, demandaban personas especializadas, que la tradicional ingeniería civil no podía suministrar, pues los adelantos tecnológicos eran cada vez más complejos y diversificados.

Aunque algunos ingenieros civiles hubieran salido al exterior en busca de estudios de postgrado, era necesario que en el país se formaran nuevas facultades. Fue así como en 1941 se fundó la Universidad del Atlántico con una facultad de ingeniería química. Luego, en 1948 se fundó la Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga, con cuatro escuelas: Ingeniería Mecánica, de Petróleos, Química y Eléctrica. Y en 1949 la Universidad de Los Andes con programas académicos de varias ingenierías (civil, mecánica y eléctrica) cuyos primeros años se cursarían en el país, para ir luego a Estados Unidos a cursar los últimos años. En el mismo año se creó la Universidad del Valle, que abrió, entre otras, una facultad de ingeniería electromecánica. En el mismo año la Universidad

Nacional abrió la facultad de ingeniería civil en Manizales.

Así mismo, durante la década del cincuenta se fundaron nuevas universidades: Gran Colombia, América y San Luis, o se crearon nuevas facultades de diversas ingenierías en las universidades existentes. Así progresaba y se ampliaba la profesión de ingeniero, en los ramos de ingeniería eléctrica con dos facultades, ingeniería química con siete facultades, ingeniería mecánica con una facultad, y la ingeniería de petróleos con dos facultades.

Los planes de estudio trataban de conjugar la teoría con la práctica, pero los laboratorios de práctica eran pocos, escasamente dotados y poco utilizados, pero mejores que los de diez y veinte años atrás, que casi ni existían. Así mismo, se enseñaban materias acordes con las especializaciones que había en el país. Por ejemplo, en ingeniería mecánica se dictaban materias avanzadas como el diseño de máquinas; en la ingeniería eléctrica, la teoría de circuitos, etc. No es fácil establecer con rigor y nitidez científica en qué forma incidió la preparación académica específica en las realizaciones profesionales de los ingenieros. Pero probablemente esa influencia se ejercía a través de tres elementos:

1. La elevada exigencia académica en los estudios de ciencias básicas, especialmente de matemáticas y física, establecía un mecanismo de selección intelectual severa sobre los aspirantes e ingenieros.
2. La preparación polivalente en ciencias de la ingeniería (mecánica, electricidad, resistencia de materiales, termodinámica, hidráulica, metalurgia) habilitaba a todos los in-

genieros (civiles y otros) para enfrentar tareas muy variadas de la profesión aplicada a distintos campos.

3. A pesar de la escasa o nula preparación formal que las facultades impartían en ciencias económicas, sociales y humanas, los ingenieros —por la índole de su trabajo— entraban siempre y rápidamente en contacto con problemas de esta naturaleza, aprendían sobre la marcha a resolverlos con su inteligencia ya probada en las aulas y se convertían así en los profesionales con mayor amplitud de conocimientos y habilidades.

El número de ingenieros que había en 1954, su diversificación en especialidades, su importancia como gremio profesional, y su intervención en asuntos públicos, llevó a que en junio de ese año, el gobierno de Rojas Pinilla dictara una nueva reglamentación legal de las profesiones de ingeniería y arquitectura, por medio del decreto 1782 de 1954.

8.2. La enseñanza de la ingeniería en los años 60 y 70. — Durante estas décadas se aprecia un incremento en la enseñanza de diferentes y novedosas modalidades de la ingeniería, como la electrónica, la industrial y la de sistemas, así como la fundación de muchas nuevas facultades.

La primera facultad de Ingeniería Electrónica la tuvo la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, establecida en 1957, aunque contando entonces con grandes limitaciones académicas. Para 1961, con el apoyo de TELECOM, se abrió en la Universidad del Cauca la facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, con profesorado nacional y extranjero y con buenos equipos para ex-

perimentación y práctica. Luego, se fundaron facultades análogas en la Universidad Javeriana (1962) y en la Universidad Bolivariana (1965).

Un paso importante fue dado en los primeros años de la década del sesenta, cuando la marina y la aviación militar, dieron a sus escuelas de preparación de oficiales (en Cartagena y en Cali respectivamente) el carácter de instituciones universitarias, precisamente encargadas de impartir las carreras de Ingeniería Naval y Aeronáutica, respectivamente).

En 1960 se fundó la Universidad Tecnológica de Pereira con Ingeniería Industrial e Ingeniería Eléctrica. En la Universidad Nacional se fundan las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica, anexas a la facultad de Ingeniería; y pocos años después las estableció en la seccional de Manizales. La Universidad Libre, en Bogotá, creó su facultad de Ingeniería Metalúrgica. En la Universidad del Valle se separó el programa de Ingeniería Electromecánica en dos: Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica. En la Universidad Industrial de Santander se fundan las facultades de Ingeniería Industrial e Ingeniería Metalúrgica. En la Universidad de Antioquia se abrieron las de Ingeniería Metalúrgica, Industrial, Eléctrica y Mecánica.

Finalmente, en los últimos años sesenta la Universidad de los Andes abrió el primer programa de formación de ingenieros de sistemas, y desde entonces otras varias universidades lo han hecho. Este crecimiento de las facultades de ingeniería, así como el de sus especialidades, ha determinado un gran aumento del número de ingenieros. En 1966 había algo más de 5 mil en el país; en 1970

el número era cercano a 9 mil, y para 1983 llegaba a 20 mil en 22 especialidades.

Conjuntamente con ello ha habido un incremento muy notorio en el número de magister (M. Sc. M. E.) y doctorados (Ph.D., Dipl. Ing.). Se ha visto también que no pocos ingenieros se apartan de la profesión para convertirse en negociantes, administradores, gerentes, políticos, agricultores, vendedores y otros oficios. Pero, en general, la enseñanza de la ingeniería ha alcanzado un nivel académico bastante aceptable. No ocurre lo mismo en el campo de la investigación científica y tecnológica en este campo, pues todavía es escasa, dispersa y de limitada aplicación.

8.3. Avance técnico-industrial desde 1950. — Durante los últimos decenios las antiguas fábricas han modernizado sus equipos, incorporando novedades como los sistemas de control y medición, la instrumentación electrónica, los nuevos sistemas de manejo de sólidos, calderas más grandes, las máquinas-herramientas de control numérico, el acondicionamiento central de aire, y otras.

