

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA EN COLOMBIA

TOMO V

**INGENIERIA
E
HISTORIA
DE LAS TECNICAS**
(2)

Gabriel Poveda Ramos


COLCIENCIAS

Gabriel Poveda Ramos. Estudió ingeniería química en la Universidad Pontificia Bolivariana e ingeniería eléctrica allí mismo y en la Universidad del Valle. Desde 1950 hasta 1981 fue profesor de matemáticas y estadística en las universidades Bolivariana, del Valle, de Antioquia, Nacional y en la de Medellín, donde es hoy director del Centro General de Investigaciones. Ha sido ingeniero consultor de empresas, del gobierno y de entidades internacionales. Autor de varios libros y de numerosos artículos para revistas nacionales y del exterior. Es miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la Academia Antioqueña de Historia, de la Sociedad Colombiana de Matemáticas y de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros, que presidió por algunos años.

504
00634
Vol. 5
Cj. 1

Historia Social de la Ciencia en Colombia

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia
y la Tecnología Francisco José de Caldas
COLCIENCIAS

A

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA
EN COLOMBIA

TOMO V

INGENIERIA E HISTORIA
DE LAS TECNICAS (2)

Gabriel Poveda Ramos

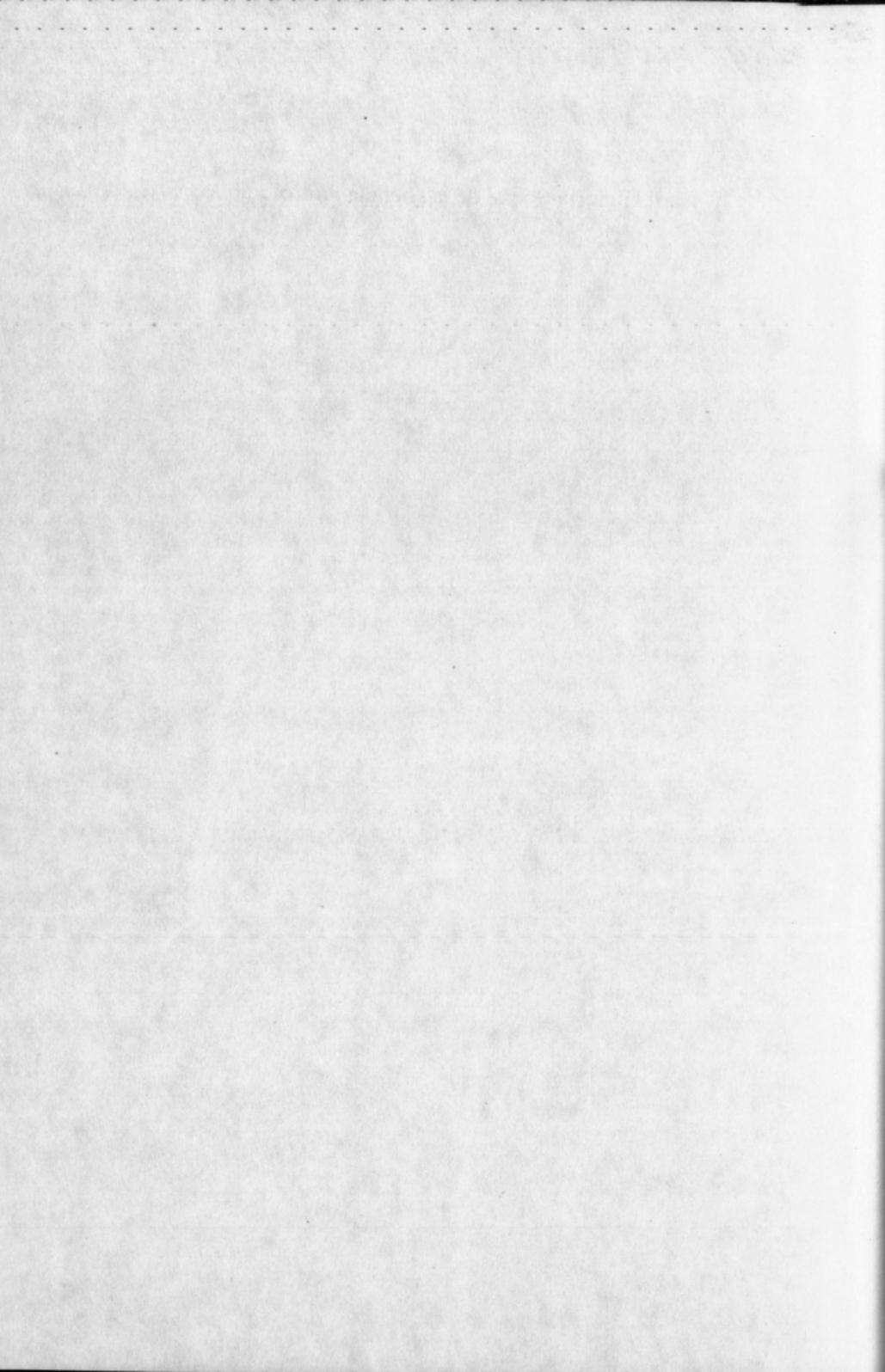
Coordinación del proyecto:

Carlos Eduardo Vasco
Diana Obregón
Luis Enrique Grotz



Ensayo introductorio
y coordinación final
de la edición:

Emilio Quevedo V.



COL
00634
Vol. 5
Ej. 1

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia
y la Tecnología Francisco José de Caldas
COLCIENCIAS

A

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA EN COLOMBIA

TOMO V

INGENIERIA E HISTORIA
DE LAS TECNICAS (2)

Gabriel Poveda Ramos

Coordinación del proyecto:

Carlos Eduardo Vasco
Diana Obregón
Luis Enrique Orozco



Estudio introductorio
y coordinación final
de la edición:

Emilio Quevedo V.

© Instituto Colombiano para el
Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología
Francisco José de Caldas, Colciencias

Primera edición: marzo de 1993

Cubierta: Diseño de Hugo Díaz
Ilustración de Jaime Cortés

ISBN 9037-11-9 (obra completa)
ISBN 9037-16-X (tomo V)

Edición, armada electrónica,
impresión y encuadernación:
Tercer Mundo Editores

Impreso y hecho en Colombia
Printed and made in Colombia

CONTENIDO

PRESENTACION	9
Capítulo 1	
INGENIEROS INMIGRANTES Y MINERIA EN LA ANTIOQUIA DEL SIGLO XIX	13
Los primeros ingenieros europeos	13
Mediados del siglo XIX	20
El final del siglo XIX	23
Capítulo 2	
EL HIERRO. DE LOS HITITAS A COLOMBIA	29
En la madrugada de la historia	29
La siderurgia del medioevo	34
El hierro en la edad moderna	37
Las primeras siderúrgicas colombianas en el siglo XIX	41
Hierro y acero en nuestro siglo XX	47
Capítulo 3	
FINALES DEL SIGLO XIX	51
Fundiciones y otras industrias	51
La electrificación de las ciudades	52
Los ferrocarriles al final del siglo	53
Enseñanza y ejercicio profesional	55
Algunos de los textos usados	57
El pènsum en Bogotá al final del siglo	58
Ingenieros distinguidos al finalizar el siglo XIX	59
El ingeniero típico del siglo XIX	59
Capítulo 4	
EL SIGLO XX ANTES DE LA GRAN CRISIS	61
Los albores del siglo	61
La industria despierta en Antioquia	62

10.000.00 22-01-97

El presidente Rafael Reyes y los ferrocarriles	63
Ferrocarril Honda-Ambalema	66
Ferrocarril del Tolima (Flandes - Ibagué)	66
Ferrocarril del Pacífico (Buenaventura - Cali)	67
Ferrocarril Puerto Berrío - Medellín	68
El túnel de La Quiebra	68
Ferrocarril de Amagá	71
Ferrocarril del Norte	72
Ferrocarril Puerto Wilches - Bucaramanga	72
Ferrocarril del Sur	73
De Reyes a Pedro Nel Ospina	74
Asignaturas y profesores en la Escuela de Minas	80
Otras obras públicas en el país	81

Capítulo 5

EL PRIMER PRESIDENTE INGENIERO	85
Los ferrocarriles en su administración	85
Ferrocarril Cali - Popayán	88
Ferrocarril de Caldas	88
Ferrocarril Cali - Cartago	88
Ferrocarril de Cundinamarca	89
Ferrocarril de Nariño	90
Ferrocarril Cúcuta - Pamplona	90
Ferrocarril Espinal - Neiva	90
Ferrocarril troncal de Occidente	91
Ferrocarril Ambalema - Ibagué	91
Ferrocarril Palmira - Pradera	92
Ferrocarril del Carare	92
Ferrocarril Zarzal - Armenia	93
Ferrocarril Nacederos - Armenia	93
Ferrocarril Timba - Santander	93
Ferrocarril de Bogotá al Oriente	93
Ferrocarril del Nordeste	94
La ampliación de la red ferroviaria	94
Líneas en operación en 1929	95
Ferrocarriles y café	96
Desmantelamiento de los ferrocarriles	99
Una visión de conjunto	101
Los superintendentes del ferrocarril de Antioquia	104
Carreteras de Ospina	105
La Julius Berger y el Magdalena	105
Radiocomunicaciones y teléfonos de 1910 a 1930	106

La Ulen Engineering Corporation en Manizales	108
Comienzos de la aeronavegación	109
Los ingenieros de los años veinte	110
Transportes y comunicaciones con Ospina	113
Comienzos de la radiodifusión	115
La industria y los ingenieros hacia 1925	115
Comienzos del petróleo	117
Capítulo 6	
DESPUES DE LA GRAN CRISIS, 1930 - 1950	119
Reactivación de las obras públicas en los años treinta	119
Nuevas industrias en los años treinta	123
Construcción de una carretera en los años treinta	126
Enseñanza en los años treinta	127
Pénsum de la Escuela Nacional de Minas de Medellín, 1937	131
Ingenieros graduados por la Escuela de Minas de Medellín hasta 1937 y sus tesis de grado	132
Los ferrocarriles después de la Gran Crisis	140
Ferrocarril Ibagué - Armenia	142
Ferrocarril del Atlántico	143
Algunos empresarios ferroviarios	145
Ingenieros de ferrocarriles	149
La primera acería nacional	157
La metalurgia en la Escuela de Minas en los años treinta	159
Los años cuarenta	161
Nuevas herramientas de la ingeniería en los años treinta y cuarenta	162
Nuevas industrias en la segunda guerra mundial	163
Avances en telecomunicaciones	165
Capítulo 7	
LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX	167
Nuevas industrias y nuevos procesos metalúrgicos	167
Paz del Río	168
Las primeras facultades de ingeniería metalúrgica	173
Años sesenta	173
Algunos avances en los años setenta	177
Algunos técnicos e ingenieros distinguidos en siderurgia y metalurgia	178
Algunos fundadores de empresas	179
Conocimientos académicos y técnicas de ingeniería en siderurgia y metalmeccánica	180

Capítulo 8	
INDUSTRIAS QUIMICAS E INGENIERIA QUIMICA	185
Introducción	185
Los comienzos del siglo XX	185
Los comienzos de la profesión	186
La segunda guerra mundial y la posguerra	188
Los años sesenta	195
Los últimos tiempos	200
Conocimientos esenciales del ingeniero químico de hoy	201
Pénsum de una facultad de ingeniería química en 1950	202
Capítulo 9	
AÑOS CINCUENTA	205
Conocimientos esenciales de la ingeniería	205
La diversificación de la ingeniería	207
Ingeniería e ingenieros al mediar el siglo XX	208
Las matemáticas en la enseñanza de la ingeniería	212
Avances de la ingeniería y de la tecnología en la industria	214
Obras públicas en los años cincuenta	217
Televisión y telecomunicaciones	221
Novedades de ingeniería en los años sesenta	223
Avances eléctricos y electrónicos	228
Los años sesenta y el presente	230
Currículos actuales	236
Capítulo 10	
LOS PRESIDENTES CONSTRUCTORES DE COLOMBIA	239
Introducción	239
Francisco de Paula Santander	240
Tomás Cipriano de Mosquera	242
Manuel Murillo Toro	244
Rafael Núñez	246
Rafael Reyes	247
Pedro Nel Ospina	250
Alfonso López Pumarejo	253
Mariano Ospina Pérez	255
Gustavo Rojas Pinilla	256
Carlos Lleras Restrepo	257
Capítulo 11	
OBSERVACIONES FINALES	261
BIBLIOGRAFIA	275

PRESENTACION

Colciencias se complace en ofrecer al público de habla hispana esta colección en diez tomos en la cual se recogen los resultados del proyecto Historia Social de la Ciencia en Colombia.

La primera etapa de la investigación se inició en marzo de 1983, con el apoyo financiero de la OEA y de Colciencias. La coordinación estuvo a cargo de Carlos Eduardo Vasco por parte de la Sociedad Colombiana de Epistemología y de Diana Obregón por Colciencias. El proyecto fue realizado por un equipo interinstitucional e interdisciplinario, compuesto por especialistas de las diferentes ciencias objeto de estudio y por científicos sociales, todos ellos vinculados a las principales universidades del país.

En noviembre del mismo año, los coordinadores organizaron el Seminario Internacional para el Estudio de la Metodología de la Historia Social de las Ciencias en América Latina, financiado por Colciencias como parte de las actividades del proyecto. En este encuentro científico tomaron parte estudiosos del tema provenientes de México, Venezuela, Brasil, Perú y España, así como los investigadores del proyecto. De igual manera, tuvo representación y participación muy activa la Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología. El objetivo de este seminario fue discutir los avances que hasta ese momento habían sido logrados por los distintos grupos académicos iberoamericanos, especialmente en la definición del instrumental teórico y metodológico de la historia social de las ciencias en la región.

A partir de junio de 1984 se inició una segunda etapa del proyecto, bajo la coordinación de Luis Enrique Orozco. Los resultados logrados hasta ese momento fueron presentados en un simposio de Historia Social de las Ciencias organizado por los coordinadores en el marco del 45º Congreso Internacional de Americanistas, celebrado en Bogotá en julio de ese año, y recogidos luego

en el libro *Sabios, médicos y boticarios*, publicado por la Universidad Nacional. Así mismo, algunos de los resultados fueron expuestos en el I Congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias y la Tecnología, realizado en La Habana, Cuba, bajo los auspicios de la Sociedad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología.

Los materiales que contienen los resultados finales del proyecto fueron entregados por los investigadores durante los últimos meses de 1985 y los primeros de 1986. En general, no responden a un enfoque homogéneo: algunos tienen una orientación más sociológica, otros expresan más una perspectiva histórica; de igual manera, algunos manejan una aproximación más internalista, mientras otros tienen una mirada externalista. Esto es consecuencia de las distintas formaciones profesionales de los investigadores que participaron en el proyecto. Esta multiplicidad de miradas y perspectivas caracterizó la dinámica de las discusiones metodológicas que se dieron en el debate que se desarrolló a lo largo del trabajo.

Algunos de los informes parciales del proyecto y la mayor parte de los finales fueron publicados sucesivamente desde 1983 hasta 1988 en la revista *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, editada por Colciencias. Algunos otros informes parciales fueron publicados como artículos en libros y en otras revistas nacionales e internacionales. Sin embargo, otros materiales nunca salieron a la luz pública.

A comienzos del año 1992 se reiniciaron los trámites para la publicación de una serie que incluyese la totalidad de los trabajos definitivos, tarea que hoy concluye con la entrega de esta colección de diez volúmenes.

El *primero* contiene los documentos de carácter teórico-metodológico. En primer lugar está el trabajo titulado "Los estudios histórico-sociales de la ciencia y la tecnología en América Latina: balance y perspectivas", una revisión general hecha por el compilador sobre el panorama de la disciplina en Colombia y en América Latina, en la cual se pretende situar el "estado del arte" en este campo del saber y enmarcar históricamente los demás trabajos aquí presentados. En segundo lugar, viene el trabajo de Gabriel Restrepo sobre "Elementos teóricos para una historia social de la ciencia en Colombia", uno de los primeros aportes metodológicos que se hicieron en la primera fase del proyecto. A continuación, se presentan los documentos de orden teórico-metodológico que fueron expuestos en el Seminario Internacional sobre Metodología para la Historia Social de las Ciencias en América Latina, ya mencionado. Si bien este enfoque ha sido enriquecido desde entonces por otros estudios y eventos emprendidos en el continente, consideramos importante publicarlos con los demás materiales pues los puntos de vista allí expuestos orientaron el proyecto

en sus comienzos, conformándose como punto de partida teórico-metodológico de cada una de las investigaciones realizadas.

Dichos textos metodológicos se publican sin modificaciones, con el fin de conservar su carácter de *textos fechados*, de tal manera que puedan identificarse las raíces conceptuales del proyecto, a pesar de que sus autores superaron con creces esas posiciones iniciales, no sólo en los resultados mismos del proyecto, sino en sus trabajos posteriores. Entre éstos, se incluyen un trabajo de Carlos Eduardo Vasco y otro de Diana Obregón, que marcaron el comienzo del proyecto. Finaliza el volumen con la Introducción que había escrito Luis Enrique Orozco para la primera publicación integral que se intentó hacer en 1989 con la colaboración del Instituto Caro y Cuervo y que, por diversas razones, no se concretó.

Los volúmenes segundo a noveno reúnen los textos de los resultados finales de las investigaciones. Algunos de estos textos se publican sin modificación, con la anuencia de sus autores, ya sea porque el autor no continuó trabajando sobre el tema o porque quiere mantener su versión original, como trabajo fechado. En otros casos como los de Gabriel Poveda, Olga Restrepo, Jorge Arias de Greiff, Luis Carlos Arboleda, Néstor Miranda y Emilio Quevedo, los autores habían continuado avanzando en su trabajo sobre el tema. Por tanto, los textos de ellos que aquí presentamos son versiones más elaboradas.

El *volumen segundo* contiene los trabajos sobre matemáticas, astronomía y geología, escritos por Luis Carlos Arboleda, Jorge Arias de Greiff y Armando Espinosa, respectivamente. El último se publica tal como se presentó en 1985, con un anexo sobre Cabal, Humboldt y Hubach, entregado en 1986. Los otros dos son versiones reelaboradas y ampliadas.

El *volumen tercero* recoge el trabajo sobre historia natural escrito por Olga Restrepo y el de las ciencias agropecuarias por Jesús Antonio Bejarano. El primer texto ha sido reelaborado y ampliado por su autora. El segundo se presenta tal como fue entregado originalmente. Se incluye además en este volumen un texto de Luis Carlos Arboleda sobre Francisco Antonio Zea, porque está claramente relacionado con el tema de la historia natural.

Los *volúmenes cuarto y quinto*, escritos por Gabriel Poveda, analizan de manera integral la historia de las ingenierías y las técnicas en Colombia. El texto de estos dos volúmenes ha sido ampliamente reelaborado por su autor.

El *volumen sexto* contiene el texto sobre física escrito por Regino Martínez, y el de química de José Luis Villaveces, Germán Cubillos y Flor Marina Poveda. Se presentan ambos en sus versiones originales.

Así mismo, los *volúmenes séptimo y octavo* incluyen los trabajos sobre la medicina y la salud pública, escritos por Emilio Quevedo y Néstor Miranda

Canal, todos ellos reestructurados. Se incluye, además, una ampliación sobre la historia de estas disciplinas, desde 1886 hasta 1950, escrita por los mismos autores con la colaboración de Mario Hernández.

El *volumen noveno* abarca los trabajos sobre ciencias sociales: sociología por Rodrigo Parra Sandoval, economía por Salomón Kalmanovitz y psicología por Telmo Eduardo Peña. Se incluyen dos trabajos anexos: uno sobre ciencia y educación en el primer tercio del siglo XIX, escrito por Gabriel Restrepo, y otro sobre la Comisión Corográfica y las ciencias sociales de autoría de Olga Restrepo. Los textos de este volumen se publican tal como fueron entregados originalmente. La colección se complementa con un *décimo volumen* dedicado a una bibliografía para la historia de las ciencias, la cual recoge, en forma unificada y organizada por temas, la bibliografía de todos los trabajos de la colección y se complementa con publicaciones más recientes en este campo.

La edición de esta colección fue posible por el apoyo de muchas personas, las cuales sería difícil enumerar, pero es necesario reconocer la participación muy activa, en diferentes momentos, de Miguel Infante, Magola Delgado y Angela García.

Esta colección, largamente esperada, viene a llenar un vacío y marca un hito en el conocimiento del pasado científico y tecnológico nacional. Representa el cierre de una primera etapa y señala el inicio de una nueva proyección en el campo de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología en Colombia. Esta última se caracteriza por un interés manifiesto del Estado en impulsar este tipo de estudios a nivel nacional. El Decreto 585 de 1991 le asigna a Colciencias la función de "promover y realizar estudios prospectivos y teóricos sobre la ciencia y la tecnología y su papel en la sociedad, como base para el diseño de políticas, planes y estrategias".

La segunda etapa comienza a materializarse con la creación y puesta en marcha del programa Observatorio Colombiano de la Ciencia y la Tecnología. El Observatorio servirá de punto de apoyo para desplegar una actividad permanente y progresiva de seguimiento, análisis y prospectiva de la actividad científica y tecnológica nacional y sus relaciones con las dinámicas de punta de la ciencia y la tecnología internacionales.

Colciencias entrega esta serie como un aporte más al conocimiento de nuestro pasado científico, seguros de que contribuirá al debate sobre lo que deberán ser las futuras políticas de ciencia y tecnología que orienten la modernización de Colombia.

Capítulo 1*

INGENIEROS INMIGRANTES Y MINERÍA EN LA ANTIOQUIA DEL SIGLO XIX

LOS PRIMEROS INGENIEROS EUROPEOS

Al comenzar nuestras guerras de independencia, la minería antioqueña estaba saliendo de la severa crisis en que la había encontrado 25 años atrás el oidor Mon y Velarde. Las medidas enérgicas y oportunas del Regenerador de Antioquia habían permitido que la producción del metal se recuperara y que aumentara el número de nuevas minas denunciadas.