Se hicieron grandes ensanches en numerosas fábricas como las de fibras celulósicas, cloro electrolítico, cemento gris, pinturas, textiles, fertilizantes nitrogenados, azúcar, ácido sulfúrico e industrias metalmeccánicas livianas. En aquellos años se montaron en el país los primeros reactores químicos tipo auto-clave, los cuales, desde entonces serían el instrumento esencial de la ingeniería química en el país.

Pero hubo de mediar en el avance técnico industrial del país y en el de su ingeniería, que se conformaran al-

gunas grandes empresas estatales, así como otras privadas, para que definitivamente Colombia entrara en un importante proceso de industrialización con más altos niveles tecnológicos.

En efecto, en 1950 se creó la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol), la cual recibió en reversión la concesión petrolera de Mares y la refinería en Barrancabermeja. A través de dicha empresa se afianzó el dominio de los ingenieros de minas y de los geólogos colombianos, sobre la técnica de exploración de petróleo y de gas, de perforación de pozos y de operaciones de refinación. En esta forma cobraron mayor importancia en la formación de algunos ingenieros, y en la práctica de su profesión, ciencias como la geología estructural, la geofísica, la paleontología y otras, que son fundamentales para el trabajo en petróleo y en minería subterránea.

Hacia 1950 se instaló una fábrica de papel en Cali, para hacer papeles y cartones para cajas de empaque. Fue montada por ingenieros químicos y mecánicos extranjeros, pero a los pocos años los especialistas colombianos habían asimilado esa tecnología, incluyendo el manejo de la compleja máquina Fourdrinier para hacer papel.

La primera gran industria química pesada, la planta de soda de Zipaquirá, se inauguró en 1951, para fabricar soda cáustica, carbonato de sodio y bicarbonato de sodio por el proceso Solvay (44). Además, de nuevas tecnologías y equipos, los ingenieros químicos colombianos que colaboraron en el montaje de la planta tuvieron ocasión de abrir en el país el desarrollo de la industria química

básica, así como de consolidar la profesión de la ingeniería química.

La planta de soda llegaría a ser un prototipo para el posterior desenvolvimiento de la industria química pesada. La refinería de Barrancabermeja y la Planta de Soda en Zipaquirá fueron los primeros grandes campos de entrenamiento de los ingenieros químicos.

El proceso se completaría con la iniciación en el país de la producción de fertilizantes nitrogenados en Barrancabermeja (1959) y en Cartagena (1960), en plantas que fueron íntegramente diseñadas y construidas desde el exterior, pero en cuyo montaje tomaron parte activa ingenieros químicos colombianos que rápidamente aprendieron a operarlas y mantenerlas. Este es otro ejemplo de la forma como la tecnología fue asimilada rápidamente por los ingenieros nacionales.

La inauguración de la Siderúrgica de Paz del Río, en 1954, coronó un gran trabajo, realizado en buena parte por ingenieros colombianos, con ayuda de ingenieros metalúrgicos e ingenieros mecánicos franceses. Todo se inició cuando el ingeniero colombiano Olimpo Gallo, descubrió en 1937 los yacimientos de mineral, y culminó con Daniel Jaramillo Ferro, quien como primer gerente de la empresa inició la producción. En ese momento, cuando aún no había en Colombia ninguna experiencia en industria siderúrgica integrada ni ninguna facultad de ingeniería metalúrgica, Paz del Río sirvió de escuela y de campo de experimentación y de conocimiento sobre la minería del carbón y el hierro, metalurgia, etc. Así como de equipos, operaciones, sistemas y prác-

ticas de ingeniería, que en su mayoría eran nuevas en el país.

Hacia 1954 y 1955 varias grandes empresas fabriles antioqueñas trajeron misiones de ingenieros industriales norteamericanos, para realizar los primeros estudios de tiempos y movimientos en operaciones de fabricación, así como para establecer salarios por incentivos. Estas técnicas fueron absorbidas en las fábricas por ingenieros químicos, civiles y mecánicos que ya trabajaban en ellas y que se convirtieron, casi de la noche a la mañana, en ingenieros industriales actuantes, cuando aún no habían comenzado a expedirse títulos de esta profesión en nuestras universidades y cuando sólo había graduados, como tales, unos pocos ingenieros industriales de escuelas y universidades norteamericanas.

Entre 1950 y 1954 la industria colombiana alcanzó tasas de crecimiento bastante elevadas, mientras entraba decididamente en un proceso de diversificación hacia la producción de materias primas artificiales, en procesos de más altos requerimientos tecnológicos. Entre 1952 y 1959 surgieron muchas nuevas producciones industriales en el país (45).

La década de los sesenta se caracterizó por las dificultades cambiantes. Sin embargo, tanto en el sector público como en el privado, se logró una serie de realizaciones técnicas y económicas importantes, así como la incorporación de tecnologías nuevas, aplicadas en un principio por extranjeros, pero luego dominadas prontamente por ingenieros colombianos.

Una de las más significativas iniciativas para aprovechar las ciencias de la ingeniería en beneficio del de-

sarrollo económico nacional, fue la fundación del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (Bogotá, 1958) por cinco entidades oficiales: la Caja Agraria, la Federación de Cafeteros, el Instituto de Fomento Industrial, Ecopetrol y el Banco de la República. Desde su fundación el Instituto ha hecho importantes aportes a la tecnología industrial y agroindustrial que necesita el país (46).

Entre las incorporaciones tecnológicas importantes en esos años destacamos: el montaje en Cali de la primera fábrica de papel de escritura a partir del bagazo de caña; la primera, y todavía única, fábrica para hacer vidrio plano, en Zipaquirá (1961); la iniciación en Bogotá (1961) de los primeros ensambles de automotores; el nacimiento y desarrollo vigoroso de la petroquímica; la instalación en Bucaramanga de la primera forja-estampa pesada, y la fabricación nacional de circuitos impresos. En una y otra forma todos estos adelantos han involucrado a los ingenieros colombianos y han permitido su mayor especialización.