En aquel momento, la enorme mayoría del oro provenía de la explotación de aluviones, organales y cortadas que se trabajaban a cielo abierto. En 1805, don José Manuel Restrepo manifestaba que el 85% del metal era producido, en esta provincia, por los mazamorreros en los yacimientos de aluvión. En realidad siempre había sido así. Los españoles no encontraron más explotaciones de socavón que las del cerro de Buriticá, que los indios trabajaban desde épocas precolombinas. Al comenzar el siglo XIX las vetas de Buriticá ya se habían

* El informe final de esta investigación fue publicado originalmente en tres entregas así: Poveda Ramos, Gabriel (1985) "La ingeniería en Colombia. Sus ciencias y su historia". *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 9(1-4):81-129. (1986) "Ferrerías, metalurgia e ingeniería en Colombia". *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 11(3-4): 71-109. (1987) "Ingenieros inmigrantes y minería en la Antioquia del siglo XIX". *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 11(1-2): 105-117. La versión que se publica aquí fue reorganizada y ampliada por el autor, a partir de las investigaciones que ha continuado llevando a cabo sobre el tema. Corresponde a la segunda parte; la primera se encuentra en el Tomo IV de esta colección.

dejado de trabajar pero, con la reanimación minera que siguió a la administración de Mon y Velarde, se habían descubierto filones subterráneos en Titiribí, Anorí, Santa Rosa y otros pocos sitios. En Marmato (provincia de Popayán), el gobierno virreinal explotaba ricos filones, conocidos desde tiempo atrás.

Sin embargo, la minería de veta tenía varios factores en su contra. En primer lugar, el oro que en ella se producía era de menor pureza y valor que el oro de aluvión. Además, la minería de veta era mucho más difícil de explotar y requería más recursos técnicos, mientras que la de aluvión era relativamente más fácil. Por eso decía el mismo José Manuel Restrepo: "Las minas de oro de Antioquia y demás provincias de Colombia no exigen muchos capitales ni conocimientos metalúrgicos para la separación del metal. El oro se halla nativo sin más trabajo que moler la piedra y lavar en el agua el metal que resulta". Es evidente que se refería a las minas de aluvión, porque las de filón sí requerían muchos conocimientos y fuertes capitales. Quizá a eso se refería Restrepo cuando agregaba con gran visión: "Por consiguiente, se puede agregar que cualesquiera capitales colombianos o extranjeros que se destinen a la explotación de varias minas de oro serán bien empleados, sobretodo *si los trabajos subterráneos son dirigidos por extranjeros inteligentes en el arte de las minas*" (subrayado fuera del texto). Esta última advertencia testifica que en Antioquia —y aun en toda la Nueva Granada— no había verdaderos técnicos en minería y, mucho menos, ingenieros preparados para esa actividad. Todo ello conspiraba contra el desarrollo de la minería de filón, a pesar de que ella ofrecía el gran interés de ser mucho más permanente que los erráticos aluviones de ríos y quebradas.

Durante los diez años de guerras y trastornos que requirió el esfuerzo granadino para liberarse de España, un grupo de comerciantes de Medellín se enriqueció extraordinariamente negociando con oro, armas y vituallas. De manera que hacia 1820 y 1825, al estabilizarse la nueva república, esos comerciantes se dedicaron a invertir en importaciones, tierras, ganado y minas de oro de veta. Así se formaron en nuestro país las primeras sociedades por asociación de capital que se conocieron y que inauguraban ya una economía de tipo capitalista. Una de esas sociedades fue la Sociedad de Minas de Antioquia, que compró y se dedicó a explotar los yacimientos de El Zancudo, Chorros y Otramina, descubiertos en Titiribí cuatro o cinco lustros atrás. Otras se formaron para montar o desarrollar minas en Supía, Anorí, el bajo Nechí y Sonsón.

En 1825, el general Santander, como vicepresidente de la Gran Colombia, trataba de crear casi de la nada un nuevo Estado en medio de una desoladora pobreza de recursos. No había un tesoro público, ni un sistema de impuestos

regulares ni casi moneda circulante. El erario apenas podía, a muy duras penas, pagar de vez en cuando unas soldadas al ejército y unos paupérrimos emolumentos a los empleados públicos.

Además Bolívar, desde el Perú, pedía insistentemente más tropas, más armamento y más suministros al gobierno colombiano. Presionado por estas necesidades agobiantes, Santander comisionó a Zea, que era embajador en Londres, para que buscara un empréstito con banqueros ingleses, cosa que Zea hizo enseguida. Para negociar y firmar el empréstito, el vicepresidente envió a los comerciantes antioqueños Francisco Montoya y José Manuel Arrubla. Los negociadores colombianos obtuvieron el crédito con la banca de A. B. Goldsmith and Company, la cual hubo de competir con la Powells Illingworth and Co. Entre las concesiones que hubo de dar Colombia a los prestamistas estuvo la de entregar en arrendamiento las minas nacionales de Santa Ana (hoy Falan) y de Marmato a compañías inglesas para que éstas las explotaran en su propio beneficio y garantizaran, con sus cánones de alquiler, el pago del préstamo y de sus crecidos intereses.

Tan pronto los banqueros ingleses firmaron el empréstito, ellos y sus competidores enviaron ingenieros de minas para descubrir, denunciar y reconocer todos los yacimientos que encontraran disponibles. Fue tanto el afán de estos comisionados extranjeros y de los mineros antioqueños por no quedarse atrás, que en el año de 1825 el registro de minas declaradas al gobierno de la provincia alcanzó el inaudito número de 836 minas de filón (sin contar las de aluvión), mientras que en años anteriores esa cifra era del orden de una decena de minas, o menos, cada año.

El primero de los ingenieros que vino con el encargo de descubrir y denunciar minas para compañías inglesas fue el señor Edward Walker, enviado por la casa Powells Illingworth and Co. Recorrió los territorios de Mariquita, Marmato y todas las montañas de Antioquia, encontrando y titulando yacimientos de veta, que eran los que les interesaban a los ingleses. Poco se sabe de los antecedentes personales y profesionales de Walker aparte de su nacionalidad británica. Se sabe, sí, que se dedicó afanosamente a poner en explotación muchas minas y que en este trabajo llegó a Sonsón, donde se casó y radicó, y que su hijo emigró después a Manizales.

También en 1826 vino don Carlos Segismundo Tromholt de Greiff, nacido en Suecia de una familia noble y poseedor de una completa formación como ingeniero en la Universidad de Upsala y como oficial en el Colegio Militar de Carlborg. Luego de combatir contra los ejércitos de Napoleón, decidió venir a la Nueva Granada a trabajar en las minas. Llegó directamente a Antioquia don-

de se encontró con su hermana María y con el esposo de ésta, el químico ruso Carlos Hauswolff, quien falleció poco tiempo después a causa de las enfermedades tropicales de las minas. Al llegar De Greiff no había en Antioquia ni un solo ingeniero y tal vez ni siquiera había un agrimensor. El ingeniero sueco trabajó desde su llegada en las minas de Amalfi, Anorí y otros sitios, dedicado a mejorar las minas, instalar aparatos nuevos, enseñar la amalgamación y el uso de la pólvora, construir molinos de pisones, trazar socavones y túneles y adiestrar a los mineros en el uso de las herramientas de hierro. Todo ello era completamente nuevo en las minas de Antioquia y del resto de Colombia.

De Greiff recorrió Antioquia en toda su extensión, estudiando y describiendo su abrupta geografía. Cuando Agustín Codazzi vino a Antioquia en 1853, encontró en De Greiff una ayuda preciosa porque éste le dio numerosos informes, mapas y datos para su trabajo corográfico, como lo reconoció en sus informes posteriores. Fruto de los estudios geográficos de De Greiff sobre Antioquia fue el primer mapa completo de la provincia que el ingeniero sueco dibujó personalmente y que luego hizo imprimir en París, en 1857, a su propio riesgo. Hacia 1865, De Greiff se fue a Remedios para dirigir las minas de la compañía inglesa The Colombian Mines Corporation Limited, donde hizo admirables obras de ingeniería civil y de minería para mejorar las explotaciones. En dicha población murió en 1870 después de servir durante 45 años a su patria adoptiva y de formar una brillante familia cuyos descendientes han ilustrado las ciencias y las letras de nuestro país.

El ingeniero Thomas Johns, nacido en Liverpool, estudió ingeniería de minas en su patria y vino a Antioquia acompañando a don Carlos Segismundo de Greiff, con quien trabajó en varias minas. Johns inició la explotación de las minas de oro en la población de Angostura, cerca al río Nechí, y allí ejerció la misma obra de tecnificación y modernización que sus colegas europeos estaban cumpliendo en otras regiones mineras de Antioquia. Aquí vivió el resto de sus días y sus descendientes han conservado la vocación por la ingeniería que lo trajo a Colombia.

Por recomendación de De Greiff, en 1829 fue traído el ingeniero Tyrell Moore para trabajar en las minas de Marmato, explotadas por la compañía británica Western Andes Mining Company. Moore había nacido en Londres y había recibido una muy buena educación. Se había formado profesionalmente en la Escuela de Minas de Freiberg, en Sajonia (Alemania), donde se graduó en 1823, y posteriormente había viajado por el continente antes de regresar a su país. En Marmato, Moore trabajó con energía para implantar métodos más modernos de minería. Aunque se le atribuye a Boussingault la implantación de

la amalgamación en esas minas, es muy probable que Moore empleara ese método para aislar el oro antes que el químico francés. Fue Moore quien inició en Marmato, casi desde el momento en que llegó, la extracción de plata.

Cuando terminó sus compromisos en Marmato, en 1831, Moore fue contratado por los dueños de El Zancudo para dirigir estas minas y allí empezó a divulgar el uso del molino de piones metálicos, llamado por él y sus mineros *cornish mill*, debido al origen de estas máquinas en las minas de la región inglesa de Cornualles. El *cornish mill*, accionado por energía hidráulica, hizo completamente obsoleto el trabajo que antes se hacía a mano y produjo rendimientos en oro antes no imaginados, amplificados aún más por el uso de la pólvora para abrir galerías subterráneas y por el de la amalgamación para aislar el metal precioso. En El Zancudo inició Moore la producción de plata en 1835 y allí trabajó varios años este infatigable ingeniero inglés. Posteriormente trabajó en minas cerca a Santa Rosa de Osos y en las minas de Santa Ana y La Constancia, cerca a Anorí. En todas partes enseñó a construir y a usar los molinos *cornish* y a aplicar técnicas modernas de minería, como la amalgamación, los arrastres, la rueda hidráulica y los crisoles para fundir metales.

En 1851, Moore montó por su cuenta la Hacienda de Fundición de Titiribí para procesar las piritas auroargentíferas que desechaban los mineros. Después de afrontar muchos problemas técnicos y comerciales, logró estabilizar su propia fundición de plata en barras, hacia 1861. Mientras tanto, los dueños de El Zancudo habían traído de Alemania al ingeniero de minas Reinholdt Paschke para competirle a Moore en su propósito de aislar y vender la plata separada del oro refinado. Fue Paschke quien montó con éxito los primeros hornos para refinar oro y separar plata en el sitio de Sabaletas, cerca a Titiribí, en 1853. Después de su exitosa experiencia en Sabaletas y de laborar allí algún tiempo, este ingeniero alemán regresó a su patria.

En épocas posteriores, ya como próspero empresario, Moore intentó establecer la navegación por el río Cauca, en Antioquia. Construyó un largo camino desde Yarumal hasta Ayapel para traer ganado de las planicies del bajo Cauca al interior de Antioquia. Inclusive se preocupó por el poblamiento de la Nueva Granada y fue así como se esforzó en crear una colonia de familias europeas en las vertientes del norte de las montañas antioqueñas, pero no tuvo éxito. Años después, Moore se trasladó a Bogotá donde vivió el resto de sus días.

Casi simultáneamente con el famoso empréstito inglés, Santander le pidió a Zea, embajador en Londres, que viajara a París y solicitara al secretario de la Academia Francesa, a la sazón el eminente naturalista Georges Cuvier, que formara una comisión científica para venir a Colombia para estudiar nuestros

recursos mineralógicos y metálicos. Cuvier formó la comisión, encabezada por el naturalista peruano Mariano de Rivero, y constituida también por el mineralogista Justin Marie Goudot, el médico François Desiré Roulin, el físico y matemático Jacques Bourdon, así como por el joven químico Jean Baptiste Boussingault. La comisión se estableció en Bogotá y trató de formar una escuela de mineralogía y un museo de minerales y rocas, pero la pobreza del gobierno no le permitió hacer más.

Al disolverse la misión, Boussingault viajó a las minas de Santa Ana (provincia de Mariquita, hoy Tolima) y a Marmato. El libro de las memorias de Boussingault relata sus trabajos, sus andanzas y sus experiencias en la Nueva Granada y especialmente en Antioquia. Entre nosotros vivió y trabajó diez años y en 1832 regresó a su nativa Francia. Boussingault hizo después valiosos aportes a la ciencia mundial, como sus estudios sobre la química de las plantas y la fundación del Instituto Agronómico de París. En esa ciudad ayudó a Humboldt a publicar la monumental obra sobre los viajes del alemán al Nuevo Mundo. En 1840, con Humboldt y Arago, recibió a Codazzi en la Academia de Ciencias y le ayudó a publicar su inmenso atlas sobre Venezuela. Después de una fecunda vida, Boussingault murió en París en 1887. A Boussingault se le debieron amplios estudios sobre la geología y la mineralogía de las minas antioqueñas y muchos esfuerzos por divulgar métodos más avanzados para su explotación, tales como la amalgamación.

Junto con Moore, en 1829 llegó a Antioquia el ingeniero inglés Thomas Eastman, nacido en Brighton, con su esposa, tres hijos varones y dos hijas. Como otros ingenieros europeos, vino a las minas y trabajó en las vetas de Supía, Quiebralomo y Marmato. Al pasar el tiempo, sus tres hijos se hicieron ingenieros en Europa pero todos se radicaron en Colombia. Uno de ellos, Thomas O. Eastman, llegó a ser un destacado parlamentario liberal. El padre, don Thomas, falleció en Riosucio hacia 1860 después de 30 años de servir a la minería de Antioquia.

En 1836 llegó desde Inglaterra el ingeniero William Cock, nacido en Liverpool en 1810 y formado en la Universidad de Manchester. Después de casarse en Popayán, trabajó en las minas de Santa Ana (hoy Falán, Tolima) donde pasó a las de Marmato, y posteriormente se trasladó a Antioquia, en cuyas minas trabajó largo tiempo. Murió en Medellín en 1870.

En la misma época vinieron otros ingenieros europeos a trabajar en las minas de la provincia antioqueña. Algunos no permanecieron en nuestro país y regresaron finalmente a sus patrias del Viejo Mundo después de enriquecer con su trabajo y sus conocimientos nuestra cultura. Entre ellos merece mencio-

narse, en primer lugar, a don Pedro Nisser, nacido en Suecia y formado como ingeniero en la Universidad de Upsala. Llegó en 1825 y trabajó más de diez años en las minas de Marmato, Supía y Salamina. A su regreso a Europa, publicó un completo informe técnico sobre nuestra minería con el largo título de *Sketch of the Different Mining and Mechanical Operations Employed in Some of the South American Goldworks...* Quiso regresar a Sonsón pero la muerte lo sorprendió en Jamaica.

También trabajaron en las minas de Marmato ingenieros europeos como Karl Degenhardt, quien como director general de la Western Andes Mining Company en esa localidad, hizo grandes progresos en los métodos de trabajo y en los rendimientos de las vetas. Después de cinco años de estar entre nosotros regresó a su nativa Alemania en 1834. En 1837 vino también el químico italiano Gianbattista Brugnelli, contratado por el gobernador provincial Juan de Dios Aranzazu para que enseñara química y mineralogía en el colegio provincial, semilla de la actual Universidad de Antioquia. El profesor Brugnelli trajo algunos equipos e inició sus clases, pero el gobierno provincial no pudo cubrir sus salarios por lo cual hubo de retornar a su Italia nativa dos o tres años después.

Aquellos ingenieros europeos fueron quienes trajeron a Antioquia —y puede decirse que a la Nueva Granada entera— ciencias nuevas como la mineralogía, la topografía, la hidráulica, la mecánica aplicada, la teoría del calor, la química mineral y la metalurgia; técnicas como los métodos geofísicos, el uso del carbón, la amalgamación, la construcción de vías y de túneles; máquinas tales como la rueda hidráulica, los arrastres y los molinos para minerales, y materiales como la pólvora, los reactivos químicos, el mercurio y el agua regia.

Gracias a esos avances tecnológicos, la minería antioqueña hizo grandes progresos entre 1825 y 1840, especialmente en las explotaciones de filón. Del 5% que representaba la producción de las pocas vetas de la provincia, su participación en el total de Antioquia subió a cerca del 25% o el 30% a mediados del siglo. Sobresalían entre esas minas las de El Zancudo en Titiribí y Santa Ana en Anorí, la mayor de Antioquia en ese momento. El uso del molino de pisones, de la amalgamación, la aplicación de una adecuada ciencia geológica, la energía y los aparatos hidráulicos, las técnicas de fundición, el adecuado financiamiento, la modalidad empresarial asociativa y la implantación del trabajo asalariado, hicieron de esas minas de veta las primeras empresas modernas, de tipo capitalista, en Antioquia y en la Nueva Granada. Al mismo tiempo, entre 1825 y 1830, la provincia antioqueña se convirtió en la primera región aurífera de la Nueva Granada, superando con amplitud a la provincia del Cauca, y llegando a producir la mitad de los

metales preciosos que exportaba el país. En esos años, la provincia producía, quizá, entre cuatro mil y cinco mil libras de oro por año.

Los ingenieros inmigrantes europeos hicieron un aporte decisivo a ese desarrollo que tuvo, entre otras, importantes consecuencias económicas para Antioquia. En efecto, la nueva minería capitalista proporcionó a los comerciantes que asumieron su explotación el control, ya no sólo del comercio del oro, sino de su misma producción. Ahora los nuevos empresarios hacían producir las vetas en los socavones con técnicas avanzadas y trabajaban yacimientos más duraderos y más confiables que los veleidosos aluviones. En esta nueva escuela práctica se formó la clase empresarial y la mano de obra técnica que, al final del siglo XIX, iniciaría el fenómeno *sui generis* de la industrialización temprana de Antioquia, que tanta importancia ha tenido en el desarrollo económico de Colombia. A estos pasos de progreso no son, pues, ajenos los nombres de aquellos ingenieros europeos.

Uno de los grandes servicios que prestó Moore a Antioquia fue el de congrega un magnífico grupo de técnicos e ingenieros que sirvieron a la provincia y al país en grado eminente. De Europa vinieron, por recomendación de Moore, los ingenieros Enrique Haeusler, Carlos Greiffenstein y Alejandro Johnson. Al mismo tiempo Moore, junto con los otros ingenieros europeos, al trabajar con ellos y darles su propio ejemplo profesional y técnico, formó la primera generación de técnicos e ingenieros de minas antioqueños, entre quienes figuran Francisco de Paula Muñoz, Joaquín Uribe, Santiago Ramírez, Mario Escobar y otros.

MEDIADOS DEL SIGLO XIX

En 1858 vino Carlos Greiffenstein, nacido en Gross Gerau, Hessen (Alemania). A los 22 años se había graduado en la misma Escuela de Minas de Freiberg donde estudiaron Humboldt y Moore. Este último había solicitado desde Antioquia a su escuela nutricia un metalurgista. Greiffenstein fue escogido para el cargo y viajó a Londres a formalizar su contrato. Vino a trabajar en Sitioviejo, cerca a Titiribí, donde montó, en 1861, una fundición financiada por Moore para beneficiar los minerales auroargentíferos. Posteriormente trabajó en Marmato y al final de su vida se radicó en Medellín donde estableció su hogar; sus descendientes aún viven en Antioquia.

Enrique Haeusler nació en Maguncia (Mainz), Alemania. Vino a nuestra tierra en 1839, por recomendación de Moore, cuando era gobernador de la provincia de Antioquia don Mariano Ospina Rodríguez. Haeusler era especialista

en construcción de puentes y para eso se le requirió. Construyó varios en el río Medellín, en el río Rionegro, en el río Samaná y en otros sitios. Pero, además, instaló la barca cautiva en el río Cauca cerca a Santafé e hizo otras obras. Montó la primera maquinaria de la Casa de la Moneda, fundada en 1862, e instaló el primer trapiche metálico en Envigado. Fundó su familia en Antioquia y murió en Medellín en 1888. Algunos de sus descendientes viven en Antioquia y otros en Bogotá.

También llegó a Antioquia por recomendación de Moore el señor Alejandro Johnson, en 1835. Oriundo de Inglaterra, donde había estudiado, vino a trabajar como ingeniero mecánico a las minas de El Zancudo. Allí estuvo varios años y luego continuó su trabajo en otras minas de esta provincia. Vivió en Antioquia el resto de su vida y sus descendientes quedaron en dicha comarca.

Los conocimientos aprendidos a estos ingenieros ingleses permitieron seguir mejorando el nivel técnico de las minas. Así, por ejemplo, en 1852 se instaló en El Zancudo la primera máquina de vapor que llegaba a las minas antioqueñas. En estos mismos años de mediados del siglo XIX se instalaron bombas de madera para extraer agua en algunos aluviones profundos. Las bombas eran construidas en la región por operarios cuyos conocimientos, así fueran empíricos, habían sido traídos por los ingenieros ingleses. En años posteriores, el uso de bombas metálicas accionadas por vapor se expandió a otras minas tecnificadas, entre ellas a la mina Bolivia de la compañía inglesa Frontino and Bolivia Gold Mines, donde comenzaron a ser usadas en 1865.

A mediados del siglo vinieron a Marmato, como técnicos mineros, contratados por la compañía inglesa que explotaba esas minas, los ingenieros Jorge Tomás Federico Gartner y Julio Richter. El señor Richter volvió a su patria unos años después, pero el señor Gartner permaneció en Colombia y aquí formó su familia. Ejerció su profesión en Marmato, Supía y otros sitios. Al final de su vida se radicó en Riosucio y allí murió. Varios de sus descendientes fueron ingenieros connotados como sus hijos Carlos y Jorge Gartner.

Carlos Johnson nació en Inglaterra e hizo sus estudios de ingeniería en Oxford y Alemania, probablemente en Freiberg, que en su tiempo era la más afamada escuela de minería en Europa. Después trabajó en España. En 1854 vino a Marmato contratado por la Western Andes. Trabajó posteriormente en las minas de Supía, Titiribí y Porce. Hacia 1868 construyó para el gobierno de Antioquia el camino de ruedas de Medellín a Barbosa. En 1874, Cisneros lo vinculó a la construcción del ferrocarril de Puerto Berrío a Medellín, donde Johnson trabajó cinco años. Construyó también numerosos puentes en diversos

sitios de Antioquia. Vivió en esta tierra el resto de su vida y falleció en Medellín, donde aún viven sus descendientes.

A las minas de la firma Frontino and Bolivia Gold Mines llegaron también varios ingenieros que dejaron sus conocimientos y su experiencia en Antioquia. Probablemente la mayoría de ellos volvió a su tierra natal, pero varios permanecieron en Antioquia para ejercer el magisterio de su trabajo esforzado y fructífero.

Como resultado de la activa política imperialista de Napoleón III, en los años sesenta del siglo XIX comenzaron a llegar compañías francesas a explotar el oro de Antioquia. Las compañías y los empresarios franceses vinieron a Remedios, al río Nechí y a Titiribí. A esta última localidad llegaron, en 1856, a buscar y explotar minas, los señores Adolfo y Pablo de Bedout, Henri Breche y Armand de Coleville, y los ingenieros Eugène Lutz y el conde Adolfo de Bourmont, todos con el ánimo de fundar una empresa minera, pero esta idea no prosperó. Los hermanos Bedout se quedaron como empresarios en Antioquia. Breche y Coleville retornaron después de un tiempo a Francia. Bourmont, oficial de ingenieros de la École Militaire de Saint Cyr, marchó a Titiribí y se asoció a la Hacienda de Fundición que Moore había establecido en 1861 para beneficiar la plata de los minerales residuales de El Zancudo. Después de muchos esfuerzos técnicos y de algunos insucesos de negocios, el conde regresó a París.

El ingeniero Eugène Lutz trabajó primero en minas. Posteriormente colaboró en el montaje y operación de la ferrería de Amagá, hacia 1870 ó 1875, donde se producía maquinaria agrícola y minera. El gobierno de Antioquia le encargó después el montaje de una pequeña planta de ácido sulfúrico, necesario como electrólito para las pilas eléctricas que accionaban los telégrafos en aquellos días. No habiendo tenido éxito por razones técnicas y económicas, Lutz regresó a Francia.

Con las compañías francesas vino también el ingeniero Francisco Barbier de Lahaze. En 1869 trabajó en la mina de Bretaña, primero como contador y después como director, cargo que desempeñó durante varios años. Luego fue a Sonsón en misiones mineras y allí contrajo matrimonio y residió hasta el fin de su vida.

El gobierno de Pedro Justo Berrío (1864-1873), uno de los más fecundos para Antioquia en el siglo pasado, se empeñó en traer a la provincia técnicos extranjeros para capacitar mano de obra calificada en la Escuela de Artes y Oficios de Medellín, que ese mismo gobierno había fundado. Así vino el señor Augusto Freydel, mecánico y fundidor alemán, quien después de ejercer la instrucción de ese oficio, instaló una fundición de hierro para fabricar piones

y otras piezas de maquinaria minera. El señor Freydel permaneció hasta su fallecimiento en Medellín y aquí dejó su descendencia.

En 1858 había llegado a Antioquia otro mecánico y fundidor alemán, el señor Wilhelm Reginaldo Wolff, nacido en Alemania en 1834. Después de ocuparse en distintas labores, se radicó en Sitioviejo, cerca a Titiribí, y allí instaló en 1874 un pequeño taller de cerrajería y mecánica donde reparaba maquinaria minera. El taller creció con el tiempo y allí instaló Wolff la primera fundición de hierro que hubo en Antioquia. El establecimiento fue comprado por la compañía minera que explotaba El Zancudo y trasladado a la población de Titiribí. El señor Wolff estableció luego otro taller de fundición de piezas de hierro para maquinaria minera en Caldas (cerca a Medellín) y pasó el resto de su fructífera vida en nuestra tierra, donde ha crecido su descendencia. Enseñó a fundir y a construir bocartes, despulpadoras, trilladoras, ruedas hidráulicas, masas para trapiche y otros muchos artículos útiles. Fue uno de los primeros y auténticos precursores de la industrialización antioqueña.

EL FINAL DEL SIGLO XIX

En 1870 llegó a Buenaventura el ingeniero inglés Juan Enrique White, nacido en 1846. Descendiente de una antigua familia de marinos, había recibido su formación como marino e ingeniero en su patria. Con él llegaron sus hermanos, los ingenieros Roberto y Franklin, quienes habían contratado con el gobierno del Estado soberano del Cauca el establecimiento de la navegación por el río Cauca. Luego de fracasar en la empresa, el mismo gobierno les encargó el establecimiento de la navegación por el Patía. Tampoco pudieron hacerlo por las mismas razones anteriores: pobreza de los estados, guerras civiles, penuria del comercio. Los hermanos White perdieron en ambas empresas toda su fortuna, pero en vez de reclamar y demandar al Estado, se dedicaron a trabajar como ingenieros.

El general Mosquera, presidente del Estado del Cauca, contrató con ellos el trazado y la construcción de la carretera Buenaventura-Calí, bajo la supervisión del ingeniero norteamericano William Meiggs. Cuando, tiempo después, vino al país una comisión del gobierno norteamericano, dirigida por el coronel del cuerpo de ingenieros señor Shunk, encargada de estudiar el proyecto de un ferrocarril intercontinental, el ingeniero Juan Enrique White se incorporó a ella y allí trabajó por dos años. Fue entonces cuando vino y se radicó en Antioquia. Trabajó en las minas de la firma Frontino and Bolivia Gold Mines, de las que llegó a ser gerente;

dirigió la comisión demarcadora de límites entre Antioquia y Chocó, fue director general de caminos del departamento, desempeñó brillantemente muchos otros cargos y falleció en Medellín en 1925, a los 79 años de edad.

Roberto, hermano de Juan Enrique, vino con éste a Colombia. Había estudiado en el Queenwood College, donde se graduó como ingeniero civil. Llegó a Antioquia hacia 1880 y se dedicó a trabajar en las minas. En Remedios laboró y vivió largo tiempo. Sus extensos estudios sobre la flora y fauna colombianas y antioqueñas, que enviaba a Londres y a París, le merecieron ser nombrado miembro de varias academias científicas en esas ciudades. En Antioquia vivió y dejó su familia. Murió en Amalfi, en 1902. Tanto Juan Enrique como Roberto se casaron en Antioquia y dejaron una descendencia muy meritoria.

Franklin White vino a Antioquia desde el Cauca con sus hermanos y, como ellos, se dedicó a trabajar en las minas. En 1887 fue contratado por la Compañía Francesa del Nechí para dirigir la instalación y la operación de la primera draga que se operó con éxito en esta provincia.

Entre 1870 y 1880 se experimentó un gran avance en el equipamiento y en las capacidades de los molinos de pisón, todo impulsado en gran medida por los ingenieros extranjeros. Don Tulio Ospina estimó que hacia 1871 había en toda Colombia unos 850 pisonos de molinos para triturar roca en minas de filón, número que él juzgaba muy pequeño. De ese número podemos calcular que unos 600 ó 700 estaban en Antioquia. Pocos años después, en 1875, Cisneros informaba que en las 220 minas de veta que funcionaban en Antioquia había un total de 1.200 pisonos de molinos *cornish*, de los cuales entre 80 y 100 estaban en El Zancudo. La comparación de estas dos referencias muestra que en sólo 4 ó 5 años el número de pisonos de molino prácticamente se había duplicado. Fue también por esos años cuando se empezaron a traer al país las primeras turbinas tipo Pelton, que el ingeniero inglés de este nombre había diseñado y construido por primera vez en las minas de oro de California, en 1870.

La prosperidad minera y el ejemplo paradigmático de este buen número de eminentes técnicos e ingenieros extranjeros suscitaron entre numerosos jóvenes antioqueños el deseo de viajar por primera vez a Europa para estudiar ingeniería, metalurgia y química, y de servir a su tierra con conocimientos profesionales. Así lo hicieron, entre otros, los ya mencionados José María Villa, quien estudió en el Stevens Institute de Nueva York y allí se graduó como ingeniero mecánico, Francisco de Paula Muñoz, quien estudió en París, Tulio y Pedro Nel Ospina, graduados en Berkeley, Luis Tisnés, hijo de un ingeniero de minas francés que se radicó en Sonsón, José María Escobar, quien estudió en París, y Vicente y Pastor Restrepo, quienes fueron a París y Alemania. Don

Vicente fue discípulo de famosos profesores como Pélouze, Hugard y D'Orbigny, y se graduó como químico en la Universidad de París. Al regresar al país, los hermanos Restrepo fundaron en Medellín el primer laboratorio de fundición de metales preciosos y ensayo de minerales.

Los hermanos Tulio y Pedro Nel Ospina Vásquez heredaron de su padre, don Mariano Ospina Rodríguez, una cuantiosa fortuna y un profundo amor al estudio y a las realizaciones. Al regresar de la Universidad de Berkeley, en California, donde obtuvieron sus títulos como ingenieros de minas, ejercieron su profesión activamente en Antioquia y trabajaron con tesón por la creación de la Escuela de Minas en Medellín. Cuando ésta abrió sus puertas, en 1887, sus dos primeros rectores fueron Pedro Nel Ospina y don Tulio, en su orden.

Los hermanos Gouzy son dos franceses ingenieros de minas que merecen una mención especial en la historia de la minería antioqueña. En 1881 trabajaban filones auríferos en Sonsón y en sus alrededores y llevaron a esa zona los dos primeros molinos californianos con pisonos, de 70 kilos de peso, paso muy importante para la minería de esa región, que pudo así aumentar su producción. En 1887, luego de conocer el utilísimo monitor hidráulico en la mina Malpaso en Santa Ana (hoy Falan, Tolima), lo llevaron a las minas de Sonsón y de allí su empleo se difundió por toda Antioquia.

Entre los ingenieros que vinieron en el siglo pasado a las minas hay que mencionar a Silas Haynes Wright, estadounidense. Hizo sus estudios como marino e ingeniero en la U.S. Naval Academy en Annapolis, donde se graduó en 1881. En 1887 vino como ingeniero de una compañía norteamericana a trabajar en Cáceres. Se casó en Yarumal y allí nacieron sus hijos.

En 1895 vino a Antioquia para trabajar en la Compañía Francesa de Segovia el exmilitar e ingeniero francés Julian Coymat. Trabajó en las minas Cristales y Guamocó y en las minas de la Frontino and Bolivia Company en Remedios. Vivió luego en Amalfi, donde formó su familia, y al cabo de años de trabajo en las minas falleció en Medellín.

A fines del siglo XIX había en Antioquia unas diez empresas mineras extranjeras. Ellas eran:

- La Frontino and Bolivia Company, en Remedios
- La Western Andes Mining Company, en Marmato (entonces provincia caucana)
- La Pato Mines, en Zaragoza y en las minas de aluvión del río Nechi
- La Colombian Corporation, dueña de La Constanca, en Anorí
- La Compañía Francesa de Segovia



- La Compañía Francesa del Nechí, en Zaragoza
- Algunas compañías menores norteamericanas, que habían venido en los años ochenta.

En todas ellas trabajaban ingenieros ingleses, franceses o norteamericanos que mucho aportaron con sus conocimientos.

Es interesante anotar que, por esa época, los empresarios ingleses estaban traspasando sus intereses mineros a los norteamericanos. Ello podría explicarse por la superioridad tecnológica desarrollada por estos últimos con las numerosas innovaciones que aplicaban a la minería: la cianuración, la rueda Pelton, el monitor, la draga flotante, las máquinas de vapor, las bombas de hierro, etcétera.

En cuanto a Antioquia, fueron diez las principales innovaciones técnicas en la minería del siglo pasado, cuando esa industria dominó la vida económica de la región, y casi todas se debieron a ingenieros extranjeros. Ellas son:

1. El molino liviano de pisones (Gregorio Baena, 1825; Moore, 1830)
2. La fundición del oro y la plata para refinarlos (Moore, 1851; Paschke, 1861)
3. El molino californiano pesado (hermanos Gouzy, 1881)
4. El monitor hidráulico (hermanos Gouzy, 1887)
5. La draga flotante (Franklin White, 1888; Pato Mines, 1890)
6. La cianuración (Frontino and Bolivia Company, 1891)
7. El uso de la dinamita (Frontino and Bolivia Co., ca. 1875)
8. El uso de la máquina de vapor (El Zancudo, ca. 1850)
9. El uso de máquinas eléctricas (Pato Mines, ca. 1890; Western Andes Mining Co., 1904)
10. El uso de la turbina Pelton (Pato Mines, 1875-1880).

Dice Robert Brew que cerca de 50 extranjeros llegaron a Antioquia en el siglo pasado. De ellos, 26 vinieron como técnicos o administradores de las minas; otros fueron médicos y sólo llegó uno como comerciante. Dice también Brew, con mucha razón, que a ellos se debió casi totalmente el adelanto que hizo Antioquia a lo largo del siglo, especialmente en educación y preparación técnica.

Además, los ingenieros extranjeros que permanecieron aquí (De Greiff, Moore, Gartner, Walker, Eastman, Johns, Haeusler, Greiffenstein, Johnson, Wolff, los White, los Gouzy, Freydel, Barbier, Goldsworthy, Williamson, etc.) se asimilaron rápidamente a la sociedad antioqueña y le aportaron sus conoci-

mientos, su trabajo y su espíritu de progreso. Ello repercutió de muchas formas en la vida de Antioquia. Una de las más importantes fue la creación de la Escuela de Minas que motivó el interés de los jóvenes antioqueños de entonces por el estudio de carreras técnicas.

Pero la expansión de la minería de vetas, apoyada en el conocimiento de los ingenieros inmigrantes, fue absolutamente esencial en el desarrollo de la ingeniería antioqueña y, por lo tanto, de la industria en Antioquia y de la ingeniería en todo el país.

... en la vida de Andalucía. Una vez más, el estudio de campo en la zona de Málaga que muestra el interés de los investigadores por el estudio de campo.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

... los datos de campo y los datos de laboratorio. Los datos de campo son los datos que se obtienen en el campo y los datos de laboratorio son los datos que se obtienen en el laboratorio.

Capítulo 2

EL HIERRO. DE LOS HITITAS A COLOMBIA

EN LA MADRUGADA DE LA HISTORIA

Es en Egipto donde, hasta ahora, se han descubierto los más remotos vestigios de hierro obtenidos por el hombre. Probablemente fue descubierto accidentalmente cuando se encendió fuego con leña sobre un suelo formado por óxido de hierro natural de alta concentración, de manera que el carbón de la leña redujo el mineral y produjo pequeños trozos de hierro metálico que atrajeron la atención por su dureza y por su brillo. El hecho es que cerca del año 3000 a.C., los egipcios producían hierro en pequeñas cantidades que usaban casi exclusivamente para fabricar piezas de adorno y monedas, dada su escasez.

Se sabe que en el segundo milenio antes de nuestra era, entre el 2000 y el 1500 a.C., la tribu kizwanda, en las montañas de Armenia, en Asia Menor, desarrolló un método para obtener hierro metálico crudo (o arrabio). Parece que fue muy poco después cuando los hititas (imperio guerrero del Asia Menor, hoy Turquía, que tenía por capital la ciudad de Hattusas comenzaron a producir y a usar en forma generalizada el hierro en lugar del bronce. Producían hierro maleable (*wrought iron*, con menos de 0.15% de carbono) en pequeños hornos, con carbón vegetal como combustible y como reductor. Lo usaban para hacer implementos, herramientas y armas mucho más duras que las de bronce y con las cuales sembraron el terror entre sus enemigos, al igual que los persuadieron de usar el hierro. Así se generalizó el uso del hierro en vez del bronce en el Cercano Oriente hacia el año 1000 a.C.

Para producirlo se usaban minerales naturales muy ricos (del 75% de hierro) o hierro natural (siderita). Estos minerales se trituraban, se lavaban y se ponían entre capas de carbón de madera en excavaciones muy pequeñas, más pequeñas que una persona, hechas en la loma de una colina con tiro de aire natural. El hueco se recubría con piedras, se llenaba con mineral de hierro y con madera o carbón vegetal y se encendía el combustible. Cuando el combustible se consumía, se extraía de entre las cenizas una masa al rojo vivo, pétreo y porosa. Era el hierro crudo que se terminaba y refinaba a martillazos, entre una lluvia de chispas, para compactarlo y sacarle las impurezas. El trozo ya terminado, llamado tocho (*bloom* en inglés o *Blöm* en alemán), era más o menos del tamaño y de la forma de una batata grande y casi nunca pesaba más de 20 ó 25 kilos.

Mientras los hititas desarrollaban la producción y el uso del hierro, alrededor del siglo XIV antes de nuestra era, una tribu sometida a su imperio, los chalybdes, descubrieron el acero y la manera de producirlo que hoy llamamos por cementación. Este proceso consiste en forjar duramente el hierro (sin carbono) con martillo a altas temperaturas, en contacto directo con carbón vegetal, el cual se absorbe y se difunde en el hierro hasta comunicarle contenidos de carbono de 0.15 a 1.5%, característico del acero. Unos doscientos años después, hacia el 1200 a.C., algunas tribus de la misma área del Asia Menor inventaron el temple del acero al rojo, al sumergirlo repentinamente en agua fría para darle dureza y resistencia.

En el siglo X a.C., en todo el Cercano Oriente, en Egipto y en Babilonia, se usaba el hierro en forma generalizada. Lo producían reduciendo los minerales naturales, relativamente abundantes por todas partes, con carbón de madera (empleado como combustible y como reductor) en pequeños hornos hechos de tierra o ladrillo. Era mucho más fácil de producir que el cobre, que el estaño y que el bronce. Primero lo usaron para hacer espadas, luego para hacer hoces, hachas y picas para la tierra y posteriormente para hacer tenazas, yunques, clavos, dados para hacer hilos del mismo hierro, sierras, limas e implementos domésticos. En realidad, la palabra "herramienta" viene de la palabra latina que significa hierro. Los primeros en equipar ejércitos enteros con armamento de hierro fueron los belicosos y sanguinarios asirios, en el siglo VIII a.C. Ya en el año 600 a.C., los ejércitos de los asirios, de los persas y de otros pueblos usaban solamente el hierro para fabricar sus espadas y corazas. Y la civilización griega del siglo VI a.C. empleó el hierro como material básico de su cultura. El primer uso que hoy conocemos de metal como parte estructural de una construcción son las barras de hierro maleable que los arquitectos de Pericles pusieron para reforzar las vigas del techo de mármol de la famosa puerta Propilea, sobre la colina de la Acrópolis, cerca del Partenón, entre los años 440 y 430 a.C. (siglo V antes de nuestra era).

A medida que las técnicas para trabajar el hierro avanzaban, entre los siglos IV y II a.C., el hierro sustituía más y más al bronce en las armas de los griegos, los macedonios, los persas y todo el vasto mundo helénico. Alejandro Magno fue el primer hombre, que sepamos, que usó un yelmo de hierro. Y hacia el fin del siglo IV a.C., la coraza de hierro era ya de uso común en los ejércitos perimediterráneos y proximoasiáticos. El ingeniero rodio Chares, quien construyó el Coloso de Rodas (entre el 292 y el 280 a.C.), usó vigas de hierro interiores como piezas estructurales para sostener su inmensa estatua que medía unos 35 metros de altura.

La metalurgia del hierro llegó a Europa central y tuvo su primer gran centro desde el siglo X a.C. en la región que los romanos llamaron Nórlica (Estiria y Carintia), en los Alpes orientales (hoy Austria), donde llegó desde el imperio hitita. Después de unos 400 años se expandió hacia tierras de los celtas, especialmente hacia España, donde los herreros inventaron la "forja catalana" para producir hierro y donde la combustión del carbón de madera era avivada por dos fuelles. En la Nórlica se desarrolló también, hacia el 500 a.C., la técnica de producir pequeñas cantidades de acero directamente de minerales de hierro muy puros, reduciéndolos y fundiéndolos en forma especial y cuidadosa. Estas técnicas para producir y trabajar el hierro y el acero se mantuvieron casi hasta el fin de la Edad Media, si bien creció el tamaño de los hornos y se incorporó y perfeccionó el soplado de aire. El hierro que producían los antiguos en sus pequeños hornos de reducción con carbón de leña era una masa bastante impura, mezclada con escoria y esponjosa, que había que martillar duramente a mano para darle mayor dureza y para formarlo en lingotes más regulares. Solamente a mediados de la Edad Media se inventaría el martinete hidráulico.

Los herreros griegos produjeron el metal desde el final del siglo VI y fabricaron numerosos artículos para su vida diaria y para sus oficios. Es ese el momento que puede considerarse como el tránsito completo de la anterior edad de bronce a la plena edad de hierro en Europa.

Algunas minas de hierro que los etruscos explotaban alrededor del año 900 a.C. en la Toscana y en la isla de Elba, movieron la codicia de los primeros pobladores romanos del Lacio. El Lacio, toda Italia y la cuenca del Mediterráneo fueron siempre pobres en mineral de hierro. En realidad, el apetito por obtener minas de hierro fue un móvil poderoso para la conquista romana de España, las Galias, el Rin, Nórlica, Dalmacia y otras regiones, que así entraron a pertenecer al imperio cuyas armas fueron siempre de hierro. De hecho, los romanos usaron el hierro no sólo para sus armas, sino que lo producían tan bueno (mejor que el de los griegos) y tan barato, que lo usaban para fabricar

implementos domésticos, herramientas e inclusive arados, que necesitan un metal muy fuerte y económico que los griegos no sabían hacer. En todo caso, de hierro fueron la lanza larga y la corta espada recta de los hoplitas griegos y de los primeros soldados romanos, al igual que sus armaduras de planchas y tiras metálicas, sus escudos, las armaduras de sus caballos, sus arietes de asalto a fortalezas y sus herramientas de campaña.

Fue en la época romana cuando se introdujeron perfeccionamientos como la clasificación de minerales, el uso generalizado del soplado de aire a los hornos de reducción, el empleo exclusivo del carbón de madera, el uso de fundentes y el descubrimiento de la cementación. Cuando terminó la era precristiana y comenzó el siglo I de nuestra era, la antigua metalurgia del hierro llegó a su apogeo en Asia y en Europa (Grecia, Roma y otros pueblos). Era la metalurgia del pequeño horno semienterrado de reducción, con carbón de madera y una altura de 1 a 1.5 metros, y del herrero con martillo y fragua para batir los trozos de hierro. Todavía no se obtenía hierro gris para fundición (*cast iron*) en esos hornos tan pequeños y de bajas temperaturas.