La industria manufacturera no tuvo grandes desarrollos en los años setenta, ni se diversificó notablemente. Como nuevos proyectos ejecutados merece citarse la entrada en servicio en 1970 de la gran planta de Monómeros Colombo-Venezolanos, la mayor fábrica química del país, especializada en producir epsilon-caprolactama, ácido sulfúrico, nitrato de amonio, sulfato de amonio, y fertilizantes compuestos. Así mismo, se han realizado ensanches en la siderúrgica de Paz del Río, fábricas de cementos, cervecerías y plantas químicas. En estos proyectos han participado los ingenieros colombianos como diseñadores y constructores, amplián-

dose con ello los conocimientos de las diferentes especializaciones de la ingeniería.

8.4. Obras públicas a partir de los años cincuenta. — La ley 12 de 1949 fue promulgada por el Congreso, a propuesta del gobierno del presidente ingeniero Mariano Ospina Pérez. Esa ley estableció un plan para construir, mejorar y pavimentar carreteras en los diez años siguientes. En desarrollo de esa ley, el presidente-ingeniero Laureano Gómez Castro dictó el Decreto 0116 de 1951 por el cual se fijó el plan de obras en las carreteras nacionales de 1951 a 1954. Se reanudaba la modalidad de los planes viales que al expirar el plan de 1931, había desaparecido.

Los primeros años de la década del cincuenta se caracterizaron por una gran actividad en construcción y pavimentación de carreteras. Como en estas obras se usaban los primeros préstamos obtenidos del Banco Mundial, y en Colombia no había grandes compañías constructoras, la mayor parte de ellas fueron hechas por compañías contratistas extranjeras (47), las que generalizaron el uso de maquinaria pesada para la construcción de vías como el bulldozer, la motoniveladora, el tractor de oruga, la pala mecánica y la retroexcavadora. Hasta ese momento los ingenieros colombianos, aunque muy aptos técnicamente, no habían adquirido una capacidad financiera y administrativa que los habilitara para asumir tareas de construcción de gran tamaño. A partir de la introducción de la nueva maquinaria nuestros ingenieros civiles se familiarizaron rápidamente con esos equipos, y algunos de ellos, mejor financiados o más emprendedores, comenzaron a formar empresas constructoras nacionales, que tuvieron

resultados económicos frecuentemente favorables, dando así inicio a las primeras firmas consultoras y constructoras en el campo de la ingeniería civil (48).

Así mismo, se emprendieron las primeras obras de irrigación en el país en el río Coello y en el río Saldaña en el Tolima. Con ellas se vio la necesidad en las facultades de ingeniería en el país, de intensificar la enseñanza de la hidráulica, especialmente en los campos de construcciones de canales abiertos y estructuras hidráulicas.

Como consecuencia del rápido crecimiento demográfico e industrial en las ciudades, se experimentaba una demanda en rápido aumento de energía eléctrica (49), por lo que el gobierno nacional en 1950, creó el Instituto de Fomento Eléctrico y Aprovechamiento de aguas, Electraguas, con el fin de estudiar y construir nuevos proyectos en el país.

Además, el gobierno contrató una misión de la empresa francesa Electricité de France, para que estudiara las posibilidades de desarrollo eléctrico de Colombia e identificara proyectos para la construcción futura de nuevas plantas generadoras y de líneas de transmisión (50). La misión francesa señaló proyectos como los del río Bogotá, el río Prado, el río Nare y otros, que eran de mayor magnitud de lo que se conocía en ese momento, y que involucraron al país en la construcción de nuevas y mayores centrales hidroeléctricas. Fue así como se impulsó en el país el estudio de la ingeniería eléctrica, como profesión específica, con programas de estudios propios, y diferenciados de la ingeniería civil. Sin embargo, los nuevos programas demandaron no

sólo ingenieros electricistas, sino también de otras diferentes ramas de la ingeniería. La necesidad de interconectar eléctricamente al país (51) con líneas de transmisión a voltajes más elevados, ha requerido por parte de los ingenieros electricistas proyectar, diseñar, calcular y operar nuevas y mayores centrales de generación. El conjunto de empresas generadoras eléctricas reunían a mediados de 1983 casi 5.000 megavatios de capacidad generadora instalada (52).

En estas empresas los ingenieros civiles han tomado a su cargo la construcción de difíciles carreteras de penetración y acceso, grandes presas de tierra y de concreto, túneles, embalses, torres de captación y otras obras mayores de construcción que han obligado a aplicar intensamente la hidrología, la hidráulica, la geología, la mecánica de suelos, la tecnología de máquinas de movimientos de tierras, la resistencia de materiales, el diseño de concreto y las técnicas cuantitativas de programación de obras. De igual forma los ingenieros mecánicos han tenido a su cargo el diseño, la construcción y el montaje de compuertas pesadas, transmisiones de fuerza, tuberías, válvulas, bombas y turbinas de todo tipo, calderas de vapor, mecanismos de control, puentes-grúas, etc. Para ello, han aplicado sus conocimientos de diseño estructural, mecanismos, diseño de máquinas, termodinámica aplicada, estructuras hidráulicas y mecánica de materiales. Así mismo, los ingenieros electrónicos han jugado papel fundamental en el planeamiento, la instalación y la operación de sistemas de control y medida en centrales eléctricas y subestaciones. Para ello han requerido sobre todo conocimientos de electromagnetismo, electrónica fí-

sica, equipo electrónico y sistemas digitales.

Así cada vez más hay una tendencia hacia el trabajo en equipo, exigida por la diversificación de las actividades y por la complejidad creciente de la vida del país.

El crecimiento en la capacidad de generación eléctrica en el país ha sido sumamente rápido en estos decenios, como lo muestran las cifras siguientes:

Años	Megavatios
1950	238
1955	433
1960	670
1965	1.248
1970	2.078
1975	3.154
1980	4.580

En materia de ferrocarriles lo más significativo fue la construcción del ferrocarril del Magdalena el cual fue ideado en 1946, bajo el gobierno de Ospina Pérez. En los años siguientes se comenzaron los estudios y el trazado, utilizando para ello, por primera vez en Colombia, los estudios aerofotogramétricos. En 1953 se inició la construcción en Puerto Salgar, con el propósito de llevarlo hasta Gamarra. Esta fue una obra realmente titánica pues las dificultades materiales y físicas fueron muchas, pero se lograron vencer gracias al desarrollo técnico y sanitario que permitían los recursos que habían sido desarrollados durante la segunda guerra mundial. La obra fue realizada por ingenieros colombianos.

En 1954 durante el gobierno del ingeniero y General Gustavo Rojas Pinilla, se decidió llevar el ferrocarril

hasta Fundación, donde empalmaría con la vieja línea Santa Marta-Fundación, para conectar directamente a Bogotá con Santa Marta. En consecuencia, se le denominó desde entonces Ferrocarril del Atlántico. Su construcción sólo se terminó en 1961. Pero desde entonces las vías férreas fueron descuidadas, desmantelado una gran parte, y en general, los Ferrocarriles Nacionales han ido cayendo en un deterioro cada vez mayor.

Durante aquellos años, en materia de construcción de carreteras, se terminó la carretera troncal de Occidente y la troncal de Oriente y, en general, la red de carreteras aumentó considerablemente en todo el país.

En efecto, en los últimos decenios, la red nacional de carreteras ha crecido de la siguiente forma: (ver cuadro). Las cifras muestran un importante desarrollo de las carreteras pavimentadas, por haberse generalizado el uso de las máquinas alfileras.

Así mismo, en los años sesenta se construyeron carreteras con nuevas y mejores especificaciones, como la de Bogotá-La Dorada, Puerto Triunfo-Medellín; o se ha reconstruido con grandes mejoras obras antiguas, como Barranquilla-Santa Marta.

Buena parte de esta modernización se ha debido al desarrollo de la aerofotogrametría. Mediante este recurso técnico se ha podido proyectar, localizar y trazar carreteras, embalses, canales, túneles y demás obras públicas, que de otra forma hubieran sido muchísimo más difíciles.

Así, la ingeniería civil ha desempeñado importantes labores en el campo de la infraestructura vial del país, así como en la construcción de acueductos y alcantarillados.

8.5. Televisión y telecomunicaciones. — En el año de 1954 el gobierno de Rojas Pinilla trajo al país la televisión. Esta era una importante innovación técnica. Para su instalación vinieron ingenieros y técnicos extranjeros, que progresivamente fueron sustituidos por ingenieros electricistas, técnicos de radio y prácticos electrónicos colombianos que tuvieron capacidades y aptitudes suficientes para hacerse cargo prontamente del manejo de los equipos de televisión, con los cuales se empezó a absorber toda la compleja tecnología electrónica, creando una demanda adicional de ingenieros electrónicos especialistas. Durante la década del setenta se extendió el cubrimiento de la televisión, con el aumento de potencia de los transmisores y con la construcción de nuevas torres de repetición.

Los sistemas de radiocomunicación se ampliaron y modernizaron en aquellos años de bonanza económica. Se introdujo el télex (1954) y creció rápidamente su utilización (53). En 1955 se inauguró la red de radioenlaces por frecuencia muy alta (V.H.F.) entre Bogotá, Medellín, Cali, Armenia, Pereira y Manizales. En 1959, TELECOM instaló los primeros equipos MUX para el servicio telegráfico internacional con Estados Unidos y Europa. En 1958 las Empresas Públicas de Medellín integraron al servicio telefónico automático varios municipios vecinos e instalaron la primera central Tandem en el país. En 1960 la Empresa de Bogotá completó 100 mil líneas e instaló la primera central de barras cruzadas. En general, las radiocomunicaciones y la telefonía han avanzado mucho. El uso de las microondas y la extensión de las redes urbanas e interurbanas han hecho que los ingenieros electrónicos encuentren nuevos campos de acción.

Por ejemplo, en 1970 se inauguró la estación terrena de Chocontá para recibir y transmitir a satélites geostacionarios. Este fue un gran paso de progreso, en el cual ha estado presente la Empresa Nacional de Telecomunicaciones, que constantemente se ha modernizado y que ha constituido el área principal de trabajo para los ingenieros electrónicos.

8.6. Avances electrónicos. — Una importantísima innovación electrónica llegó al país en 1960, cuando se instalaron los primeros computadores digitales electrónicos, en la Escuela Nacional de Minas, en las Empresas Públicas de Medellín y en la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá. El uso de esta herramienta llegaba tardíamente a Colombia, pero desde que se inició no ha cesado de propagarse en toda clase de instituciones: oficiales, de servicio público, bancos, universidades, fábricas, etc. El computador se ha convertido en una herramienta casi universal e indispensable para los ingenieros de todas las especialidades, y ello ha obligado a las universidades a incluir en sus programas docentes la programación de computadores. Para los ingenieros ha significado un “salto cuántico” como herramienta de cálculo, complementado recientemente con la calculadora electrónica de mesa (1969), la calculadora electrónica manual (1973) y el microcomputador (1980). El manejo y el mantenimiento de computadores venía a ampliar el campo de trabajo de los primeros ingenieros electrónicos que ya se estaban graduando en el país. Pero, el más importante avance electrónico (que ha revolucionado los computadores, la televisión, la radio y quizá todos los campos electrónicos) ha sido la introducción de los transistores y demás elementos semiconductores.

A ello se suma la incorporación a las radiocomunicaciones y la telefonía de las nuevas tecnologías de comunicación digital y de rayos laser en fibras ópticas.

Observaciones Finales

La ingeniería surgió en Colombia, al igual que en otros países latinoamericanos, como profesión propiamente dicha, al terminar las guerras de independencia y al comenzar la república. La tecnología que nos dejó la colonia era rudimentaria y anticuada, en comparación con países europeos de su tiempo.

Durante mucho tiempo, hasta hace unos 30 años, el estudio y el ejercicio de la ingeniería fue la principal motivación para estudiar ciencias básicas como la matemática, la física, la geología, la economía y otras. Además lo ha sido, desde luego, para estudiar ciencias propias de la ingeniería, manteniéndose una estrecha dependencia gnoseológica de dichas ciencias respecto al estudio y ejercicio profesional de la ingeniería.

Así cada una de las ciencias de la ingeniería, no tiene una *historia interna* a escala nacional. Lo que sí posee una historia interna colombiana es la ingeniería, tanto como labor educativa universitaria y como ejercicio profesional. En esa historia colombiana de la ingeniería, cada una de las ciencias tiene un papel protagónico en la medida en que ella ha aportado a la formación de los ingenieros, o en que ha sido aplicada por ellos para hacer obras que han tenido un significado nacional. O sea que esas ciencias tienen sólo una *historia externa* que se manifiesta a través de la historia de la ingeniería.