Los romanos usaron en pequeña escala el acero producido en la Nórica por reducción directa de algunos minerales especiales de hierro. Pero el mejor acero que tuvieron fue el que llamaban "hierro sérico", un acero de alto carbono producido al fundir el hierro y carburizarlo en crisoles. Este metal era producido en la India y venía a Roma por el camino de Abisinia y Egipto. Los romanos creían que era producido en la China y lo llamaban *wootz*. Era un secreto tecnológico que los hindúes guardaban celosamente.

Ya en ese tiempo, los hindúes eran habilísimos siderúrgicos, herreros, fundidores y forjadores. Uno de sus monumentos más admirable es el Pilar de Hierro de Delhi, columna de 8 metros de alto fundida en una sola pieza, ordenada en el año 415 a.C. por el rey Kumaragupta para sostener en su cima la estatua de un "garuda", hombre-pájaro que representa al dios Vishnú en esa mitología. La alta pureza de este hierro y la sequedad del clima han mantenido a la columna en pie hasta nuestros días, aunque el garuda desapareció hace varios siglos. Por esa misma época, el monje budista chino Fa Hsyen, mientras viajaba por la India, descubrió que sus pobladores ya hacían puentes colgantes suspendidos de cadenas de hierro.

La manufactura de metales y de sus productos en Grecia y Roma abarcó pocos procesos (reducción, fundición, forjado y aleación) y no se desarrolló a gran escala sino que se mantuvo como un oficio de artesanos especializados. Por eso no tuvo nunca una profunda significación económica y social, pero dejó huellas importantes en las armas, en las artes y en la construcción.

Durante el auge de su poder imperial, Roma conocía y usaba ampliamente el hierro y también el acero. Del siglo I d.C. se conocen muchos documentos y ruinas que así lo atestiguan. También los celtas, los galos, los germanos y los eslavos de Europa conocían y usaban el metal en los primeros siglos de nuestra era como lo confirman los hallazgos de hornos para reducción en numerosos sitios de Europa Central y otros lugares de Europa. A Inglaterra esta industria llegó hacia el año 300 de nuestra era.

No se sabe si el uso del hierro llegó a la India desde el Cercano Oriente y Mesopotamia o si fue descubierto localmente de modo independiente. Lo que sí se sabe es que a fines del siglo VIII a.C., poco antes del año 800 a.C., ya se producía y se usaba ampliamente el hierro en la India. En ese mismo siglo, las caravanas de mercaderes llevaron pronto su uso y su tecnología a la China. En el año 513 a.C. aparece la primera referencia china del hierro que se conozca. La provincia más occidental de la China, la gran provincia de Quinn, dedicada a la producción y manufactura del hierro, conquistó gradualmente a los demás estados chinos entre los años 221 y 207 a.C., gracias seguramente al mayor valor militar de este metal sobre otros. Es también en esa época cuando el hierro se generaliza en el Mediterráneo y en el Cercano Oriente y remplaza al cobre en las armas, los artículos domésticos y las herramientas de griegos, romanos, sumerios y persas, gracias al conocimiento, ya muy difundido, de la producción, refinación y forjado del nuevo metal. Se sabe también que los chinos descubrieron, desde el siglo IV a.C., el procedimiento para refundir el hierro, vaciarlo y obtener objetos de forma arbitraria en moldes de arena y arcilla. Es muy posible que este proceso fuera descubierto, antes o después, en forma independiente por los hindúes, los babilonios o los griegos. Y lo mismo puede decirse del proceso que idearon los chinos hacia el 200 a.C. para producir una forma maleable de hierro (hierro maleable), porque ya en ese tiempo los soldados griegos usaban espadas de hierro forjado y los campesinos romanos, arados de hierro maleable.

Parece ser que el uso del hierro y su industria productora cobraron en la China un auge especial, ya que en el año 119 a.C. los emperadores de la dinastía Han nacionalizaron la producción del hierro fundido y de la sal. Ningún gobierno del Cercano Oriente o del Mediterráneo intentó hacer algo parecido, quizá debido a la menor extensión geográfica de sus ferrerías frente al territorio chino. De todas maneras, los chinos siguieron desarrollando la tecnología del hierro. En el año 31 d.C., durante la dinastía Han, Yu Shi inventó los fuelles movidos por agua para ventilar los hornos de refundición de hierro. Esta es la primera mención al hierro fundido en la China. Unos tres siglos después, hacia

el año 305 d.C., los chinos aprendieron a usar la hulla como combustible y reductor en vez de la madera, para producir hierro a partir de sus minerales.

Mientras tanto, Grecia, Roma y toda Europa habían aprendido a producir y a usar hierro maleable para sus espadas, sus armaduras, sus arados, sus puntas de flecha y sus herramientas. En los tiempos de la Roma imperial, la China y la India exportaban grandes cantidades de hierro de alta calidad a los países mediterráneos y del Cercano Oriente. Inclusive, los llamados "bárbaros" (germanos, vándalos y hunos) fabricaban tan buenas armas de hierro que a ellas debieron, en buena parte, sus éxitos militares en las invasiones del imperio romano. Hacia el año 400 d.C., los chinos descubren la manera de hacer acero forjando juntos el hierro gris de fundición alto en carbono y el hierro forjado bajo en carbono. Es probable que ese procedimiento haya sido descubierto independientemente en la India y en Mesopotamia en esa época o en años cercanos, porque cuando los árabes, en el siglo VII, comenzaron sus extensísimas y fulgurantes campañas militares de conquista, aquellos pueblos ya usaban alfanjes y cimitarras de acero y las ciudades de Bagdad y Damasco eran célebres por sus famosos talleres de armería en acero de gran calidad.

De todas maneras, parece ser que los chinos mantuvieron un ritmo rápido de desarrollo en la fabricación de armas y otras piezas grandes de hierro. Así, por ejemplo, hay pruebas documentales de que en el año 645, la emperatriz Wu Tse hizo fundir una columna de hierro, de unas 1.325 toneladas de peso, para conmemorar el esplendor de la dinastía Chou que gobernó ese imperio durante siglos. Tres siglos después, en el año 954, el emperador Shih Tsung hizo vaciar en hierro fundido la pieza más grande que hubo en la antigua China para celebrar su campaña contra los tártaros, y que corresponde al gran león de Tsang-Chou, de siete metros de alto y 40 toneladas de peso. Durante el primer milenio de nuestra era, los chinos (mucho tiempo antes que los europeos) inventaron los fuelles para las forjas de calentamiento de hierro en forma de un pistón de aire de doble acción. Y en 1105, los chinos construyen una pagoda de 28 metros de altura en hierro fundido donde cada piso fue vaciado en una sola pieza.

LA SIDERURGIA DEL MEDIOEVO

Muy poco se sabe de la historia y de la tecnología de los metales en la Europa medieval. Los documentos al respecto son muy escasos y dispersos y hay pocos vestigios arqueológicos de ferrerías, salvo en Alemania, Checoslovaquia, Polonia y Rusia. Al parecer, después de las invasiones de los bárbaros y de la

caída de Roma, los hornos para reducir minerales de hierro se hicieron más grandes. Los primeros siderúrgicos medievales usaban el horno de Córcega (horno corso), que es un hueco semicircular con forma de medio embudo, respaldado por una pared de piedra plana que coincide con el plano medio del embudo. Y a partir del siglo X, en la región de Estiria y Carintia, se perfeccionó el diseño de los hornos, que de allí se extienden a otras regiones de Europa. Ya en los hornos se alcanzan temperaturas de 1.400°C . De los hornos semienterrados conocidos desde la época romana y céltica se pasa a formas más grandes, por encima del suelo. El sistema de soplado se mejora considerablemente con fuelles manuales. Se generaliza el método de cementación para producir armas de acero. Hacia el siglo X ya se hacen los hornos en piedra que funcionan permanentemente y en los que el revestimiento interior sólo se cambia periódicamente. En el siglo XI aparece la forja catalana, de dos a cuatro metros de altura, con una cámara interna más cerrada.

En esos siglos medievales, los castillos señoriales feudales tenían puentes levadizos que se alzaban o descendían mediante cadenas enrolladas en tambores que se hacían girar con cabrestantes y engranajes de espigones de madera. Detrás del puente levadizo estaba la gran puerta principal para entrar al castillo. En la Europa del siglo XII, esas puertas eran de sólido hierro fundido porque sus castellanos, que habían ido a las Cruzadas, aprendieron de los árabes a hacerlas en ese metal.

Los herreros medievales de estos siglos descubrieron (como los chinos muchos siglos antes), que el arrabio sin mucho martillar se volvía un hierro gris, de apariencia frágil pero duro en la superficie, que hoy llamamos fundición o hierro colado. Este hierro se derretía más fácilmente que el hierro puro, y con él se hacían cañones y estufas al verterlo aún líquido en los moldes donde se solidificaba. Pero este tipo de hierro apenas era una fracción de todo el hierro producido en Europa.

Al final del siglo XII y comienzos del XIII, aparece en varias partes del continente europeo el "molino de hierro", es decir, el martinete para batir y darle solidez al hierro recién obtenido del horno, activado por una rueda hidráulica cuyo movimiento era transferido a los martillos mediante un sistema de palancas y de levas. El martilleo convertía los trozos irregulares de hierro crudo esponjoso en un lingote más homogéneo, maleable y sólido, libre de escorias. Esta operación, hecha a mano desde la remota antigüedad, comenzó ahora a hacerse en forma mecánica. Los monjes cistercienses, cuyas abadías eran, en muchos casos, productoras de hierro, hicieron mucho por ampliar el uso del molino de hierro, por mejorar su funcionamiento y por adaptarlo al aguzamien-

to y al afilado de herramientas y de armas. En esos dos siglos, la producción de hierro crudo (arrabio) y su refinación hicieron grandes avances. Los hornos para producirlo se hicieron más grandes, más permanentes y mejor construidos. A comienzos del siglo XIV, Alemania inventó el cañón construido en hierro fundido que revolucionó el arte de la guerra.

También en los últimos siglos de la Edad Media se desarrolló en Europa y en el Cercano Oriente la técnica de la forja para entremezclar, en capas alternadas, hierro maleable (o dulce) con hierro de alto carbono, especialmente para fabricar espadas y dagas de acero.

En el extremo norte de Europa, en Escandinavia, alrededor del 795, los vikingos ya sabían construir altos hornos para obtener arrabio y convertirlo en hierro que forjaban para hacer sus espadas y rodelas de guerreros marinos. Pasada la época más oscura de la Edad Media, el alto horno solamente se generalizó en el resto de Europa a fines del siglo XIV y esa ventaja tecnológica le dio a sus autores, los normandos, una gran superioridad militar en Europa durante varios siglos. En realidad, a pesar del relativo adelanto en este continente, el hierro fue siempre un metal cuyo uso se limitaba a las armas hasta cuando, más o menos en el año 1250, aparece el empleo más generalizado del hierro fundido en muchos artículos de uso doméstico, marítimo, industrial y del transporte. Lo que no se sabe todavía con claridad es si el gran dominio del hierro y de su tecnología fue traído de la China por los mongoles que invadieron Europa por esa época, al mando del Subotai Khan, o si fue desarrollado localmente y de modo independiente. El hecho es que hacia el año 1340 se construye en Lieja (Bélgica) el primer gran alto horno de que hoy tengamos noticia en Europa occidental.

El alto grado de dominio en el trabajo del hierro que los europeos alcanzaron pronto lo demuestra el complicado y enorme reloj mecánico hecho de hierro en la catedral de Estrasburgo en el año de 1354, y que aún existe hoy en día, al igual que el nivel de conocimiento y de trabajo del acero para producir espadas, corazas y armaduras en Toledo, Flandes, Venecia y en otras regiones europeas. Fruto de ese dominio técnico fue el invento del arco de ballesta, poderosa arma que surgió hacia el año de 1370. Hay numerosos documentos que muestran que entre 1380 y 1390 se extendió por muchas partes de Europa la producción de hierro primario (arrabio o fundición) a partir de mineral de hierro local, usando siempre carbón vegetal como combustible y como reductor, en hornos como los que hoy llamamos altos. Sus primeros modelos aparecieron en Austria entre 1430 y 1460, con el nombre de *Stuckofen*. La cámara interna de siderorreducción ya era cerrada y solía medir entre 4 y 5 metros. La altura

usual era de 14 pies, o sea, 4.27 metros. Algunos comenzaron a usar como reductor del mineral dentro de la cámara interna hulla en vez de carbón vegetal para obtener el arrabio (no el hierro refinado y maleable). En el siglo XV, los altos hornos existían ya en Francia, Alemania, Italia, los Países Bajos, Inglaterra, España, Rusia y otras regiones europeas. Existían también, desde luego, en Turquía, el Cercano Oriente, Persia, India, China y otros países asiáticos más adelantados. En Europa se generalizó el uso de ruedas hidráulicas para triturar los minerales, para accionar fuelles más potentes y para accionar los martillos con que se refinaba, a golpes, el arrabio crudo.

En 1483, Leonardo Da Vinci llegó a vivir a Milán y solicitó empleo en la corte del duque Ludovico Sforza. En apoyo de su solicitud, le ofreció al duque sus diseños y su capacidad para construir puentes militares portátiles, dispositivos incendiarios, escaleras y torres de asalto a murallas, arietes de hierro, cañones de campaña, barcos blindados, carros blindados, cañones y morteros pesados, mangoneles, balistas y catapultas. Todo ello requería, por lo menos, muchas partes de hierro forjado muy resistente.

EL HIERRO EN LA EDAD MODERNA

Durante los años que siguieron al siglo XV, los europeos y los asiáticos desarrollaron completamente la tecnología para obtener y para trabajar el hierro fundido y el hierro forjado en grandes cantidades. Con él fabricaban espadas, escudos, lanzas, cañones, planchas de blindaje naval, cuchillos, recipientes de cocina, relojes, cadenas, martillos, campanas, cerraduras, arados, herramientas manuales, tijeras, tubos, rejas, ejes, barras, etc. Sabían cómo obtener el arrabio en el alto horno, cómo convertirlo en hierro maleable mediante su recalentamiento en carbón, cómo forjarlo en el martillo hidráulico, cómo refundirlo en crisoles para vaciar piezas fundidas, así como forjarlo en caliente, templarlo para endurecerlo y laminarlo en planchas que también sabían perforar con punzón y cortar con cincel.

El método para producir hierro seguía siendo el mismo de la antigüedad: la reducción, en hornos de ladrillo, de minerales naturales como la hematita, la limonita y la siderita con carbón vegetal. Por ser este carbón muy puro, el hierro que así se obtenía también lo era, al igual que muy bajo en carbono (menos de 1%). Era, por lo tanto, un material maleable, un poco blando, que hoy llamamos hierro forjado o hierro maleable. Hasta el siglo XVIII, cuando se introdujo el

coque en la siderurgia y se obtuvo así el hierro "colado", el hierro que se obtuvo en los altos hornos a carbón vegetal siempre fue hierro maleable.

Aunque el acero era conocido por los armeros desde la antigüedad remota, todavía en la edad media y durante los siglos de la llamada Edad Moderna, hasta antes de la Revolución Francesa, era un producto caro que se empleaba casi exclusivamente para fabricar espadas, cuchillería y armaduras corporales. Toledo, Flandes, Estrasburgo, la Renania, Venecia, Estambul, Damasco y Bagdad eran los mayores centros de producción de armas y artículos en acero, donde era trabajado mediante el forjado a martillo del hierro de fundición con el hierro forjado. En esta forma, combinando hierro fundido (con 2 a 4% de carbono) con hierro maleable (con menos de 0.1% de carbono) obtenían los aceros (con 0.2 hasta 1.5% de carbono).

Esta fue la época clásica de la edad de hierro y fue ésta la tecnología que los conquistadores y colonizadores españoles trajeron al Nuevo Mundo, incluyendo a Colombia. Pero como los españoles se abstuvieron rigurosamente de desarrollar cualquier industria en toda la América que colonizaron, en la Nueva Granada tan sólo se aprendió a fundir en crisol piezas menores de hierro y a forjarlas a martillo en caliente. Durante la colonia española no hubo entre nosotros, pues, ninguna siderurgia.

La construcción del Palacio de Versalles, entre 1660 y 1665 durante el reinado de Luis XIV de Francia, marca el momento cuando la tecnología del trabajo con el hierro ya era dominada por herreros y forjadores europeos y, en particular, por los franceses. Los materiales de ese inmenso palacio fueron la piedra, el yeso, la madera y el hierro. De hierro fundido o forjado fueron hechas sus verjas, fuentes de agua, cerraduras, herrajes ornamentales, tuberías para agua, relojes, estufas, calderería doméstica, camas y muchos otros muebles. Lo mismo se hizo, en general, en los muchos palacios que se construyeron en esa época en Europa: el Escorial, Schönbrunn, L'Hermitage, Charlottenburg, Belvedere y muchos más.

Durante el siglo XVII se hizo un gran avance en la tecnología siderúrgica. Inglaterra estaba acabando con sus bosques para construir los navíos de su poderosa flota naval y mercante que crecía a grandes pasos, hasta cuando, en 1603, el herrero (*iron master*) Hugh Platt descubrió el coque, que produjo calentando carbón mineral, abundante en ese país, en ausencia de aire. Unos años después, en 1665, otro *iron master* culto, Dud Dudley, en su libro *Mettalum Martis*, metal de hierro, dijo haber encontrado el secreto de hacer hierro con hulla (seguramente coquificado) en vez de carbón vegetal.

Desde que en Italia se configuró, en el siglo XV, la profesión de ingeniero militar (a la cual estuvieron vinculados nombres famosos como Leonardo Da Vinci y Nicolo Tartaglia), el hierro había sido el material por excelencia para sus obras. De hierro se hacían piezas de artillería, balas de cañón, planchas de blindaje, arietes para asalto, barras de refuerzo, caños de arcabuces, armas blancas, balas para arcabuces, cadenas para puentes levadizos, para barcos y muchas otras piezas. Los herreros artesanos habían aprendido desde ese tiempo a obtener el hierro a partir del mineral, maleabilizarlo, fundirlo en el crisol, forjarlo a martillo en el yunque, soldar sus piezas o partes por maleado a alta temperatura, producir hojas de acero para armas y armaduras, templar el metal en agua fría y, en general, a trabajar el hierro con gran destreza, lo mismo que el acero, aunque este último en menor escala que el hierro.

A comienzos del siglo XVIII se dio un gran avance en la tecnología siderúrgica cuando, en 1709, el *iron master* Abraham Darby I aprendió e introdujo, en su planta siderúrgica de Coalbrookdale, en Inglaterra, la práctica de coquizarse la hulla y usar el coque para obtener hierro en el alto horno en vez de usar carbón de madera. En Inglaterra, mientras los bosques eran talados drásticamente para construir navíos, se estaban abriendo muchas ricas minas de hulla. Darby dio, pues, un paso esencial para el desarrollo en gran escala que vendría a poco tiempo para la industria siderúrgica en la época de la revolución industrial. El uso del coque en el alto horno da lugar a una temperatura bastante más alta que el carbón vegetal, por lo cual el hierro se funde a líquido fluido y disuelve parte del carbón (coque). Así, pues, el hierro que se obtiene con coque tiene un contenido más alto de carbono (de 2 a 5%), llamado hierro colado y arrabio (en inglés, *cast iron* y *pig iron*).

Y en 1720 vino otra gran innovación. En ese año, el físico francés René Antoine Ferchault de Réamur (1683-1757) inventó y construyó el primer horno de cúpula (o cubilote, como también se le llama hoy) para fundir trozos y chatarra de hierro y para producir hierro líquido (secundario o refundido) con el cual se vacían nuevas piezas de otras formas. Este proceso y técnica aumentaban enormemente la oferta del metal y diversificaban ampliamente las posibilidades para usarlo. El cubilote sigue siendo una de las herramientas fundamentales de la siderurgia en el mundo entero.

Pero el hierro colado, refundido o fundido era demasiado duro y frágil, mientras que el hierro forjado o maleable era demasiado blando como para hacer piezas de máquinas que tenían que moverse con rapidez y soportar fuertes impactos. Sólo el acero, con un contenido de carbono menor que el hierro colado pero mayor que el hierro maleable, poseía la resistencia y la dureza

adecuada para ese propósito. Y hasta entonces, el único medio que se usaba para hacer piezas de acero era lento y costoso. Consistía en mezclar, a altas temperaturas, trozos de hierro maleable con trozos de hierro fundido y batirlos con martillo en la forja hasta homogeneizar esta mezcla sólida. Pero fue el mismo Réamur quien resolvió el problema de producir acero en mayores cantidades al publicar en 1722 su libro *L'art de convertir le fer forgé en acier*, primer tratado técnico sobre el hierro y el acero.

Pero aun con innovaciones y trabajos como los de Réamur, el acero siguió siendo escaso y costoso a lo largo de todo el siglo XVIII. El hierro maleable y el hierro fundido siguieron siendo casi exclusivamente los materiales siderúrgicos para todos los usos del metal. Casi todos los objetos que se hacían con ellos eran pequeños, sin excluir las piezas de máquinas (molinos de granos, ruedas hidráulicas, forjas, etc.) que ya se fabricaban con hierro en esos tiempos. Pero a lo largo del siglo, las técnicas metalúrgicas para producir hierro, refundirlo y darle forma no cesaron de mejorar, especialmente en Inglaterra, hasta tal punto que, en 1779, Abraham Darby III pudo producir unas vigas de gran tamaño para construir el primer puente en hierro forjado del mundo, sobre el río Severn, en el condado de Coalbrookdale, Inglaterra, donde su familia tenía grandes talleres.

Otro avance importante de esta época fue el desarrollo del horno de reverbero, en 1784, por Henry Cort (1740- ?) en Fontley Forge, Inglaterra, y el proceso de pudelado para convertir el arrabio (*pig iron*) obtenido en alto horno con coque, en hierro maleable bajo en carbono y utilizable en muchas aplicaciones. Así fue posible independizar la producción industrial de hierro útil de la disponibilidad de carbón vegetal, pues los bosques que se necesitaban para producir este carbón se estaban acabando. A Cort se debió también el perfeccionamiento de los rodillos laminadores ranurados para laminar barras de hierro.