La cartografía, la defensa, los ferrocarriles, la minería, la navegación fluvial, las comunicaciones, la industrialización, la electrificación, el petróleo, las carreteras y los servicios públicos han sido las actividades que en Colombia han impulsado el desarrollo de la ingeniería y sus ramas, así como los que han demandado socialmente más ingenieros. Por lo tanto, son las que más han estimulado el conocimiento existente sobre las ciencias propias de esta profesión.

El carácter público de muchas de esas actividades ha facultado al Estado para ser el principal demandante y consumidor de profesionales en el país. Pero a lo largo de la historia, desde fines del siglo XIX se ha notado una clara tendencia a tener un ex-

cedente numérico de la oferta de ingenieros respecto a la demanda, excepción hecha de lo que implica conocimientos o experiencias muy avanzados o muy especializados inexistentes en el país.

Finalmente, cabe señalar que los ingenieros colombianos han sido buenos "aprendedores" de conocimientos de ingeniería, sean ellos tradicionales o recién importados. Pero muy poco han hecho en materia de innovación en su tecnología ni en las ciencias propias de la profesión, que merezca recogerse históricamente. Su capacidad de invención y de descubrimiento de hechos y artefactos nuevos, ha sido escasa, pero su aporte a la construcción del país ha sido enorme y decisiva.

ANEXO N° 1

PENSUM DE LA ESCUELA NACIONAL DE MINAS EN MEDELLIN 1937

PRIMER AÑO

Aritmética superior	Trigonometría plana
Algebra 1º	Algebra 2º
Geometría 1º	Geometría 2º
Física general 1º	Física general 2º
Química general 1º	Química general 2º
Dibujo a pulso 1º	Dibujo a pulso 2º

SEGUNDO AÑO

Algebra 3º	Geometría descriptiva
Trigonometría esférica y cosmografía	Cálculo diferencial
Física general 3º	Física general 4º
Química general 3º	Química analítica 1º
Geometría analítica	Inglés técnico
Dibujo lineal 1º	Dibujo lineal

TERCER AÑO

Cálculo integral	Mecánica 1º
Mineralogía 1º	Mineralogía 2º
Química industrial 1º	Química industrial 2º
Química analítica 1º y orgánica	Geología 1º
Estadística	Materiales de construcción
Dibujo topográfico	Agrimensura 1º
	Dibujo topográfico 2º

CUARTO AÑO

Mecánica 2º	Astronomía práctica y geodesia
Agrimensura 2º	Trazado de ferrocarriles
Resistencia de materiales	Hidráulica 1º
Construcciones civiles	Electricidad 1º
Geología 2º	Geología económica
Petrografía al microscopio	Geología práctica

QUINTO AÑO

Caminos y carreteras	Construcción de ferrocarriles
Hidráulica 2º	Metalurgia 1º
Electricidad 2º	Laboratorio de metalurgia

Hidrocarburos 1º
Explotación de minas 1º
Concreto armado 1º

Hidrocarburos 2º
Explotación de minas
Concreto armado 2º
Estática gráfica y techos
Economía política

SEXTO AÑO

Explotación de ferrocarriles 1º
Puentes
Motores industriales
Metalurgia 2º
Economía industrial
Beneficio de Minerales

Explotación de ferrocarriles 2º
Ingeniería sanitaria
Maquinaria y talleres
Obras de arte
Geografía física y minas de Colombia
Legislación
Contabilidad industrial
Dibujo de máquinas

ANEXO N° 2

Hacia 1955 existía en el país un buen número de facultades de diversas especialidades de la ingeniería, así:

INGENIERIA CIVIL

Universidad Nacional, en Bogotá
Universidad Nacional, en Medellín (Escuela de Minas)
Universidad Nacional, en Manizales
Universidad del Cauca, en Popayán
Universidad de Cartagena
Universidad de Los Andes, en Bogotá
Universidad Javeriana, en Bogotá

INGENIERIA QUIMICA

Universidad Nacional, en Bogotá
Universidad Bolivariana, en Medellín
Universidad de Antioquia
Universidad Industrial de Santander
Universidad del Valle
Universidad del Atlántico
Universidad de América, en Bogotá

INGENIERIA ELECTRICA

Universidad Industrial de Santander
Universidad del Valle
Universidad de San Luis, en Bogotá
Universidad Bolivariana, en Medellín
Universidad de Los Andes
Universidad de América

INGENIERIA MECANICA

Universidad Industrial de Santander
Universidad de Los Andes
Universidad de América
Universidad del Valle (como Ing. Electromecánica)

I. DE MINAS E I. DE PETROLEOS

Escuela de Minas en Medellín
Universidad Industrial de Santander

ANEXO N° 3

El número de facultades de ingeniería en el país pasa hoy de 100.

Las principales especialidades son:

Ingeniería civil	17	Ingeniería agrícola	4 ó 5
Ingeniería química	9	Ingeniería de sistemas	5 ó 6
Ingeniería mecánica	12 ó 13	Ingeniería administrativa	2
Ingeniería eléctrica	11	Ingeniería de alimentos	2
Ingeniería electrónica	4	Ingeniería forestal	4
Ingeniería industrial	12	Ingeniería naval	1
Ingeniería minas y/o petróleo ..	4	Ingeniería aeronáutica	1
Ingeniería metalúrgica	4	Ingeniería de transporte	1
Ingeniería geográfica	1	Ingeniería de producción	1
Ingeniería catastral	1	Otras ingenierías	5

ANEXO N° 4

Las asignaturas que se enseñan a nivel de pregrado, son las siguientes:

1. Ciencias básicas

Matemáticas: aritmética (no en todos los programas), álgebra clásica general, trigonometría, álgebra lineal, geometría métrica plana (no en todos los programas), geometría analítica plana, cálculo diferencial e integral, ecuaciones diferenciales ordinarias, análisis numérico y estadística general. En los programas de mejor nivel, en algunas ramas de ingeniería, se enseña también: programación lineal, matemáticas especiales e investigación de operaciones.

Física general, en varios semestres, incluyendo: mecánica, ondas, acústica, calor, electromagnetismo y física atómica.

Química general e inorgánica, en todos los programas de todas las ramas de ingeniería. En ingeniería de minas se intensifica química mineral y laboratorio de análisis instrumental. Lo mismo se hace para ingenieros químicos, además aquí se complementa con química orgánica.

Geología y mineralogía, en ingeniería civil e ingeniería de minas.

2. *Ciencias comunes de la ingeniería que se enseñan en casi todas las ramas de la profesión:* mecánica, analítica (no se da en especialidades como sistemas y electrónica), hidráulica o dinámica de fluidos, transferencia de calor, termodinámica, electrotecnia general, resistencia de materiales y/o mecánica de materiales, metalurgia (no se da en especialidades como eléctrica, sistemas y electrónica), geotecnia o mecánica de suelos (en civil, agrícola, sanitaria y de minas, computadores, evaluación de proyectos y/o ingeniería económica).

3. *Ciencias especiales de ingeniería civil:* agrimensura, mecánica de suelos, fundaciones, hidrología, diseño de estructuras, construcciones, diseño de vías, acueductos y alcantarillados, construcciones hidráulicas y centrales eléctricas.

4. *Ciencias especiales de ingeniería de minas:* cristalografía, petrografía, estratigrafía, explotación de minas, geología estructural, geología colombiana, petróleos, procesos minerales.

5. *Ciencias especiales de ingeniería química:* fisicoquímica, termoquímica, elec-

troquímica, estequiometría, transferencia de masa, operaciones unitarias, cinética química, procesos químicos unitarios, industrias de proceso químico, diseño de plantas.

6. *Ciencias especiales de ingeniería mecánica*: mecanismos y/o diseño de máquinas, diseño de estructuras, mecánica de materiales, materiales y procesos, combustión, motores térmicos, fundición, tratamientos térmicos.

7. *Ciencias especiales de ingeniería eléctrica*: circuitos eléctricos, máquinas eléctricas, electrónica física, electromagnetismo, telefonía, telecomunicaciones, circuitos lógicos, líneas de transmisión, redes de distribución, sistemas de potencia, técnicas digitales y centrales eléctricas.

8. *Ciencias especiales de ingeniería electrónica*: electrónica general, circuitos electrónicos, telefonía, telecomunicaciones, electrónica industrial, electromagnetismo, equipos electrónicos, instrumentación y controles.

9. *Ciencias especiales de ingeniería industrial*: diseño de plantas, sistemas de transporte, ergonomía, tiempos y movimientos, control de calidad, métodos y sistemas.

10. *Ciencias especiales de ingeniería sanitaria*: microbiología, saneamiento, acueducto y alcantarillado.

11. *Ciencias especiales de ingeniería metalúrgica*: cristalografía, metalurgia química, metalurgia física, metalografía, fundición, tratamientos térmicos.

12. *Ciencias especiales de ingeniería agrícola*: hidrología, maquinaria agrícola, meteorología, riegos.

En otras ramas (como ingeniería naval, de alimentos, etc.) el espectro de materias técnicas es más estrecho y casi siempre se superpone, en buena parte, con las especialidades ya mencionadas.

13. *Ciencias complementarias*: economía general, administración, economía colombiana.

NOTAS

1. Las otras especialidades más conocidas son: la ingeniería eléctrica, geografía, química, de minas, industrial, petróleo, etc. Adviértase que hoy algunas profesiones ostentan el vocablo de "Ingeniería" en su denominación, pero que no caben dentro del propio y verdadero concepto de esta profesión.
2. En efecto, la Ingeniería en Colombia es poco lo que ha hecho como innovaciones originales, aunque ha hecho mucho en adaptar tecnologías externas para aportar soluciones reales a problemas propios.
3. Cabe decir aquí, que en Europa sólo hasta 1745 en Braunschweig se creó la primera escuela dedicada a preparar ingenieros civiles. Antes la ingeniería

- civil y militar estaban unidas. La revolución francesa aportó al desarrollo y popularización de la especialidad la Ecole Polytechnique (1794). Todas estas circunstancias contribuyeron a configurar la ingeniería civil como una profesión con fisonomía propia, destinada a construir y a manejar edificios, puentes, canales, fábricas y minas.
4. Conformaban dicha misión los ingenieros alemanes: Enmanuel Gottlieb Dietrich, Christian Friedrich Klem, Jacob Benjamín Wiessner, Johan Abraham, Friedrich Ningritz y Joachim Bayer.
5. Se destacan Francisco Urquinaona, Benedicto Domínguez del Castillo, Juan Bautista Estévez y Julián Torres Peña.

6. La brújula, el microscopio, el barómetro, el nivel de agua, el termómetro, el reloj de precisión, el telescopio, la cadena de agrimensor, algunos reactivos químicos, etc.
7. El director de la misión fue el peruano Mariano de Rivero, ingeniero de minas especializado en metalurgia, quien se encargó de traer e instalar un laboratorio y una biblioteca, de construir el museo de Historia Natural y de servir como director nacional de minas. Jean Baptiste Boussingault, mineralogista y químico enseñó por dos años mineralogía y química, luego se dedicó dos años al desarrollo de las minas de Santa Ana (hoy Falan), de Marmato y del Chocó. Justin Marie Goudot. Francois Desidere Roulin (médico) enseñó durante seis años Fisiología y Anatomía comparada. Jacques Bourdon.
8. El primer ingeniero que labora en las minas antioqueñas fue Boussingault, al que siguieron Moore, Degenhardt, Walker, Nisser, Paasche, Johnson, y otros más, quienes enseñaron y practicaron la mineralogía, la geología, la hidráulica, la mecánica aplicada, la metalurgia física y química, la teoría del calor, la química mineral, y la geofísica aplicadas al trabajo de minas.
9. El principal avance tecnológico minero lo constituyó entonces el uso del molino de pisones, al que se sumaron la pólvora, el fósforo de fricción, la nivelación de canales, la construcción de ruedas hidráulicas, la amalgamación con mercurio, el uso de las barras de acero para rocas, la fundición industrial, la copelación de la plata, la refinación de oro al fuego, la construcción de hornos y máquinas, el uso de herramientas nuevas, las prácticas de conservación de maquinaria y el cribado de materiales.
10. El fundador de la Ferrería de Pacho fue el ingeniero alemán Jacobo Wiessner, quien vino a la Nueva Granada contratado por la Corona en 1804.
11. Dos hornos Slip, tres estufas de secado y dos molinos de caballos.
12. Manejo de productos químicos pesados como el carbonato de sodio, conocimiento de la fusión cerámica, soplado del vidrio hueco, dominio de la combustión continua, empleo térmico del carbón, uso de materiales refractarios, medida de altas temperaturas.
13. En esta etapa graduó dos alumnos como ingenieros militares: el teniente coronel José Cornelio Borda y el capitán Alejandro Sarmiento. Los demás estudiantes optaron por el estudio de la ingeniería civil.
14. Fueron miembros de la Comisión Corográfica dirigida por Agustín Codazzi (Lugo 1793 - Espíritu Santo 1859): Manuel Ancizar (ayudante), José Jerónimo Triana (botánico), Santiago Pérez, Manuel María Paz, Enrique Price, Manuel Ponce de León, Ramón Guerra Azuola, Carmelo Fernández y Domingo Codazzi.
15. George M. Totten, reconstrucción del Canal del Dique; Antoine Poncet como profesor del Colegio Militar y explorador de la ruta de Bogotá al Magdalena; Thomas Reed para construir el Capitolio Nacional; Henry Tracy a buscar rutas de caminos en Boyacá y Santander; Stanislaw Zawadski para explorar la ruta de Cali a Buenaventura.
16. De los egresados del Colegio Militar que viajaron a Europa se destacan Manuel H. Peña, Juan Nepomuceno González Vásquez, y José Cornelio Borda. Entre los que regresaron graduados en alguna especialidad afín a la ingenie-