Por esta época, fines del siglo XVIII, había dos procedimientos en Europa y Estados Unidos para producir acero en forma industrial, aunque en cantidades pequeñas, porque ambos procedimientos eran costosos y difíciles. Uno de ellos era la cementación o carburación del hierro maleable (muy bajo en carbono) con carbón vegetal, a 1.000°C, empaquetado en pequeños hornos. El otro era el de fundir hierro puro con pequeñas cantidades dosificadas de carbón en un crisol, puesto en un horno a alta temperatura, para fundir el hierro y disolver en él el carbón. Orientado por estas prácticas, Michael Faraday, en 1825, mientras trabajaba como ayudante de laboratorio de sir Humphry Davy en Londres, preparó varias muestras de acero fundidas en crisol, mezclando hierro maleable

(*wrought iron*) con hierro fundido (*cast iron*) y pudo estudiar con relativa amplitud las propiedades metalúrgicas del acero.

LAS PRIMERAS SIDERURGICAS COLOMBIANAS EN EL SIGLO XIX

Recién independizada nuestra república, en 1824, el gobierno del general Santander concedió al señor Jacobo Wiessner un privilegio para montar una fertería destinada a producir hierro y artículos de hierro fundido. Wiessner había estudiado ingeniería de minas y metalurgia en Freiberg, Sajonia, y él mismo dirigió la construcción de las pequeñas instalaciones de la fertería de Pacho. Esta fue la primera industria importante en la República de Colombia y representó el primer contacto de nuestro país con la industria siderúrgica. La fertería de Pacho duró 72 años, pero tuvo que cerrar en 1896 después de numerosas vicisitudes técnicas y económicas. Esta fertería, junto con las de La Pradera, Samacá y Amagá, fueron escuelas donde los colombianos aprendieron a obtener hierro de la tierra, a fundirlo y a trabajarlo. Desafortunadamente, esas ferrierías no subsistieron largamente, a excepción de la de Amagá, que perduró hasta bien entrado el siglo XX. Con las ferrierías, Colombia entró en la edad de hierro e hizo un contacto temprano, quizá prematuro, con las nuevas técnicas de la revolución industrial.

Las ferrierías fueron la primera manifestación práctica en Colombia del manejo de la tecnología del hierro. Nunca en el siglo pasado produjimos acero. La otra manifestación importante de siderurgia en el país fueron las fundiciones de hierro que comenzaron a instalarse durante los años setenta y ochenta del siglo pasado. Aparecieron en los talleres de reparación de algunos ferrocarriles como el de Panamá, el de Cúcuta y el de Antioquia, y también como establecimientos industriales independientes dedicados a producir en sus instalaciones piezas fundidas para vender o para reparar máquinas y aparatos. Estas últimas surgieron en Bogotá, en Bucaramanga, quizá en el Valle del Cauca y, con mayor fuerza, en Antioquia.

La primera de estas fundiciones industriales se estableció cerca a Titiribí (Antioquia), como parte de un gran taller que instaló en 1874 la empresa de la mina El Zancudo para reparar y construir pisones metálicos para molinos californianos, rodetes de turbinas Pelton, monitores hidráulicos, partes para bombas de agua y otras piezas de su equipo para minería. Trabajaba con uno o dos hornos de cúpula (o cubilote), alimentados con chatarra de hierro y con carbón de leña de sus propios bosques, carbonizados en pilas cubiertas de tierra. La

tecnología y los conocimientos metalúrgicos necesarios procedían, seguramente, de los varios ingenieros europeos que trabajaron en esta mina de oro y en otras de Antioquia a comienzos y a mediados del siglo, tales como Boussingault, Moore, Bayer, Walker, Tisnes, De Greiff, Nisser y otros. Cabe anotar que con su fundición, su gran taller metalmecánico, sus minas de oro, sus bosques, sus haciendas, sus grandes muladas y caballadas y otras propiedades que tenía, la empresa El Zancudo era la más grande e importante que funcionaba en toda Colombia hacia 1880 y en los años siguientes.

La necesidad de producir piezas y repuestos para la intensa minería antioqueña del oro determinó la llegada de obreros y técnicos conocedores de los oficios de la metalmecánica, como los señores Greiffenstein, Wolff, Paschke y otros, y fue un impulso decisivo para la industria de la fundición del hierro en este estado.

Robert Brew, en su *Historia económica de Antioquia*, señala por lo menos once talleres de fundición de hierro, iniciados por esos años en Antioquia, y que subsistieron largo tiempo:

- a) El de la mina El Zancudo, ya mencionado.
- b) Un taller instalado por el señor Carlos Wolff, quien fabricó el primer molino californiano que se instaló en Colombia, en 1890. Construía trilladoras y despulpadoras de café.
- c) Otro, fundado por D. Agustín Freidel y algunos socios, y que en los años ochenta hacía planchas de hierro, trapiches, pailas de hierro y de cobre y pisones de bronce.
- d) En 1880, don Luis Villa, hermano del famoso ingeniero don José María Villa, montó una fundición donde construyó trapiches, herramientas para minería y armas de fuego.
- e) Hacia 1888 se creó la fundición de metales en Girardota, dedicada a reparar piezas y equipo del ferrocarril que entonces se construía y a fabricar trapiches y equipo minero. Además, gracias a la habilidad de sus técnicos, pudieron fabricar máquinas devanadoras de seda para el señor Manuel Vicente de la Roche, quien se empeñaba tenazmente en instalar tal industria en Antioquia.
- f) En la población de Caldas se instalaron, por lo menos, tres fundiciones entre 1880 y el fin de siglo. Su ubicación correspondía a la posición intermedia de esa población entre Medellín y las principales regiones cafeteras recién abiertas hacia el suroeste. Todas hacían despulpadoras, trilladoras, trapiches y ruedas Pelton.

- g) En 1890, don Antonio J. Quintero y sus hijos establecieron un taller de fundición y emprendieron la producción de maquinaria para beneficiar café, taladros, relojes para torres, etc. Inclusive, intentaron hacer cuchillos pero no pudieron competir ni en calidad ni en precio con los alemanes importados.
- h) Poco después, en 1896, se estableció la fundición de La Estrella en esa población. Ya a comienzos del nuevo siglo, se trasladó a la fracción de Robledo, en Medellín. En 1907 logró un sonado éxito técnico al reparar las primeras máquinas para una nueva empresa textil de Medellín, adquiridas por el general Pedro Nel Ospina en Inglaterra, las cuales llegaron dañadas.
- i) También de final de siglo fue el taller San José que producía masas de hierro colado para trapiches, ruedas Pelton y despulpadoras pequeñas a precios muy bajos.

Hacia 1890 llegaron a Bucaramanga los hermanos Penagos, quienes establecieron una empresa industrial metalmecánica que incluía una fundición dotada de un horno de cúpula o cubilote. Esta empresa realizó trabajos verdaderamente notables para su época. Uno de ellos fue la producción de cañones fundidos en hierro para las fuerzas revolucionarias en la guerra civil de los Mil Días, entre 1899 y 1902. Esto nunca se había realizado en Colombia, salvo en 1814, en Rionegro (Antioquia), cuando Francisco José de Caldas fundió unos cañones para las guerras de independencia de esa provincia. Otra realización técnica muy destacada de los Penagos fue, en 1912, la construcción en su taller de una turbina Pelton completa y otras piezas complejas de equipo mecánico y eléctrico para la planta hidroeléctrica que ellos mismos instalaron y operaron por muchos años en la población de Floridablanca.

En los primeros lustros del presente siglo XX aparecieron unas pocas y pequeñas fundiciones en Bogotá, destinadas a producir piezas de hierro gris para las fábricas que ya existían allí, para los ferrocarriles de la Sabana, del Sur y del Norte, para las máquinas usadas por los cafeteros y para otros usos menores. Por esa misma época, aparecieron en Cali una o dos fundiciones que producían repuestos para los ingenios azucareros. Luego, con el crecimiento de la producción cafetera, la expansión de las fábricas, la construcción de acueductos públicos y la extensión de la red ferroviaria, la demanda por piezas de hierro fundido creció extraordinariamente y, con ella, la producción y el número de las fundiciones que aparecieron en muchas ciudades y poblaciones del país. Así, la fundición se convirtió en una de las industrias más antiguas, estables y esparcidas en la geografía del país. Hoy existen alrededor de noventa

establecimientos que funden y producen unas ochenta mil toneladas de piezas, casi todas en hierro gris.

El siglo XIX vio un crecimiento asombroso en el uso y producción de hierro en el mundo occidental debido a la infinidad de nuevas demandas que de este metal planteaba la revolución industrial. Inglaterra, principal país siderúrgico del mundo, produjo en 1802 unas 170 mil toneladas de hierro crudo (*pig iron*); en 1840, llegó a un millón trescientas noventa y seis mil toneladas; en 1860, pasó los tres millones ochocientos veintiséis mil toneladas y en 1900 produjo más de cinco millones de toneladas. La producción de acero era muy pequeña, comparada con la de hierro, debido al alto costo de producir aquel metal y a la falta de conocimiento de su tecnología.

A pesar de la larga tradición de los armeros europeos con el acero, éste siguió siendo un metal escaso y costoso hasta cuando, a mediados de siglo, se desarrollaron los procesos para producirlo industrialmente. Parece que el primero que lo logró fue William Kelly (1811-1870) en 1852 cuando, trabajando en un pequeño pueblo de Kentucky y ayudado por cuatro obreros chinos expertos en hacer acero, inventó un nuevo proceso para producir acero a partir de *pig iron*, o arrabio, en un convertidor, inyectando aire a un crisol con el hierro fundido, lo que anticipaba en cuatro años el invento de Bessemer en Inglaterra. Lamentablemente, el descubrimiento de Kelly permaneció desconocido por sus contemporáneos y no fue aprovechado industrialmente.

Pero en 1856, el ingeniero inglés Henry Bessemer (1813-1898) desarrolló el convertidor que hoy lleva su nombre. El convertidor producía acero a partir de arrabio fundido, por inyección de aire caliente, en una retorta periforme con revestimiento refractario ácido para cargas hasta de 10 toneladas cortas. Esta idea había sido propuesta poco antes por el *iron master* Robert Mushet pero sólo Bessemer la convirtió en una realidad práctica e industrial.

Este invento y su aplicación industrial fueron el paso decisivo para convertir el acero en un producto económico, ampliamente usado, y para que, desde entonces, entrara a convertirse en el material por excelencia de la industria mundial, tanto que nuestra época ha merecido el nombre de edad de acero. A finales de los años setenta del siglo pasado se generalizó en Europa y Norteamérica el uso del acero en el mundo industrial. Al producir el acero con el convertidor de Bessemer, el precio bajó de 70 libras esterlinas por tonelada inglesa (unos 906 kilos) a 25 libras esterlinas.

En el mismo año de 1856, el ingeniero alemán sir William Siemens (1823-1883), quien trabajaba en Inglaterra, desarrolló el horno regenerativo que quemaba gases ya usados pero no agotados para obtener una mayor eficiencia térmica.

ca y económica, precursor del proceso llamado "de hogar abierto" para producir acero. Este proceso fue complementado por Emile Martin (1825-1915) en Francia, en 1865, quien desarrolló una vieja idea debida a Le Chatelier y que consistía en remplazar los crisoles de arcilla, entonces usados para producir acero, por un horno de hogar abierto de reverbero, revestido con refractario y dotado de un recuperador de calor. La combinación de las ideas de estos dos inventores condujo al proceso Siemens-Martin de hogar abierto que produce un acero de muy buena calidad.

Diez años después, en 1875, los siderúrgicos Percy Gilchrist y Sidney G. Thomas inventaron en Inglaterra el horno y el proceso para defosforizar acero en una cuba semicerrada con revestimiento refractario básico que lleva sus nombres. En 1880, el mismo sir William Siemens inventó el proceso para producir acero en horno eléctrico de arco. En 1899, el italiano Guglielmo Stassano aplicó el horno eléctrico desarrollado por Siemens a la producción industrial de acero, lo cual también fue realizado en Francia por Michel Héroult (1863-1914) con mayor éxito técnico.

Muchos historiadores consideran que la invención de los métodos para convertir hierro en acero en grandes cantidades y a bajo costo es una de las más grandes innovaciones tecnicoindustriales de la historia del mundo. El hecho es que, al entrar a producir acero con el convertidor de Bessemer, la producción mundial saltó de 70 mil toneladas en 1840 a 600 mil toneladas en 1877. Muchos productos que antes se hacían en hierro maleable pasaron a hacerse en acero: armas, herramientas, implementos domésticos e industriales, máquinas, botes y barcos, puentes, vigas, rieles de ferrocarril, etc. En 1880, la producción mundial ascendió a 27 millones de toneladas de acero y continuó subiendo sin parar hasta los 200 millones de toneladas que alcanzó en 1955.

La invención de los aceros especiales puede remontarse a 1882 cuando sir Robert Hadfield, en Inglaterra, inventó el acero al manganeso, altamente resistente a la fricción y al impacto. Poco después se inventaron los aceros inoxidables y en 1900, la compañía Bethlehem Steel inventó los aceros rápidos (*tool steel*) que tienen contenidos de carbono de 1.0 a 1.5% y son de gran dureza.

En materia de equipo siderúrgico, la última gran innovación fundamental fue el invento del horno de inducción de alta frecuencia para fundir hierro, debido a Norberto Ferrenti, en 1889, perfeccionado luego por Kjelling ese mismo año en Suecia, por Colby y Frick en los Estados Unidos y por Northrip en Princeton, en 1922.

El hierro y el acero han sido, y son, los dos materiales más usados en el mundo por los ingenieros de todos los tiempos y aún hoy siguen conservando

un primer puesto entre los materiales de la ingeniería, al lado del cemento. No en vano la nuestra se llama, con propiedad, la edad del acero.

Puede decirse, pues, que Colombia entró en la edad de los metales cuando incorporó el hierro y el acero a sus implementos cotidianos. Primero, en las armas de los colonizadores españoles y en otras aplicaciones menores como las ventanas y las verjas de sus edificaciones. Luego, cuando se usaron los primeros cañones de hierro fundido en las guerras de nuestra independencia. Los primeros equipos metálicos que vinieron a la república en 1823, fueron los buques de vapor con sus cascos en lámina de hierro, calderas, máquinas de vapor, engranajes y herramientas, hechos todos en hierro en los Estados Unidos, y que constituían el primer despertar (si se quiere, prematuro) de Colombia a la revolución industrial. Vinieron también con las primeras máquinas industriales que llegaron a Bogotá, entre 1830 y 1850, cuando allí se instalaban las primeras fábricas de la república para producir tejidos, lojería, vidrio y papel. Al mismo tiempo, en Antioquia se desarrollaba la minería tecnificada para explotar vetas de oro que exigía barras, martillos, tolvas, molinos, ruedas hidráulicas y otras máquinas y herramientas de hierro que venían de Inglaterra o se forjaban en las fraguas y los yunques de los centros mineros. Como actividad industrial, trató de arraigarse con las ferrerías de Pacho, La Pradera, Samacá y Amagá, que produjeron durante el siglo pasado.

Fue también la minería tecnificada antioqueña la que trajo las primeras calderas, máquinas de vapor, turbinas Pelton, arrastres para moler mineral y otros equipos mecánicos en hierro, necesarios para el beneficio de los minerales auríferos. La necesidad de producir localmente algunas de estas máquinas y partes o piezas de ellas motivó en Antioquia el establecimiento de varias fundiciones de hierro, durante el último tercio del siglo, con la antiquísima tecnología de fundición en crisol y con los primeros cubilotes que se conocieron en Colombia.

El hierro llegó a los agricultores colombianos desde fines del siglo XVIII con los primeros machetes, barras, azadones y otras herramientas de manejo manual. Era, por supuesto, una presencia muy marginal. A mediados del siglo XIX, en los ingenios del Valle, se introdujeron los primeros trapiches de hierro. En los años setenta y ochenta se presentó el gran desarrollo del café en el antiguo departamento de Antioquia, actual Caldas, en el actual Risaralda, Quindío y en el norte del departamento del Cauca, que cubría todo el actual Valle. Ese extraordinario proceso intensificó en gran medida la demanda de herramientas agrícolas manuales de hierro y acero y abrió el mercado de implementos metálicos más complejos, como la despulpadora manual y la trilladora, que desde

esos mismos años comenzaron a ser fabricados en las recién establecidas fundiciones y talleres de Medellín, Manizales y otras poblaciones de la región. Fue también al final del siglo cuando llegaron al país los primeros arados metálicos para el cultivo de la caña, del trigo y de otras cosechas de llanura.

Por la misma época se colaban en Antioquia las primeras industrias fabriles. Eran tejedurías, vidrierías, locerías, talleres metalmecánicos, cervecerías, jabonerías y otros establecimientos manufactureros que necesitaban hiladoras, telares, molinos para minerales, tornos, fresadoras para metales, yunques, moldes metálicos, parrillas, ejes, poleas, hornos, calderas, máquinas de vapor, marmitas y otras máquinas hechas de hierro (y, ya en esa época, quizá de acero), amén de muchas herramientas manuales de hierro y de acero.

Estos dos metales entraron en el trabajo cotidiano de los ingenieros colombianos cuando el país comenzó a hacer los primeros ferrocarriles: el de Panamá, el de Barranquilla-Puerto Salgar, el de Cúcuta-Puerto Villamizar, el de Antioquia y otros. De hierro eran los primeros rieles (que después fueron de acero), las locomotoras, las ruedas de los vagones, las bombas para agua y otros equipos ferroviarios. En los talleres de esos ferrocarriles, los operarios e ingenieros colombianos aprendieron a forjar, fundir, templar y soldar piezas de hierro. Ferrierías nacionales como las de La Pradera produjeron piezas y rieles de hierro para algunos de nuestros ferrocarriles, como el de la Sabana, en 1881.

A fines del siglo pasado, muchas piezas de ferrocarril comenzaron a venir en acero gracias al invento de Siemens y Martin. Lo mismo ocurrió con las máquinas que se importaban en aquella época para nuestras primeras industrias fabriles.

HIERRO Y ACERO EN NUESTRO SIGLO XX

En 1903 entraron los primeros automóviles al país. En sus motores de explosión, chasises, carrocerías, mecanismos y herramientas llegaba el hierro de los países más industrializados acompañado del acero, cuya producción industrial se estaba expandiendo rápidamente en Europa y Estados Unidos gracias a los inventos de Bessemer, Siemens, Martin, Thomas, Gilchrist y otros grandes ingenieros metalúrgicos que convirtieron el acero en el metal que dominaría el siglo XX.

Ya entrada nuestra centuria, el hierro y el acero tomaron en Colombia, como en casi toda Latinoamérica, el papel dominante de materiales por excelencia del desarrollo. La minería aurífera, los ferrocarriles, las nuevas y viejas fábricas, los buques fluviales, los cafetales, los automóviles, los acueductos, las

plantas eléctricas, las construcciones civiles y otras instalaciones y actividades económicas demandaban equipos, aparatos y herramientas de hierro y de acero.

La ferrería de La Pradera subsistió hasta 1907. La última de las viejas ferrerías que se cerró fue la de Amagá, poco después de 1930. Pero la tradición siderúrgica en Colombia sobrevivió en las fundiciones y en los talleres metal-mecánicos. Hacia 1920 ó 1930 ya se importaban cantidades considerables de máquinas en hierro y acero, automóviles, locomotoras de vapor para ferrocarriles, calderas, barcos fluviales, aparatos y motores eléctricos, máquinas de vapor, motores de explosión, estructuras, tanques, herramientas y muchos otros tipos de aparatos hechos en hierro y acero. Pero, además, ya se importaban cantidades considerables de lingotes, barras, láminas, varillas y otras formas básicas de los dos metales para fabricar en el país herramientas, recipientes, piezas de repuesto, muebles metálicos, pequeñas estructuras, implementos domésticos y otras manufacturas sencillas, mediante procesos de fundición, mecanizado, soldadura, forjado manual, ensamble y acabado. En la época de la Gran Crisis ya había varias fundiciones (con cubilote y con crisol), talleres de reparaciones y pequeñas fábricas que representaban un comienzo de industrialización metalmeccánica con los metales y las tecnologías del siglo XX.

Desde entonces, el acero se impuso definitivamente sobre el hierro como material para construir edificios, obras públicas, máquinas y aparatos de todo tipo. El primer acero que se produjo en Colombia fue elaborado a partir de chatarra, por la Empresa Siderúrgica de Medellín, en 1940, en un horno de arco eléctrico de tres electrodos. En ese año se elaboraron en la única productora de acero en Colombia varios centenares de toneladas del mismo. Después, se produjeron algunos miles de toneladas anuales por largo tiempo. En 1954 entró en producción la siderúrgica de Paz del Río, con una capacidad, en esa época, de 200 mil toneladas anuales. La producción nacional agregada dio un salto repentino.

En los últimos decenios, el país ha multiplicado su producción de acero primario, piezas fundidas y manufacturas de hierro y acero. De la modesta variedad de productos de sencilla tecnología elaborados en 1960, por ejemplo, hemos pasado a fabricar un amplio elenco de manufacturas y construcciones metálicas que incluyen palanquillas de acero, alambres y sus manufacturas, hojalata y sus manufacturas, automotores, calderas de vapor, grandes estructuras para construcción, aparatos electrodomésticos, motores y transformadores eléctricos, máquinas y aparatos agrícolas, grandes piezas fundidas y maquinadas, barras y varillas para construcciones civiles, alambres, molinos para minerales, hornos industriales, ascensores, herramientas agrícolas, herramientas manuales para metales, bombas hidráulicas, reactores químicos, torres de des-

tilación, aparatos textiles, grandes tuberías, muebles metálicos de todo tipo, mallas metálicas, etcétera.

Aunque Colombia tiene aún un consumo per cápita de hierro y de acero menor que el de muchos países latinoamericanos, esos dos metales son hoy elementos indispensables en su vida, en una medida incomparablemente mayor de lo que lo fueron para los hititas, para los romanos y aun para el mundo occidental del siglo pasado.

Colombia es un país avanzado en su tecnificación que usa cantidades apreciables de hierro y, especialmente, de acero, en todas sus formas básicas y en todas sus manufacturas. Además, es productor de ambos metales y de muchos artículos que se elaboran con ellos. La siderurgia nacional, como industria, está constituida por numerosas plantas y fábricas. Las principales son las siguientes:

- a) Una siderúrgica integrada (Paz del Río), que explota mineral de hierro, carbón y caliza, y que produce arrabio en un alto horno para convertirlo en acero en hornos Thomas. El acero se transforma en lingotes y palanquillas que, posteriormente, son laminadas para obtener lámina estirada en caliente y laminados no planos como barras, perfiles, alambrón y alambres. En un horno eléctrico convierte la chatarra que resulta de sus procesos en acero líquido que se forma en palanquilla. La escoria de los hornos Thomas es transformada en cemento *portland* y los subproductos de su coquería son parcialmente recuperados.
- b) Siete siderúrgicas semiintegradas que parten de chatarra de acero y/o de palanquilla para producir, en hornos eléctricos y en laminadores, palanquilla, barras, perfiles, alambrón, barras de acero aleado y alambres de acero al carbono. Una de ellas produce también tubos con costura, pequeñas piezas forjadas y piezas fundidas de acero.
- c) Una planta de hojalata estañada y cromada que importa la lámina estirada en frío para galvanizarla electrolíticamente.
- d) Una o dos plantas con forja-estampa pesada para producir piezas forjadas y otras con forja liviana para producir herramientas agrícolas y mecánicas manuales.
- e) Dos o tres plantas para producir lámina de acero, galvanizada en caliente por inmersión en zinc fundido.
- f) Una ferrería que produce hierro gris a partir de mineral de hierro y lo convierte en piezas fundidas.
- g) Más de cien fundiciones grandes y pequeñas de piezas de hierro y de acero que parten de chatarra y se funden en hornos de inducción, en hornos de arco eléctrico o en cubilotes para vaciar sus productos.

CUADRO 1
PRODUCCION DE ACERO EN COLOMBIA 1940-1990

Año	Miles de toneladas	Año	Miles de toneladas
1940	0.5	1966	202.4
1941	0.5	1967	209.9
1942	0.6	1968	217.7
1943	0.8	1969	272.5
1944	1.0	1970	283.8
1945	1.3	1971	302.1
1946	2.6	1972	300.2
1947	2.7	1973	272.2
1948	3.8	1974	281.8
1949	4.6	1975	302.2
1950	4.8	1976	286.8
1951	5.2	1977	252.9
1952	5.6	1978	237.0
1953	5.6	1979	223.1
1954	6.9	1980	319.3
1955	43.1	1981	314.3
1956	83.2	1982	332.6
1957	103.2	1983	378.8
1958	100.7	1984	384.9
1959	94.7	1985	467.2
1960	126.8	1986	456.5
1961	134.9	1987	531.6
1962	139.0	1988	599.8
1963	204.6	1989	593.9
1964	224.0	1990	590.0 (proy.)
1965	223.0		

Fuentes: Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero, varias publicaciones.
 G. Poveda R., *Simesa, medio siglo de siderurgia colombiana*.

- h) Cuatro o cinco trefilerías que parten de alambón de acero y producen alambre liso negro y galvanizado, alambre de púas, puntillas, tornillos, grapas, etcétera.
- i) Dos fábricas que producen tubos con costura partiendo de lámina estirada en frío, importada, que parte en tiras para enrollarlas y soldarlas en una máquina soldadora continua.
- j) Varias plantas pequeñas que compran palanquilla para relaminarla y producir barras de refuerzo para concreto.
- k) Numerosas fábricas de estructuras metálicas y de acero en diversas formas. Las hay en muchas ciudades del país.
- l) Relaminadores pequeños o medianos que compran palanquilla de acero y la laminan en caliente a formas no planas: varillas, flejes, etcétera.

Capítulo 3

FINALES DEL SIGLO XIX

FUNDICIONES Y OTRAS INDUSTRIAS

A través de variados efectos económicos y sociales entrelazados mutuamente, el crecimiento de la minería y del café seguía dando en aquellos años un impulso particular a la industrialización de Antioquia. Así, por ejemplo, la introducción de nuevas y mejores técnicas mecánicas en la explotación minera aumentaba considerablemente la demanda de piezas de hierro para esa actividad, al igual que el desarrollo del campesinado cafetero se traducía en una gran demanda de herramientas y despulpadoras para café.

Si bien la ferrería de Amagá intentaba atender esa demanda desde años atrás, el incremento del momento determinaba la aparición de nuevas fundiciones y talleres. En los años ochenta aparecieron unos diez talleres en Medellín y en las poblaciones vecinas, donde trabajaron, como propietarios y como técnicos, ingenieros inmigrantes como Reginaldo Wolff y Augusto Freydel, e ingenieros antioqueños como José María Villa y su hermano Luis.

Estas fundiciones cumplían, además, un importante papel tecnológico pues fueron las que popularizaron los conocimientos de la metalurgia del hierro y del diseño de máquinas a través de técnicas como la fusión y el forjado y mediante instrumentos, entonces nuevos entre nosotros, como el crisol, el horno de alta temperatura, el molde de arena y sus herramientas. Así mismo, dieron origen a nuevos oficios técnicos como los de hornero, moldeador y fundidor.

Una gran empresa industrial fundada en aquellos años fue la Locería de Caldas, que en 1882 inició la producción y era dirigida técnicamente por el ingeniero alemán Paschke, que venía de trabajar varios años en las minas de

Titiribí. Inicialmente hubo también técnicos españoles pero pronto, como en otros frentes, los obreros colombianos aprendieron la tecnología. A los pocos años, los ingenieros, técnicos y operarios en esa empresa eran todos colombianos. Para finales del siglo funcionaban también las ferrierías de La Pradera y de Pacho; esta última cerró definitivamente en 1896.

LA ELECTRIFICACION DE LAS CIUDADES

Desde 1860, la tecnología eléctrica mundial había hecho grandes avances. Entre 1861 y 1864, Pacinotti había desarrollado el generador y el motor de corriente directa. En 1866, Werner Siemens había comenzado a producir motores eléctricos a escala comercial después de que él, junto con Grammedad Negro, Pisci y Lodd, le introdujeron varios perfeccionamientos. En 1871, Zenobio Théophile Gramme patentó en Bélgica su generador de anillo devanado. En 1878, Pablo Jablockoff había hecho en Rusia la primera instalación de alumbrado eléctrico con lámparas de arco. Al año siguiente, 1879, Edison inventó la bombilla eléctrica incandescente y con base en ese invento fundó la primera compañía comercial de electricidad, construyó estaciones generadoras e inauguró el alumbrado público en 1882. Ese mismo año se comenzaron a construir plantas hidroeléctricas y termoeléctricas de vapor en los Estados Unidos. William Stanley inventó el transformador eléctrico en 1885 y dos años después, Nicola Tesla perfeccionó el alternador polifásico e inició el estudio de la corriente alterna para usos industriales.

La primera ciudad que tuvo energía eléctrica fue Cartagena, en 1891, con una planta diesel eléctrica. A continuación, en Barranquilla se instaló otra más grande en 1892.

Hacia 1890, Bogotá era una ciudad de unos 95 mil habitantes y, por tanto, era previsible que la electricidad fuera recibida con éxito. Fue así como el ingeniero Santiago Samper tuvo la idea de aprovechar la caída del río Bogotá para construir una planta hidroeléctrica, la cual inició en 1895 y dio al servicio en 1900, constituyéndose en la primera planta hidroeléctrica que existió en el país. Esto significaba entrar, aunque fuera tímidamente, en la era de la electricidad.

Poco antes, en 1897, el ingeniero José María Escobar instaló en Medellín la segunda central hidroeléctrica, en la quebrada de Santa Elena, con una potencia de 200 kilovatios.

Estas obras introdujeron al país una nueva tecnología: la de las altas corrientes y los altos voltajes. Con ella venían nuevas piezas de equipo, antes desconocidas para nosotros: el generador de corriente directa, el alternador, el

transformador, la línea de transmisión, la lámpara de arco, la bombilla incandescente, el motor eléctrico de corriente directa, el motor de corriente alterna, los controles e interruptores, etcétera.

Debido a que la electricidad fue una ciencia y una tecnología en formación hasta casi el final del siglo XIX, es muy probable que en nuestras facultades de ingeniería no se enseñara entonces como asignatura independiente. En cambio, a raíz de la inauguración hacia 1900 de la iluminación eléctrica en las principales ciudades, es probable que ya en los primeros años de este nuevo siglo comenzara a dictarse esta materia como parte del programa de ingeniería civil.

LOS FERROCARRILES AL FINAL DEL SIGLO

Mientras tanto, continuaba la construcción de ferrocarriles. El de Cartagena a Calamar se inició en 1890, por contrato entre el gobierno nacional y una compañía norteamericana.

Simultáneamente la misma compañía construyó el primer muelle marítimo de Cartagena, de 200 metros de largo. El ferrocarril se concluyó en 1894, apenas un año después de que Cisneros terminara el de Barranquilla a Puerto Colombia y el muelle de este puerto. En estos muelles marítimos, los primeros que tuvo el país, se usó por primera vez maquinaria pesada de construcción marina, movida por vapor: dragas, martillos para hincar pilotes, grúas flotantes y otras.

En Cúcuta el gobierno decidió prolongar el ferrocarril que ya antes se había hecho desde el río Zulia, para continuarlo hacia la frontera con Venezuela. La prolongación se comenzó en 1893, fue hecha totalmente por ingenieros colombianos y se terminó en 1897.

En 1893 el gobierno nacional inició la construcción del ferrocarril del Norte en Cundinamarca, en medio de muchos problemas legales y administrativos. La vía se abrió al servicio hasta el Puente del Común en 1894; en 1896 llegó a Cajicá y en 1898 a Zipaquirá.

El departamento del Tolima contrató en esa época al empresario Carlos Tanco la construcción del ferrocarril entre Flandes e Ibagué, el cual se inició en 1893; en ella trabajó el señor Tanco hasta cuando murió en 1908.

El ferrocarril de Bogotá hacia el sur comenzó a tenderse en 1895. El avance fue muy lento por los problemas que afrontaba el país en aquellos años, y sólo en 1903 la línea llegó hasta cerca de Sibaté.

Cisneros había iniciado la carrilera de Girardot hacia Bogotá y la había llevado hasta Tocaima. Luego el gobierno la había continuado hasta el sitio de

Anserma. Posteriormente contrató su continuación con el empresario norteamericano Samuel B. Mac Connic, el mismo que trabajó en el muelle de Cartagena y el ferrocarril a Calamar. Así, en 1895 se reinició la construcción desde Anserma hasta Anapoima.

Otra obra iniciada por Cisneros, el ferrocarril de La Dorada a Honda, se completó y se inauguró en esa época, en 1897.

La guerra de los Mil Días, 1900-1903, obligó a interrumpir la construcción de los ferrocarriles en el país.

ENSEÑANZA Y EJERCICIO PROFESIONAL

A mediados de los años ochenta, el gobierno de Núñez se empeñó en enviar jóvenes colombianos a centros industriales de Europa para prepararlos como instructores de escuelas de mecánica y fundición. El proyecto sólo logró resultado en el caso del señor Juan Nepomuceno Rodríguez, quien estudió en Francia y regresó en 1890 a fundar la Escuela Nacional de Artes y Oficios, donde instaló un taller de instrucción con equipos para fundición, calderería, torneado, fresado, etc. La escuela funcionó durante muchos años.

Un hecho que habría de tener muy importantes y afortunados efectos en la educación tecnológica y en la industrialización del país fue la venida, en 1890, de 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 instalaron sus escuelas técnicas en otras ciudades: Medellín, Bucaramanga, Cali, Ibagué, Barranquilla, etc. El efecto de la obra salesiana como contribución a la industrialización del país en los primeros decenios del siglo XX está aún por ser evaluado con el cuidado que merece, pero es claro para los estudiosos de esa época que fue muy significativo.

Al finalizar el siglo había solamente tres escuelas de ingeniería en Colombia: la de la Universidad Nacional, la Escuela Nacional de Minas y la de la Universidad Republicana, en Bogotá. El número de estudiantes era pequeño, tanto que en la Universidad Nacional, la mayor de todas, los alumnos de ingeniería de un año a otro fluctuaban entre 25 y 50.

La Universidad Nacional ya estaba preparando sus profesores de ingeniería. Así, por ejemplo, en 1891 graduó a Julio Garavito Armero como profesor de ciencias matemáticas; en 1895 a su hermano, don Justino Garavito, y en 1896, a don Jorge Rodríguez Lalinde. Es evidente que la facultad de ingeniería

de Bogotá tenía un claro sesgo teórico y algo de práctico en la agrimensura porque carecía de laboratorios de electricidad, mecánica e hidráulica, y como laboratorios de física y química solamente le quedaban algunos remanentes del antiguo Colegio Militar y Politécnico.

Don Julio Garavito Armero (1865-1920) se graduó como ingeniero civil en 1891. No hay espacio suficiente aquí para reseñar la obra portentosa que realizó don Julio Garavito, tanto en el campo de la enseñanza como en el de la investigación. Además, estrictamente hablando, su obra no se sitúa sólo en el terreno de las ciencias de la ingeniería, sino también en la matemática, la física matemática, la geodesia y la astronomía. Como profesor e investigador de estas ciencias en la casi única facultad de ingeniería que existía en ese momento, finales del siglo XIX y comienzos del XX, su trabajo fue de tan alto nivel y tan prolongado que ayudó, indudablemente, en forma profunda y perdurable, a elevar el nivel académico de la facultad y el nivel de enseñanza a los alumnos. El mero hecho de haber sido discípulo de don Julio Garavito era título de distinción profesional entre los ingenieros, todavía muchos años después de su muerte.

La Escuela de Minas de Medellín tenía un estudiantado no más grande pero se diferenciaba en que su currículo hacía más énfasis en la ingeniería de minas, en la química industrial y en la mecánica, como respuesta a las necesidades de la minería, de la construcción de ferrocarriles y del incipiente movimiento hacia la industrialización de esa ciudad, donde ya había fundiciones, textileras, laboratorios, cervecerías, locerías, vidrierías, electricidad y carbón para explotar. Los egresados de esa escuela desempeñaron siempre papeles importantes no sólo en las minas, sino en los ferrocarriles, las industrias, los servicios públicos, las carreteras y en la administración pública.

En las tres facultades, el título que se daba era solamente el de ingeniero civil. Pero en aquella época, sus graduados debían estar preparados para enfrentarse a problemas tecnológicos muy diversos como trazar ferrocarriles y construirlos, hacer puentes de acero, instalar y manejar una fundición, construir telégrafos, montar una fábrica textil, instalar una planta eléctrica, abrir caminos, diseñar y construir edificios, hacer análisis químicos, etc. Ello obligó desde esa época, ahora remota, a que se adquiriera la convicción de que un buen ingeniero debía tener una amplia y sólida preparación en ciencias básicas y en ciencias tecnológicas para afrontar diversas tareas profesionales.

Es así como los programas de estudio de aquellos años, en Bogotá y Medellín, hacían ya hincapié en las matemáticas, la física y la química, como ciencias básicas. Se daba una buena preparación en mecánica analítica, dibujo, hidráulica, resistencia de materiales, metalurgia, física técnica y electricidad, co-

mo ciencias de ingeniería propiamente dichas, a pesar de que casi todas ellas eran teóricas, porque los laboratorios eran pequeños y muy poco dotados. Se encontraban también otras asignaturas tan variadas como astronomía, arquitectura, explotación de ferrocarriles y construcción de vías.

En 1890, la Universidad del Cauca, en Popayán, creó una facultad de matemáticas, dirigida por el profesor Augusto Aragón, que en 1893 expidió títulos de agrimensores a Carlos G. Sinesterra y otros alumnos. En 1908 volvió a expedir varios títulos de agrimensores y de licenciados en matemáticas.

ALGUNOS DE LOS TEXTOS USADOS

A finales del siglo XIX y principios del XX, la mayor parte de los textos de matemáticas y de tecnología que se usaban en nuestras escuelas de ingeniería eran franceses. Sólo uno o dos eran colombianos (generalmente los de aritmética y álgebra) y otros pocos eran norteamericanos.

A lo largo del siglo pasado, en la facultad de la Universidad Nacional en Bogotá se emplearon casi siempre los libros de don Lino de Pombo, particularmente sus lecciones de aritmética, álgebra, geometría, trigonometría, topografía, geometría analítica, geometría descriptiva, y sus lecciones de cálculo diferencial e integral. De don Indalecio Liévano fueron muy usados su *Tratado de Aritmética* y su *Tratado de Álgebra*.

Fue frecuente usar el *Traité d'algèbre*, de Bertrand; la *Algèbre*, de Bourdon; la *Algèbre*, de Serret; la *Geometría Analítica*, de Sonnet y Frontera; el *Infinitesimal Calculus*, de Price; el *Calculus*, de Osgood; la *Aritmética*, de Manuel Antonio Rueda J.; la *Analytic Geometry*, de E. A. Bowser; el *Differential and Integral Calculus*, del mismo Bowser; el *Cours d'analyse*, de Ch. Sturm; la *Physique supérieure*, de Ganot, y la *Física*, de Langlebert. Algunos de estos libros fueron empleados no solamente en las facultades de ingeniería civil, sino en las primeras de otras especialidades que se abrieron ya bien avanzado el siglo XX.

Hacia fines del siglo XIX, los textos que se usaban en la Escuela de Minas de Medellín eran los siguientes: *Algebra*, de los Hermanos Cristianos; *Algèbre*, de Bertrand; *Algebra*, de Peck; *Curso de inglés*, de Robertson; los textos de Langlebert sobre botánica, zoología, química inorgánica y física inferior; la *Física superior*, de Ganot; la *Geometría analítica*, de Bowser; *Machine Design*, de Warem; *Cálculo infinitesimal*, de Bowser; *Mineralogía*, de Pissani; los textos de geología de Nivvit, Burot y de Jagnaux; el *Diccionario de química*, de Wurtz, y los respectivos textos de Fresenius y Lutand; los textos sobre explotación de minas de Ca-

llon, Evrard y de Burab; los textos de metalurgia de Percy y de Le Verrier; la *Analytic Mechanics*, de Bowser; los libros de agrimensura y topografía de Guillespie y Gummere; los de geodesia de Francoeute y Lallemand; los libros sobre higiene de Riveille y Bergaret, y los de religión de Ortiz y Schouppe.

EL PENSUM EN BOGOTA AL FINAL DEL SIGLO

Al terminar el siglo XIX, la facultad de la Universidad Nacional en Bogotá llevaba el nombre de Facultad de Matemáticas e Ingeniería, nombre que ponía de presente la gran preponderancia que se daba en sus estudios a las matemáticas. La facultad expedía cuatro títulos: mineralogista, agrimensor, profesor de matemáticas e ingeniero.

El pènsum de estudios para la carrera de ingeniero era de cinco años y abarcaba las siguientes asignaturas:

Primer año

Aritmética analítica
Trigonometría plana
Algebra
Geometría
Física
Química
Dibujo

Segundo año

Cálculo infinitesimal
Geometría analítica
Geometría descriptiva
Trigonometría esférica
Física
Topografía
Dibujo

Tercer año

Mecánica analítica
Hidráulica
Astronomía y Geodesia
Geología y mineralogía
Cartografía
Dibujo topográfico

Cuarto año

Estática gráfica
Resistencia de materiales
Electrotecnia
Máquinas
Metalurgia
Caminos y carreteras
Puentes

Quinto año

Materiales de construcción
Arquitectura
Ferrocarriles
Obras de arte
Geografía de Colombia
Economía política

INGENIEROS DISTINGUIDOS AL FINALIZAR EL SIGLO XIX

Al finalizar el siglo pasado, Colombia ya contaba con una nómina de ingenieros civiles que se habían distinguido por sus importantes trabajos, especialmente en caminos, carreteras y minería, así como por sus servicios a la profesión. Aun corriendo el riesgo de olvidar a muchos, es indispensable recordar a Indalecio Liévano, Abelardo Ramos, Manuel Ponce de León, Diodoro Sánchez, Lorenzo Codazzi, Pedro Nel Ospina, Tulio Ospina, Germán Jaramillo, Carlos Cock, Julio Garavito Armero, Francisco Javier Vergara y Velasco, Ramón Guerra Azuola, Enrique Morales, Alejo Morales, Nicolás Pereira Gamba, Ricardo Lleras Codazzi, Agustín Lleras Codazzi, Julián Uribe Uribe, José María Escobar, José María Villa, Luis Tisnés, Modesto Garcés, Fabriciano Botero, José María González Benito, Braulio Rentería, Rafael Espinosa, Miguel Triana, Francisco de Paula Muñoz, Manuel H. Peña, Fidel Pombo, Juan Nepomuceno González Vásquez, Nicolás Caycedo D'Elhúyar, Joaquín B. Barriga, etcétera.

EL INGENIERO TIPICO DEL SIGLO XIX

Uno de los ingenieros que formaron, en 1848, la primera promoción de alumnos del Colegio Militar de Ingeniería fue Manuel H. Peña, nacido en Zipaquirá en 1836. Luego de suspender varias veces sus estudios de ingeniería, comenzó a ejercer su profesión sólo en 1856 y se dedicó a establecer y dirigir un colegio privado en su ciudad natal durante once años, donde enseñó matemáticas todo ese tiempo. En 1864 se dedicó a la práctica de la agrimensura y entre 1865 y 1866 aplicó su trabajo a medir y a subdividir tierras de propiedad eclesiástica afectadas por los decretos y leyes de desamortización de bienes de manos muertas. En 1866 enseñó matemáticas en el Colegio del Rosario y agrimensura en el San Bartolomé, año en el cual fue nombrado por el gobierno del general Mosquera como ingeniero oficial para el Estado de Boyacá. En 1870 fue profesor de matemáticas en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá y cuatro años después fue nombrado subjefe de la construcción de la primera sección del ferrocarril del Norte (Bogotá-Zipaquirá). Entre 1879 y 1880 trabajó en la comisión de estudio de la ruta del ferrocarril de Girardot. Enseguida trabajó en la construcción del camino Facatativá-Cambao y en la del camino La Playa-Popayán. En 1882 lo encontramos como ingeniero-jefe de la construcción del ferrocarril de la Sabana y entre 1886 y 1889, en la construcción del ferrocarril de Girardot a Facatativá, después que esta obra tuviera que

ser entregada por Cisneros. Por espacios cortos se ocupó luego como director técnico del acueducto de Bogotá, y trabajó en un estudio de la ferrería de Samacá, en el drenaje de los pantanos adyacentes a la laguna de Fúquene y en el acueducto de Medellín. En los años noventa fue representante del gobierno como interventor ante la compañía del ferrocarril del Pacifico en el tramo de Córdoba a Dagua y en 1898 actuó como inspector del gobierno para la construcción del ferrocarril de la Sabana. Entre 1898 y 1899 volvió como director de la construcción del ferrocarril de Girardot. Murió en Nueva York en 1900.