- ría están: Rafael Nieto París, educado en la Universidad de Boston; Santiago Ospina Barrientos quien estudió metalurgia y mineralogía en Freyberg (Alemania); Rafael J. Gómez graduado en Rensselaer Polytechnic Institute; Rafael Espinoza Escallón, ingeniero de Yale Scientific School; Uladislao Vásquez Ospina, graduado en Estados Unidos; José María Villa, graduado en Stevens Institute como ingeniero mecánico; Tulio y Pedro Nel Ospina, graduados en ingeniería de minas y metalurgia en la Universidad de Berkeley.
17. Por ejemplo en 1874 el ingeniero alemán Carlos Greiffenstein instaló en la famosa mina de El Zancudo una fundición y un taller mecánico para fabricar piezas mecánicas y maquinaria minera, la cual habría de perdurar hasta bien entrado el siglo XX.
 18. Tecnología de las corrientes directas de baja intensidad; materiales como los conductores de cobre y el aislador cerámico, y aparatos como la pila eléctrica y el electroimán.
 19. En efecto, en la ferrería de Amagá se fabricaron y repararon bocartes o pisonos destinados a los molinos mineros, ruedas Pelton, bombas para agua, despulpadoras, trapiches, etc.
 20. La ruta Bogotá-Mar Caribe, conocida como del Carare, y la de Bogotá-río Magdalena.
 21. En la construcción de esta ruta participaron los ingenieros norteamericanos Franklin White, C. Denning, I. Thayer; los cubanos Ernesto L. Luaces, Aniceto Menocal, Vicente Marqueti; y los colombianos Rafael Marchan y Juan F. Pérez.
 22. La obra le fue encargada a Cisneros por el general Julián Trujillo. Durante el tiempo de trabajo se logró construir el muelle de Buenaventura (el puente del "Piñal") y 27 kilómetros de vía, hasta la estación de Córdoba.
 23. Alcanzó a construirla hasta Tocaima. Dirigió esta obra el ingeniero Rafael Arboleda Mosquera quien murió allí de fiebre amarilla. La continuaron a órdenes de Cisneros los ingenieros Dougherty y Modesto Garcés.
 24. Parte de la consolidación se debió a que a la Universidad fueron transferidos los profesores, alumnos y recursos del antiguo Colegio Militar y Escuela Politécnica. El currículum comprendía el estudio de aritmética, álgebra, geometría, topografía, química, física, astronomía, mecánica, hidráulica, botánica, geología, mineralogía, metalurgia, máquinas, ferrocarriles y electricidad.
 25. El solo hecho de haber sido discípulo de don Julio Garavito era título de distinción profesional entre los ingenieros, todavía muchos años después de su muerte.
 26. Los pénsums de la Escuela de Minas, como de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional, hacían hincapié en las matemáticas, la física y la química como ciencias básicas. Se daba una buena preparación en mecánica analítica, resistencia de materiales, metalurgia física, ferrocarriles y electricidad, como ciencias de la ingeniería propiamente dichas. Se encontraban también otras asignaturas tan variadas como astronomía, arquitectura, explotación de ferrocarriles y construcción de vías.
 27. Entre los textos elaborados por colombianos están los de don Lino de Pombo en el área de matemáticas, las de Indalecio Liévano en las mismas ramas, así como la aritmética de Manuel Antonio Rueda.
 28. En la construcción de los muelles de Puerto Colombia en Barranquilla, co-

- mo el de Cartagena fue utilizada por primera vez maquinaria pesada de construcción marina movida a vapor: dragas, martillos para hincar pilotes, grúas flotantes y otras.
29. Surgieron seis fábricas de textiles, tres chocolaterías, dos de gaseosas, algunas fundiciones y una cervecera, así como imprentas, trilladoras, ebanisterías, etc.
 30. La potencia eléctrica aumentó en Medellín de 250 kilovatios en 1891 a 5.000 kilovatios en 1920.
 31. Honda-Ambalema (1905-1907), de ingleses.
Puerto Wilches-Bucaramanga (1908), nacional.
Ciénaga-Fundación (terminado en 1906), de norteamericanos.
Zipaquirá-Nemocón (1907), estatal.
Girardot-Facatativá (1908), estatal.
Buenaventura-Cali, estatal.
Ferrocarril de Antioquia, estatal.
Medellín-Amagá, estatal.
 32. Finalización del ferrocarril de Buenaventura a Cali en 1914. Construcción de la línea del Pacífico entre Cali y Palmira (1914-1918).
Inauguración en 1914 de la línea Medellín-Amagá.
Finalización en 1914 del ferrocarril Puerto Berrío-Medellín.
En 1916 continuación de la línea Chicala-Ibagué.
Impulso al Ferrocarril del Sur.
 33. El ferrocarril del Pacífico logró arribar en 1923 a Cartago. El de Puerto Wilches que logró avanzar en 1925 hasta el kilómetro 50 (Sabana de Torrez) y al kilómetro 63 en 1928.