Capítulo 4

EL SIGLO XX ANTES DE LA GRAN CRISIS

LOS ALBORES DEL SIGLO

Durante la calamitosa guerra de los Mil Días, los ingenieros en Colombia estuvieron prácticamente en receso. El gobierno suspendió la construcción de ferrocarriles, caminos y telégrafos; la navegación por el Magdalena casi se suspendió; nadie volvió a construir edificios; muchas minas se paralizaron, etc. Inclusive, la misma enseñanza de la profesión decayó porque la Escuela de Minas de Medellín había sido cerrada en 1895 y los estudiantes de la facultad de la Universidad Nacional en Bogotá, que hacia 1895 eran 60, se fueron en buen número a los campos de batalla. Inclusive, hubo ingenieros que tomaron las armas, como el ingeniero Pedro Nel Ospina, en un bando, y los ingenieros Enrique Morales y Julián Uribe Uribe, en el otro. Al llegar la paz y comenzar el gobierno progresista de Reyes, éste demostró un gran interés por reactivar las obras públicas. En consecuencia, dio todo su apoyo a la Escuela de Minas en Medellín, restablecida por la Ley 39 de 1903, y cuya continuación sólo se vio amenazada por un intento, en 1906, de incorporarla a la Universidad de Antioquia, lo que se demostró como erróneo y se consiguió corregir en 1911 al devolverle su carácter nacional.

La Escuela de Minas de Medellín había sido clausurada en 1895 por el gobierno oscurantista de Miguel A. Caro. Pero en 1903 fue reabierta por Marroquín gracias a las gestiones del ministro de Instrucción Pública, Antonio José Uribe. Con grandes dificultades reinició labores con 26 alumnos bajo la dirección de los ingenieros José María Escobar y Crispulo Rojas y teniendo como profesores a los ingenieros Francisco de P. Muñoz, Camilo Botero Gue-

rra, Jorge Rodríguez Lalinde, Samuel Velilla, Carlos de Greiff Obregón, Juan B. Londoño y otros profesionales. En 1905 terminaron sus estudios 23 nuevos ingenieros civiles y de minas, entre los cuales cabe mencionar, por sus realizaciones posteriores, a Víctor Manuel Botero, Rafael Agudelo, Roberto L. Restrepo, Francisco Patiño, Mariano Roldán, Enrique Ramírez, Francisco Rodríguez Moya, Pedro A. Rodríguez Mira, Eleuterio Serna y Manuel Tiberio Yepes. El nombre del profesor ingeniero Jorge Rodríguez Lalinde es digno de especial señalamiento porque incorporó en Colombia la estadística como ciencia digna de especial estudio para los ingenieros y creó la cátedra correspondiente en la Escuela de Minas, la cual regentó durante los muchos años que duró preparando profesionales en esa importante y útil disciplina.

LA INDUSTRIA DESPIERTA EN ANTIOQUIA

Al entrar el siglo XX, ya había una pequeña pero definida base industrial en Antioquia representada por algunos talleres y fábricas pequeñas de textiles, cervezas, locería, vidrio, fundiciones, cigarros, velas y destilerías. Es probable que, si empleaban ingenieros, éstos fueran muy pocos, seguramente menos de una decena. Esas industrias no eran, pues, todavía un factor fuerte ni estrechamente asociado al desenvolvimiento de las ciencias de la ingeniería, pero de ellas se aplicaban ya sus rudimentos al construir edificios, diseñar y operar hornos, instalar calderas, montar equipos, usar motores eléctricos y fundir metales. En ese sentido, el despertar en este siglo de la industria en Antioquia, antes que en el resto del país, es un acontecimiento importante en la incorporación de los productos de la tecnología hidráulica, mecánica, metalúrgica, térmica y eléctrica.

Los primeros diez años del siglo XX fueron de mucha actividad en la creación de nuevas industrias en Antioquia. En esa época surgieron seis fábricas textiles, tres chocolaterías, dos fábricas de gaseosas, fundiciones, una cervecería y muchos otros establecimientos menores como imprentas, trilladoras, ebanisterías y otros. Este movimiento trajo parejamente la generalización del uso de la electricidad, no sólo para el alumbrado doméstico y público, sino también como energía para uso industrial. Los ingenieros ya encontraron demanda para instalar maquinaria, montar plantas eléctricas hidráulicas, tecnificar fundiciones, diseñar fábricas, acondicionar o reconstruir equipos, tender circuitos eléctricos y para otras actividades técnicas. Desde esa época se comenzó a sentir de manera decisiva la importancia que la Escuela de Minas tuvo para la industrialización de Medellín, pues los ingenieros civiles y de minas egresados de

ella comenzaron a actuar con decisión y a desempeñarse con gran idoneidad como ingenieros mecánicos, químicos, electricistas e industriales, aun sin tener el título formal.

Hacia 1915 ya había unas doce fábricas textiles en Medellín. En ellas, los empresarios, los ingenieros y los técnicos comenzaban a familiarizarse con la maquinaria mecánica textil desarrollada por los inventores del siglo pasado tales como la hiladora de Heargraves y el telar mecánico, perfeccionado por Elisha Gray en 1888. Este proceso de desarrollo de una industria textil mecanizada, a partir de 1905, implantó definitivamente en el país el uso no sólo de la maquinaria textil y de sus prácticas de manejo, sino del motor eléctrico. No es, pues, de extrañar que en este período la demanda de energía eléctrica aumentara en Medellín de 250 kilovatios en 1891, cuando empezó la demanda del servicio eléctrico, hasta 5.000 kilovatios en 1920.

Fuera de Antioquia, el número de fábricas de cualquier tipo que había en el país no pasaba tal vez de veinte. Pero hay que mencionar dos innovaciones técnicas que se dieron entonces en algunas de ellas y que hoy, en retrospectiva, pueden considerarse como verdaderos desafíos a la ingeniería de la época. Se trata del montaje en Bogotá de los primeros equipos de destilación diseñados en Europa y de la instalación en el ingenio Manuelita de Cali de los primeros equipos evaporadores de azúcar.

EL PRESIDENTE RAFAEL REYES Y LOS FERROCARRILES

Cuando el general Reyes se posesionó de la presidencia, había unos 700 km de carrilera construidos, pero de ellos sólo estaban en servicio 12 líneas con 565km, en tanto que estaba suspendida la construcción de los ferrocarriles Puerto Berrío-Medellín, Buenaventura-Cali, Flandes-Ibagué, Girardot-Bogotá, Bogotá-Sibaté, Puerto Wilches-Bucaramanga, Honda-Ambalema, Santa Marta-Ciénaga y el del Norte. Convencido de la importancia de esas obras para su momento y para el futuro del país, el gobierno se empeñó en continuarlas vigorosamente, bien fuera con capitales extranjeros, bien con particulares nacionales o por obra del mismo gobierno.

En esta forma, en 1905 se inició en Honda la línea hasta Ambalema, donde llegó dos años después, construida por ingenieros y empresarios ingleses. Como la obra iniciada años atrás del río Magdalena a Bucaramanga se había perdido, en 1908 se volvió a comenzar desde Puerto Wilches según el trazado del ingeniero Abelardo Ramos. La compañía bananera de Santa Marta recibió fa-

cilidades del gobierno y terminó la ferrovía desde Ciénaga hasta Fundación, en 1906. En 1907, el gobierno hizo el tramo Zipaquirá-Nemocón. El mismo gobierno nacional asumió la continuación del ferrocarril de Girardot con zapadores del ejército bajo la jefatura del ingeniero José Domingo Paz, el cual llegó finalmente a Facatativá en 1908, veintisiete años después de iniciarlo Cisneros en el Magdalena.

Así mismo, Reyes reinició la construcción del ferrocarril de Buenaventura a Cali que salía desde la estación Córdoba y subía por el río Dagua, cerca a la cordillera Occidental. Gracias al apoyo de Reyes, el departamento de Antioquia también reanudó la construcción de su ferrocarril con ingenieros graduados en la Escuela de Minas como Carlos Cock, Eduardo Moreno, Tomás Arturo Acevedo y Juan de la Cruz Posada.

Además de los anteriores, Reyes impulsó y contrató la construcción del ferrocarril Medellín-Amagá, idea que se venía planeando desde 1891. Las obras comenzaron en julio de 1909 y en dos años de trabajo llegaron a la población de Caldas. En los cinco años de gobierno de Reyes se construyeron más de 350 kilómetros de ferrocarriles.

Así mismo, el gobierno contrató los estudios sobre la desembocadura del río Magdalena con el ingeniero estadounidense Lewis M. Haup, pues nuestros ingenieros aún no tenían conocimientos ni experiencia para abordar estos complejos problemas de hidráulica, fluvilogía y oceanografía.

El nuevo presidente entendió la enorme importancia económica y social de extender la incipiente red ferroviaria del país. Por eso, la construcción de ferrocarriles fue parte esencial de su política de reconstrucción y progreso, junto con otros tres programas básicos: desarrollo bananero, desarrollo petrolero y desarrollo fabril. Los cuatro programas habrían de tener una repercusión decisiva para impulsar en Colombia las actividades de los ingenieros y para abrirles nuevos campos de trabajo.

En resumen, el gobierno de Reyes asumió o apoyó resueltamente el avance o la iniciación de diez frentes ferroviarios:

1. El ferrocarril de Girardot, que hizo avanzar desde el kilómetro 49 hasta Facatativá, en el kilómetro 132, y lo puso al servicio en 1909.
2. El ferrocarril del Norte, que hizo avanzar desde Zipaquirá hasta un poco más al norte de Nemocón.
3. El ferrocarril de Buenaventura a Cali, que hizo avanzar desde el kilómetro 43 al kilómetro 94.

4. El ferrocarril del Sur, que hizo avanzar desde el kilómetro 10, en Bosa, hasta el kilómetro 15, adelante de Chusacá.
5. El ferrocarril de Honda, kilómetro 33, hacia Mariquita, el cual fue llevado hasta Ambalema, en el kilómetro 119.
6. El ferrocarril de Puerto Berrío a Medellín, cuyo avance se prolongó desde la estación de Caracolí, en el kilómetro 66, hasta la estación Sofía, en el kilómetro 102.
7. El ferrocarril de Medellín a Amagá, iniciado en aquellos años, cuando se tendieron los primeros 22 km hasta Caldas.
8. El ferrocarril de Puerto Wilches hacia Bucaramanga, que se hizo avanzar del kilómetro 47 hasta el kilómetro 62.
9. El ferrocarril del Tolima, de Girardot hacia Ibagué, prolongado del kilómetro 17 al kilómetro 25.
10. El ferrocarril de Santa Marta, que fue extendido del kilómetro 67 al kilómetro 94, en Fundación.

Durante el quinquenio de Reyes, el kilometraje de líneas en servicio pasó de 565 km en doce líneas que operaban en 1904, hasta 901 km en trece líneas en 1909. Además, los arreglos que dejó hechos este gobernante al retirarse de la presidencia permitieron continuar con actividad la construcción de ferrocarriles y extender, en los años siguientes, el kilometraje en servicio hasta 1.166 km en 15 líneas, alcanzado en 1914.

Debe reconocerse también al presidente Reyes que se interesó por la introducción y desarrollo de los automotores al país. Los primeros automóviles se importaron a Colombia en 1903 y dos años después, estando Reyes en la presidencia, el gobierno autorizó por contrato el primer servicio público regular de automóviles que hubo en Colombia, que operaba entre Honda y Mariquita. Así mismo, hizo adaptar el antiguo camino de ruedas de Bogotá a Facatativá para automotores e iniciar las primeras carreteras para automotores entre Bogotá y Tunja y entre Bogotá y Girardot.

Cabe recordar que fue durante este gobierno progresista cuando se creó el Ministerio de Obras Públicas, cuyo primer titular fue el ingeniero caucano Modesto Garcés, activo constructor de caminos y ferrocarriles. Hasta entonces, todo lo que se refería a obras públicas oficiales estaba adscrito al ya antiguo Ministerio de Fomento.

Otro de los muchos servicios importantes que Reyes prestó al país y a la ingeniería fue el de crear, en 1905, la Oficina de Longitudes, con la misión de

amojonar las fronteras y trazar el mapa del país. Al paso del tiempo, esta oficina vendría a constituir el actual Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Estas obras públicas dieron nuevo pábulo al interés por la ingeniería entre los jóvenes. Las facultades en la Universidad Nacional, en la Universidad Republicana y la Escuela de Minas habían reiniciado labores. En el país debían existir alrededor de tres centenares de ingenieros.

FERROCARRIL HONDA-AMBALEMA

A medida que las dificultades de navegación por el río Magdalena aumentaban, el pensamiento de los gobiernos se inclinaba por hacer ferrovías complementarias o sucedáneas. A principios del siglo XX, la navegación regular de vapores iba desde La Dorada hacia el norte, en el bajo Magdalena, y entre Girardot y Ambalema o Beltrán, en el alto Magdalena. Reyes quiso salvar esta discontinuidad y otorgó a la compañía The Dorada Railway Company la concesión y el contrato para prolongar el ferrocarril de La Dorada por la margen izquierda del río, desde Honda hasta el puerto de Ambalema.

La construcción se inició en Honda en 1907 y, gracias a la topografía llana de los terrenos, avanzó rápidamente. Dos años después, la línea llegó a Ambalema y allí se dio al servicio.

Durante muchos años, el tráfico de pasajeros entre Bogotá y Medellín se realizó, partiendo de la capital, por el ferrocarril de la Sabana hasta Facatativá, en trocha de un metro de ancho. Luego de un trasbordo en Facatativá, se seguía hasta Girardot, en trocha de una yarda. De Girardot a Ambalema se navegaba en pequeños vapores y allí se tomaba el tren hasta La Dorada, donde se tomaban los vapores del bajo Magdalena hasta Puerto Berrío y allí el ferrocarril de Antioquia hasta Cisneros. De Cisneros se seguía por carretera hasta Santiago, y de aquí, un trecho por ferrocarril hasta Barbosa. Los últimos kilómetros de Barbosa a Medellín se hacían por carretera. Es decir, que a pesar de la mejoría que los ferrocarriles habían traído a nuestros medios de locomoción, todavía existían serias dificultades para conectar internamente todo el territorio.

FERROCARRIL DEL TOLIMA (FLANDES-IBAGUE)

Esta línea comenzó en 1893 mediante un contrato de concesión del gobierno de ese departamento al empresario bogotano Carlos Tanco. Dificultades finan-

cieras asociadas al caos monetario de aquellos años no le permitieron al contratista construir más que 17 km, hasta que en 1899 se suspendió la obra por la guerra civil de los Mil Días.

En 1906, bajo el gobierno de Reyes, se reanudaron los trabajos y dos años después, cuando los rieles llegaban cerca a Chicoral (25 km), murió el contratista señor Tanco y se suspendieron los trabajos. En 1910, la nación tomó la obra a su cargo y encomendó su dirección al ingeniero Justino Moncó, quien la continuó hasta el kilómetro 30, entre Chicoral y Gualanday. Allí permanecieron detenidos los trabajos entre 1910 y 1916 por falta de recursos financieros. En 1916, el gobierno nacional encargó al ingeniero Pedro Uribe Gauguin de concluir los trabajos. Así se hizo durante cuatro años más hasta que la línea llegó a Ibagué, con 94 km de longitud y una yarda entre rieles. El servicio se inauguró en 1921 y al año siguiente se terminó la construcción de la estación en esa ciudad.

FERROCARRIL DEL PACIFICO (BUENAVENTURA-CALI)

Al terminar la guerra de los Mil Días, en 1903, el gobierno nacional devolvió al contratista Ignacio Muñoz el encargo de continuar la construcción de esta línea. Antes que venciera el contrato de Muñoz en 1906, se alcanzaron a construir 12 km, hasta cerca de la actual estación Cisneros.

La obra siguió por contrato con la firma Masson Brothers. Fue interventor el experimentado ingeniero Abelardo Ramos, fallecido en 1906 en el sitio de Papagayeros, actual estación Caldas, debido a la malaria.

En este año se inauguró el puente de San Cipriano sobre el río Dagua y se restableció el tráfico desde Buenaventura hasta la estación San José, pero las dificultades técnicas y financieras hicieron desistir a los contratistas y el ferrocarril fue recibido por el Banco Central de la Nación, que se limitó a conservarlo y a administrar su funcionamiento. En 1908, el gobierno formó la Compañía del Ferrocarril del Pacífico y contrató con ella la prosecución de los trabajos bajo la dirección del ingeniero Rafael Alvarez Salas, quien montó un nuevo puente sobre el río Dagua y adelantó rápidamente la carrilera, hasta completar 94 km en 1909. Al año siguiente, el ingeniero Luis Lobo Guerrero terminó el trazado hasta Cali, el enrielado cruzó la estación de La Cumbre y llegó a Yumbo en 1912.

Tres años después, a comienzos de 1915, se dio al servicio hasta Cali. De los 173 km que alcanzaba la línea desde Buenaventura, 113 km fueron construidos bajo la dirección de los eficientes ingenieros Alvarez Salas y Lobo Guerrero.

Cabe anotar que el Canal de Panamá se puso al servicio en 1914, un año antes de que este ferrocarril llegara a Cali. Gracias a la terminación casi simultánea de esas dos obras, entre 1915 y 1917, las exportaciones en toneladas por Buenaventura se duplicaron, el número de pasajeros se cuadruplicó y la carga local aumentó seis veces. En cambio, las importaciones por ese puerto sólo aumentaron en 17% debido al poco desarrollo económico que todavía tenía Cali.

FERROCARRIL PUERTO BERRIO-MEDELLIN

Pasada la guerra civil, el departamento de Antioquia reanudó en 1905 la construcción del ferrocarril desde el kilómetro 66, en la estación Caracolí. En 1908 el enriado llegó a Sofía y en 1910 a Cisneros, al pie de la Serranía de La Quebra, con 109 km de recorrido. Simultáneamente, se construyó una carretera de Cisneros a Santiago para salvar este trayecto montañoso y se inició el enriado desde Botero, al otro lado de La Quebra, hacia Medellín, en la parte que posteriormente se llamaría la sección de Porce.

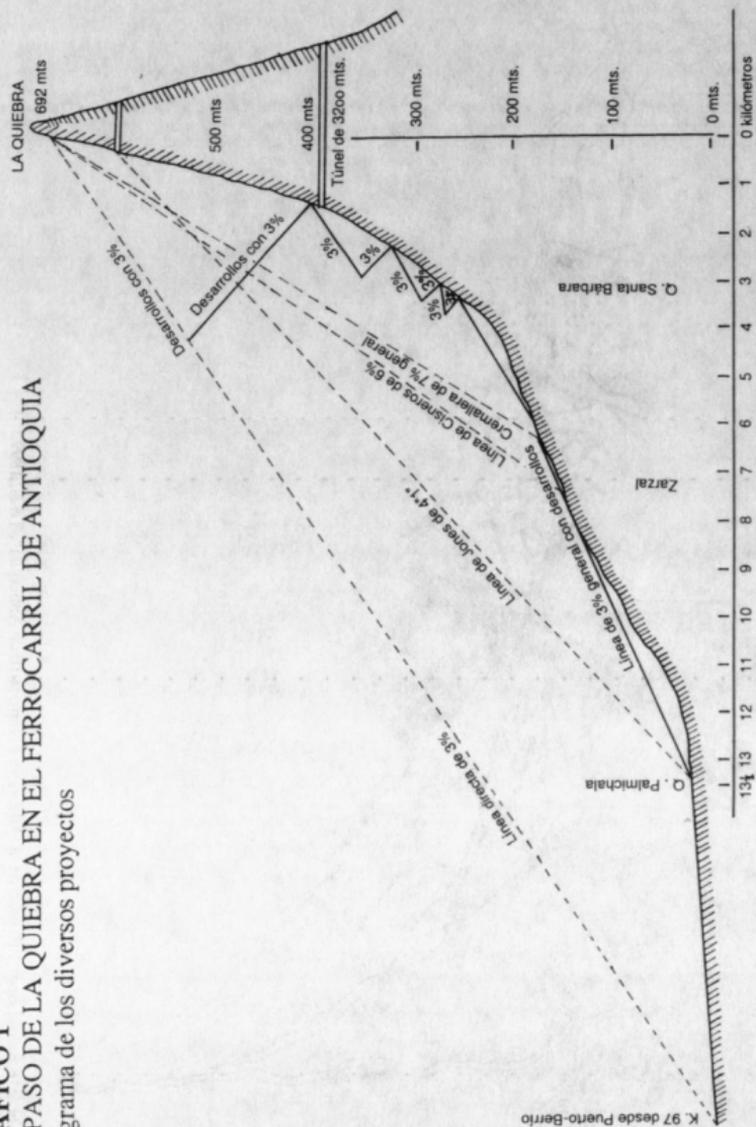
Este último trayecto se construyó con relativa rapidez, y en 1914 llegó la línea a Medellín, completando 205 km entre las dos secciones del Porce y el Nus.

Sería necesario esperar doce años hasta cuando, en la administración del general Ospina, se construyó el túnel de La Quebra (1926-1929) para empalmar las dos secciones y tener conexión ferroviaria continua desde Medellín al río Magdalena.