El del Tolima arribó en 1922 a Ibagué. El ferrocarril de Puerto Caldas a Manizales se terminó en 1924. La línea Ambalema-Ibagué se le impulsó, terminándola en 1931. El ferrocarril del Norte arribó a Chiquinquirá.
 34. Línea Ibagué-Armenia. Continuación del ferrocarril del Norte, de Chiquinquirá por el río Carare hacia el Magdalena.
 35. Se inició en 1924 la ferrovía de Nacederos (Pereira) a Armenia, a donde arribó en 1929. La de Tumaco hacia el Diviso en 1925. En 1925 la de Facatativá hacia Puerto Salgar, así como la línea del Nordeste (Bogotá-Boyacá), y la de Cali-Popayán. Entre 1925 y 1927 se construyó la línea Zarzal-Armenia. Se construyó el puente ferroviario de Girardot sobre el río Magdalena, iniciado en 1925 por una casa contratista inglesa y erigido en cinco años. Se comenzó también la carretera del túnel de La Quebra, en el ferrocarril de Antioquia. El túnel se dio al servicio en 1929.
 36. Las principales carreteras iniciadas en el período de Ospina fueron: Cali-Cartago, Bogotá-Sogamoso, Bogotá-Girardot, Bucaramanga-Cúcuta, Popayán-Pasto, Manizales-Pereira-Armenia, Sonsón-La Dorada.
 37. La preparación académica y la experiencia práctica de nuestros ingenieros en el campo de la electricidad y las ondas electromagnéticas en esa época era bastante reducida, o casi nula.
 38. En 1923 existían estaciones de radiocomunicación en Bogotá, Medellín, Buenaventura, Popayán, Pasto, Ibagué, Honda, Tunja, Bucaramanga, Barrancabermeja, Ocaña, Cartagena, Manizales, Cartago y Socorro.
 39. Se reiniciaron los trabajos en Bocas de Ceniza y del terminal marítimo de Barranquilla, obra ejecutada por una firma norteamericana.
- Algunos ferrocarriles: el de Cundinamarca entre Palanquero y Facatativá,

logró empalmárselo con Albán. El del Norte, entre Providencia y Barbosa (Santander). Se terminó en Neiva la línea Girardot-Tolima-Huila.

En Antioquia se continuó el ferrocarril Bolombolo-La Pintada. Se reanudaron los ferrocarriles del Nordeste y del Sur. El de El Diviso hacia el mar, en Nariño.

40. Se reiniciaron y construyeron gran cantidad de carreteras, que unieron la mayoría de las principales ciudades del centro, el occidente, el sur y el oriente. De igual forma se hicieron gran número de carreteras regionales, así como de enlace.
41. Así por ejemplo en las cercanías de Bogotá se construyó la presa de La Regadera (1936), con la cual se iniciaron las grandes construcciones hidráulicas en el país.
42. La primera planta de cemento fue creada en 1930. Cementos Diamantes, con sede en Apulo (Cundinamarca). Luego se fundaron plantas en Antioquia (1936) y en el Valle del Cauca (1938) y aumentó cada vez más el tonelaje de la producción nacional.
43. La facultad de la Universidad del Cauca ofrecía también el programa de ingeniería industrial y otorgaba grados en esta especialidad. Pero se trataba de una carrera diferente a lo que hoy se conoce con ese nombre, y nunca se configuró definitivamente.
44. La idea de la planta había sido concebida por el ingeniero Hernando de La Calle, funcionario de las Salinas del Banco de la República.
45. Alcalis sódicos, acero, carnes en conserva, acumuladores eléctricos, pilas secas, sulfato de aluminio, silicato de sodio, cemento blanco, tubería galvanizada, madera laminada y prensada, calderas acuatubulares, una nueva refinera de petróleo (Cartagena), etc.
46. Destacamos el aprovechamiento del divivi como curtiente, la fabricación de fertilizantes nitrogenados, la obtención de aceite de la cascarilla de arroz, el estudio de carbones colombianos y su industrialización, numerosos estudios de tecnología de alimentos, el diseño de silos semisubterráneos para papa, numerosos estudios de factibilidad técnica para nuevas fábricas, estudios en laboratorios sobre contaminación ambiental, proyectos de industrialización de frutas y verduras, desarrollo de tecnología para industrializar la soya proteínica, producción y mejoramiento de harinas vegetales, desarrollo tecnológico de la madera, numerosos estudios en metalurgia aplicada, investigaciones sobre nutrición, tecnificación de agroindustrias medianas y pequeñas, evaluación y análisis de productos agroquímicos.
47. En general vinieron grandes compañías constructoras norteamericanas: la Morrison Knudsen Internacional, la Raymond Concrete Pile, la Winston Brothers y otras.
48. En Medellín: Integral, Explánicas, Ingeniería y Construcciones, Sogeico; y en Bogotá: Olap, Cuéllar Serrano Gómez, entre otras.
49. De 110 millones de kilovatios hora utilizados en 1930, se había pasado a 262 millones en 1940 y a 787 millones en 1950.
50. En ese momento las centrales generadoras más grandes solamente eran del orden de 20 ó 30 mil kilovatios de capacidad; y las mayores líneas de transmisión eran pocas de ese orden de magnitud en potencia, y de 110 mil voltios de tensión. Sólo Medellín, Bogotá y Cali tenían centrales hidroeléctricas. Barranquilla y otras ciudades tenían plantas térmicas o hidroeléctricas pequeñas, sin existir ninguna interconexión entre las ciudades.

51. En 1964 se planteó la necesidad de interconectar los cuatro centros eléctricos del país: Bogotá, Medellín, Valle del Cauca y Caldas. Se adelantaron los estudios por ingenieros consultores colombianos. Se constituyó en 1967 la empresa Interconexión Eléctrica S. A. (I.S.A.).
52. Algunas de las principales centrales hidroeléctricas construidas en la década del 60 y 70 son: Chivor (Cundinamarca) con capacidad de 1.000 megavattios, Guatapé en Antioquia con 800 M.W., Mesitas (Cundinamarca), Alto Anhicayá (Valle), Calima I. Así mismo se inició la construcción de Chivor II, San Carlos y los estudios del río Cauca para su aprovechamiento hidroeléctrico en las grandes centrales de Cañofisto, Ituango y Farallones.
53. Los primeros funcionarios en Bogotá y Medellín. Cuatro años después ya existían 15 centrales con 860 abonados.