EL TUNEL DE LA QUIEBRA

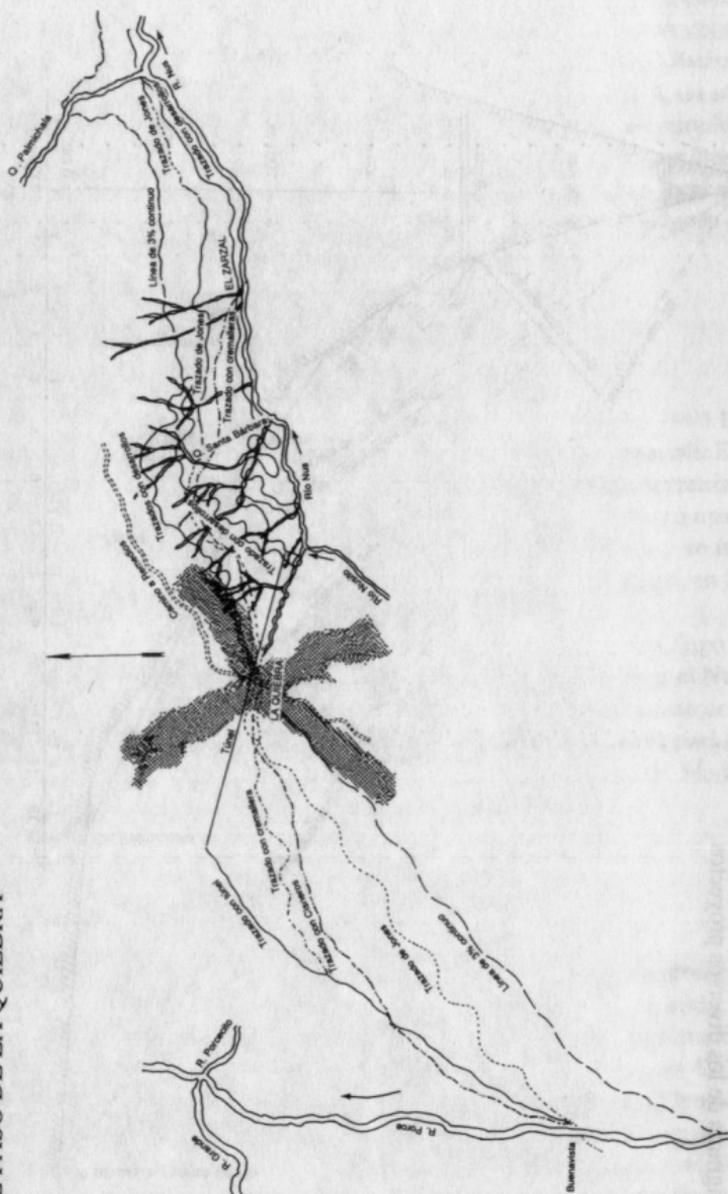
Después de comprar el ferrocarril de Amagá y continuar su construcción, se concentraron esfuerzos en construir el túnel entre Santiago y El Limón. Desde 1918 se tenían estudios hechos por un ingeniero contratado en los Estados Unidos y quien había preparado un proyecto de la obra. Pero como en Colombia nunca se había hecho ningún trabajo de esta naturaleza y de tal extensión, fue necesario contratarla con una empresa extranjera. En efecto, a comienzos de 1926 se firmó el contrato de construcción con la empresa canadiense Frasser-Brace Ltda., siendo gobernador el doctor Ricardo Jiménez Jaramillo. Aunque

GRAFICO 1
EL PASO DE LA QUIEBRA EN EL FERROCARRIL DE ANTIOQUIA
 Diagrama de los diversos proyectos



Fuente: Alejandro López, "El paso de La Quebra en el Ferrocarril de Antioquia". Tesis, 1899.

MAPA 2
EL PASO DE LA QUIEBRA



Fuente: Alejandro López, "El paso de la Quebra en el ferrocarril de Antioquia". Tesis, 1899.

inicialmente se estimó que la obra duraría dos años en su ejecución, fueron necesarios tres, a pesar de la intensidad con que se trabajó en ella y del suministro de recursos financieros que le destinó el ferrocarril, aprovechando la situación de bonanza de que gozaban en ese momento el departamento y, en general, toda la economía colombiana. El gobernador Pedro José Berrío dio especial atención a este trabajo.

El primer tren pasó por el túnel el 7 de agosto de 1929, siendo gobernador el doctor Camilo C. Restrepo. Medellín quedaba, así, comunicado directamente con el río Magdalena a ocho horas de camino, y se evitaban los dos trasbordos en El Limón y en Santiago que antes obligaban a hacer el recorrido de esta ciudad a Puerto Berrío en un día largo. La obra fue entregada a la empresa el 10. de septiembre.

Las dimensiones del túnel eran las siguientes:

Aproche del lado de El Limón	30.00 m
Longitud galería subterránea	3.742.00 m
Aproche del lado de Santiago	45.00 m
Total túnel con sus aproches	<u>3.817.12 m</u>

La sección libre del túnel se especificó así:

Ancho	4.00 m
Altura hasta el arranque del arco	3.20 m
Radio del arco	2.00 m

Con la obra del túnel quedaba realizado el sueño de Cisneros de unir el centro de Antioquia con el río Magdalena. El precursor de la construcción de La Quebra, ingeniero Alejandro López, sería enterrado muchos años después (1940) a la entrada de la galería por su propio deseo.

FERROCARRIL DE AMAGA

Esta ferrovía fue dada en contrato por concesión del gobierno de Reyes al empresario antioqueño Alejandro Angel, en 1909. En julio comenzaron los trabajos en Medellín y en diciembre se dio al servicio hasta la estación Caldas. Entre 1910 y 1913 estuvo suspendida la construcción mientras se adelantaban estudios y se definía el trazado de la ruta para llegar al río Cauca.

En 1913 se reanudó el enriado, el cual completó 41 km cuatro años después al llegar a Angelópolis. La difícilísima topografía y la inestabilidad de los suelos hicieron muy lento el avance de las obras, de manera que en 1923, 14 años después de iniciada, la carrilera llegó a los 58 km en la estación Camilo C. Restrepo. Gracias al apoyo financiero y administrativo del gobierno de Ospina, entre 1924 y 1929 se construyó el difícil trayecto de Sinifaná hasta llegar a Bolombolo, en el río Cauca. En ese momento estalló la Gran Crisis y allí quedó suspendido durante tres años.

Entre 1932 y 1933, dentro de la política de reactivación económica emprendida por el gobierno de Olaya, el departamento de Antioquia, que había comprado esta obra, construyó el tramo de Bolombolo a La Pintada (estación Alejandro López). Este fue su punto terminal hasta cuando, nueve años después, llegó allí la prolongación del ferrocarril del Cauca.

FERROCARRIL DEL NORTE

Fue el mismo presidente Reyes quien ordenó la reanudación de los trabajos en esta línea. Arrancó en Zipaquirá en 1906 pero sólo avanzó durante un año hasta llegar, en mayo del año siguiente, a Nemocón, donde quedó suspendida entre 1907 y 1920 con sólo 20 km en servicio.

En 1920 se reanudaron los trazados y la construcción. Dos años después, la carrilera llegó al kilómetro 116 y se inició un ramal de derivación a Tunja.

En 1926 se dio al servicio hasta Chiquinquirá. Dos años después se inauguró hasta la estación Justino Garavito, llamada así en honor del ingeniero del mismo nombre que murió allí en aquellos años mientras trabajaba en la obra. En 1930, el enriado llegó a la estación Providencia, cerca a Puente Nacional, y allí hubo de suspenderse por el problema de la gran crisis financiera.

En 1933 se reanudó la construcción dentro del programa keynesiano de gasto público del presidente Olaya. La línea continuó hasta llegar, en 1935, a la población de Barbosa, donde se suspendió definitivamente.

FERROCARRIL PUERTO WILCHES-BUCARAMANGA

Después de casi veinte años de haberse abandonado esta obra, el ferrocarril de Puerto Wilches a Bucaramanga fue emprendido nuevamente por el gobierno de Reyes, en 1908. En ese año se vuelve a comenzar la construcción cerca al

inundado Puerto Wilches, por contrato con una compañía particular. Dos años después, los contratistas terminaron y entregaron el primer trayecto de 20 km de carrilera al gobierno. Pero en 1914, la compañía contratista abandonó la obra por su incapacidad financiera de continuarla y por la imposibilidad material de vencer las grandes dificultades en medio de una selva tropical cenagosa, como era la de aquellos días en las orillas del Magdalena.

En 1923, bajo el gobierno del general Ospina, la nación decidió reconstruir lo que quedaba de los trabajos anteriores y al año siguiente reinició la prolongación del enriado. En diciembre de 1924 puso en servicio hasta el kilómetro 29; en julio de 1925, desde el Magdalena hasta Sabana de Torres, en el kilómetro 50. Los trabajos continuaron lentamente en los años posteriores. Después de una interrupción en 1930, se ponen al servicio 116 km hasta las bocas del río Negro y allí se suspendieron nuevamente los trabajos.

Nueve años después, durante el gobierno de Eduardo Santos, se reinició la construcción que concluyó en 1941 al llegar hasta la estación sobre el río Suratá, al pie de la meseta de Bucaramanga.

FERROCARRIL DEL SUR

De tiempo atrás, el gobierno había pensado en un posible ferrocarril entre Bogotá y la región del Sumapaz. En 1897, el gobierno de Caro otorgó al empresario Guillermo Torres la concesión para construir y explotar un ferrocarril desde Bogotá hacia el sur. Ese mismo año comenzaron los trabajos y se alcanzaron a construir algunos kilómetros de carrilera, hasta cuando en 1900 se suspendió el trabajo debido a la guerra civil de los Mil Días. Al volver la paz, en 1903, se terminó la construcción hasta el sitio de Santa Isabel (hoy Chusacá), al sur de Soacha.

En 1905, el gobierno nacional asumió la construcción de la obra y nombró como administrador al ingeniero Enrique Morales, quien construyó algunos kilómetros hacia Sibaté y levantó la estación del ferrocarril en Bogotá. Entre 1908 y 1913 se iniciaron varios contratos con diversos empresarios que se sustituían unos a otros sin que la obra avanzara y que dieron lugar a algunas demandas contra la nación.

En 1913 se decidió prolongar la carrilera desde Chusacá hacia el Salto de Tequendama bajo la dirección de los ingenieros Martín Lleras, Bernardo Casas y Rafael Torres Mariño. En 1916 se dio al servicio el movimiento de trenes de

Bogotá al río Muña. En 1920, el otro ramal llegó hasta el Charquito y en 1927, hasta el Salto de Tequendama.

Entre 1925 y 1929, el ramal de Sibaté fue prolongado hacia el sur con el propósito de llevarlo hasta Fusagasugá. Pero al alcanzar el sitio de San Miguel, la Gran Crisis interrumpió la obra que quedó detenida allí definitivamente.

En 1943 se levantaron los rieles entre Santa Isabel y San Miguel. Posteriormente, este ferrocarril fue entregado al Batallón de Ingenieros Caldas para el entrenamiento de tropas ferrocarrileras y algunos años después dejó de ser utilizado por completo.

DE REYES A PEDRO NEL OSPINA

El impulso que el presidente Reyes impartió a la construcción de ferrocarriles no terminó al salir del gobierno. Dentro del país había ya una clara conciencia sobre la necesidad de estas modernas vías de comunicación. De esta manera, el gobierno nacional contrató con el departamento de Caldas, en 1911, la construcción de una ferrovía desde Manizales hasta algún puerto del río Cauca (donde hoy es La Virginia), que comenzó a hacerse de inmediato con ingenieros y personal totalmente colombianos. Los egresados de la Escuela de Minas de Medellín y de la Universidad Nacional ya eran suficientes en número, en preparación y en conocimientos para emprender tareas de esta magnitud.

También eran ingenieros colombianos, bajo la dirección del ingeniero Luis Lobo Guerrero, los que continuaron el ferrocarril de Buenaventura por sobre la cordillera Occidental hasta Yumbo, en 1912, y Cali, en 1914. Inmediatamente, la empresa estatal del ferrocarril del Pacífico acometió la construcción hacia Popayán gracias a los estudios previos de los ingenieros Lobo Guerrero, Arcila Vanegas y Julián Uribe Uribe. Pero ese trayecto habría de necesitar diez años para hacerse. Se prosiguió también la obra hacia Palmira.

Bajo el gobierno de Concha, en 1914, se inauguró el trayecto Medellín-Amagá que construyeron empresarios e ingenieros antioqueños. Y en ese mismo año llegaron a Medellín los rieles del ferrocarril que venía de Puerto Berrio, si bien con una solución de continuidad en el lugar de La Quebra.

El gobierno nacional encargó en 1916 al ingeniero Pedro Uribe Gauguin la continuación del ferrocarril del Tolima, desde Chicoral hacia Ibagué. También se impulsó el ferrocarril del Sur, el cual llegó en 1916 hasta la estación de Alicachín. Por esa época, 1918, el ferrocarril del Pacífico se dio al servicio hasta Palmira.

La economía del país había mejorado apreciablemente gracias al desarrollo cafetero y aun departamentos menores aspiraban a hacer sus propios ferrocarriles. De esa manera, el departamento del Tolima contrató la construcción del ferrocarril Ambalema-Ibagué con una empresa privada nacional en 1919.

Entre 1904 y 1914, las líneas férreas construidas se extendieron tal como lo muestra la tabla siguiente:

	1904 (km)	1914 (km)	Ancho
Ferrocarril de Antioquia, sección Nus	66	109	1 yarda
Ferrocarril de Antioquia, sección Porce	-	59	1 yarda
Ferrocarril de Amagá	-	36.7	1 yarda
Ferrocarril de Barranquilla	27	27	1.05 m
Ferrocarril de Cartagena	105	105	1 yarda
Ferrocarril de Cúcuta-Zulia	55	55	1 metro
Ferrocarril de Cúcuta-Táchira	16	16	1 metro
Ferrocarril del Pacífico	20	199	1 yarda
Ferrocarril de Girardot	49	132	1 yarda
Ferrocarril de La Dorada	33	111	1 yarda
Ferrocarril del Tolima	17	30	1 yarda
Ferrocarril del Norte	47	62	1 metro
Ferrocarril de la Sabana	40	40	1 metro
Ferrocarril de Santa Marta	67	98	1 yarda
Ferrocarril de Santa Marta-Ramales	-	30	1 yarda
Ferrocarril del Sur	23	30	1 metro
Ferrocarril del Sur-ramal Salto de Tequendama	-	5	1 metro
Ferrocarril de Pto. Wilches (en suspenso)	-	20	1 metro
Ferrocarril de Panamá	80	80	1.45 m
	<u>645</u>	<u>1.244</u>	

Buena parte de los ferrocarriles eran propiedad de compañías extranjeras. De hecho, la mayor parte de la inversión privada externa que existía en el país en aquellos años correspondía a ferrocarriles. Fred Rippy estima que, en 1914, la inversión extranjera en ferrocarriles era de 24 millones de dólares, mientras que en la minería de oro y petróleo había 18 millones de dólares; en la agricultura estaban invertidos 16 millones de dólares, representados en su mayor parte por la zona bananera de Santa Marta, y en otros sectores menores (incluyendo bancos) había unos dos millones de dólares invertidos. Según estos datos, de

CUADRO 2
FERROCARRILES EXISTENTES EN 1918 Y SUS PROPIETARIOS

Nombre de la línea férrea	Concesionario	Domicilio	Longitud (en km)
Amagá (en construcción)	Compañía del ferrocarril de Amagá	Medellín	41.5
Antioquia (en construcción)	Departamento de Antioquia	Medellín	181
Bolívar	The Barranquilla Railway & Pier Co. Limited	Londres	28
Cartagena	The Cartagena (Colombia) Railway Co. Limited	Londres	105
Cúcuta	Compañía del ferrocarril de Cúcuta	Cúcuta	71
Caldas	Departamento de Caldas	Manizales	15
Cauca (en construcción)	Compañía del ferrocarril del Pacífico	Bogotá	233
La Dorada	The Dorada Extension Railway Co. Limited	Londres	111
Girardot	The Colombian National Railway Co. Limited	Londres	132
Norte	The Colombian Northern Railway Co. Limited	Londres	47
Norte (en prolongación)	The Colombian Central Railway Co. Limited (adquirida por el gobierno)	Londres	15
La Sabana (en prolongación)	El gobierno nacional y el de Cundinamarca la explotan por mitades	Bogotá	40
Santa Marta	The Santa Marta Railway Co. Limited	Londres	98
Sur (ramal en construcción)	El gobierno nacional	Bogotá	35
Tolima (en construcción)	El gobierno nacional	Bogotá	30
Puerto Wilches (en construcción)	The Great Northern Central Railway of Colombia, Limited	Londres	20

Fuente: Alfredo Ortega, *Historia de los ferrocarriles en Colombia*, T. II.

los 60 millones de dólares existentes en inversión extranjera, el 40% estaba ligado a los ferrocarriles.

Los propietarios de los ferrocarriles existentes en 1918 se presentan en el Cuadro 2.

De los 1.100 km que estaban en servicio en 13 líneas al comienzo de 1915, unos 500 km habían sido proyectados y dirigidos por ingenieros colombianos y construidos por el gobierno, los departamentos o por compañías colombianas. Los otros 600 km eran de compañías extranjeras pero su construcción, en buena parte, estuvo a cargo de ingenieros colombianos.

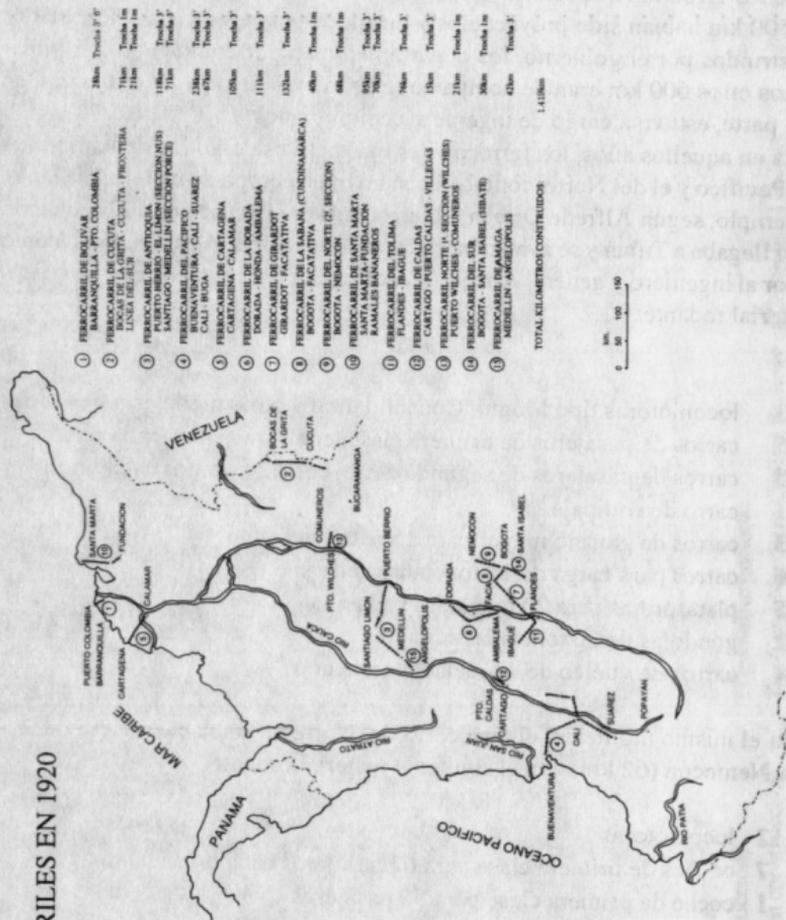
Ya en aquellos años, los ferrocarriles más activos como los de Antioquia, el del Pacífico y el del Norte, contaban con un buen equipo de material rodante. Por ejemplo, según Alfredo Ortega, el ferrocarril del Pacífico en 1920, cuando ya casi llegaba a Tuluá y se avanzaba en la prolongación a Popayán, tenía como director al ingeniero y general Alfredo Vázquez Cobo y contaba con el siguiente material rodante:

- 23 locomotoras tipo Mogul, Consolidation y otros modelos americanos
- 15 carros de pasajeros de primera clase, con 36 asientos cada uno
- 25 carros de pasajeros de segunda clase, con 52 asientos cada uno
- 1 carro de equipaje
- 13 carros de ganado mayor para 15 reses cada uno
- 56 carros para carga de 15 toneladas cada uno
- 65 plataformas para 20 toneladas cada una
- 32 góndolas de 20 toneladas cada una
- 54 carros de vuelco de 4 toneladas cada uno

En el mismo momento, el ferrocarril del Norte prestaba el servicio de Bogotá a Nemocón (62 km) con el siguiente material rodante:

- 12 locomotoras
- 7 coches de primera clase para 62 pasajeros cada uno
- 1 coche de primera clase para 50 pasajeros
- 9 coches de segunda clase para 50 pasajeros cada uno
- 2 coches de segunda clase para 65 pasajeros cada uno
- 13 coches de tercera clase para 50 pasajeros cada uno
- 11 coches de tercera clase para 120 pasajeros cada uno
- 125 vehículos de carga entre vagones, góndolas y plataformas

MAPA 3
FERROCARRILES EN 1920



Fuente: Gustavo Arias de Greiff, *La milia de hierro*. Bogotá, Carlos Valencia Editores, 1986.

Es interesante notar que, en los ferrocarriles del gobierno, las tarifas para los fletes se diferenciaban según el tipo de carga de acuerdo con una escala claramente diseñada para favorecer el transporte de productos básicos pesados, de consumo popular, como se aprecia en los fletes que cobraba el ferrocarril del Pacífico, cuyas tarifas abarcaban seis clases de productos, así:

Primera clase

(abonos, carbón, máquinas, materiales de construcción, sal, trigo, semillas)

3 cvs/t-km

Segunda clase

(aceites, cemento, hierro, madera, artículos industriales, etc.)

5 cvs/t-km

Tercera clase

(café, minerales, estructuras metálicas, víveres, loza, motores, tabaco, etc.)

8 cvs/t-km

Cuarta clase

(alcohol, artefactos metálicos, gasolina, herramientas, petróleo, prensas, etc.)

12 cvs/t-km

Quinta clase

(caucho, cigarrillos, cueros, drogas, metales sin manufacturar)

22 cvs/t-km

Buenaventura-Dagua;

14 cvs/t-km

Dagua al resto de la línea

Sexta clase

(licores, explosivos, equipajes, mercancías extranjeras, etc.)

28 cvs/t-km

Buenaventura-Dagua;

16 cvs/t-km

Dagua el resto de la línea

ASIGNATURAS Y PROFESORES EN LA ESCUELA DE MINAS

En su *Historia de la instrucción pública en Antioquia*, el doctor Julio César García informa así sobre la vida académica de la Escuela Nacional de Minas por aquella época:

La dirección y enseñanza del plantel estaban... en 1914, a cargo de los siguientes señores: don Tulio Ospina, rector y profesor de geología teórica y práctica; doctor Roberto Luis Restrepo, vicerrector-secretario y profesor de explotación de minas, curso 1º; don Rafael Cárdenas, pasante preparador; don Luis Alfonso Correa, preparador del laboratorio de metalurgia; doctor Fernando Escobar, profesor de mineralogía y metalurgia, curso 1º; don Juan de Dios Higuita, profesor de cálculo infinitesimal, mecánica analítica, resistencia de materiales, estática de construcciones, geometría 2o. curso, y trigonometría plana; don Enrique Denève (belga, contratado por el general Pedro Nel Ospina), física general, química cualitativa, cuantitativa e inorgánica y nociones de orgánica; doctor Carlos Gartner, física industrial, electrotecnia, trigonometría esférica y nociones de astronomía y geodesia; don Enrique Ehrensperger, metalurgia 2º, química industrial, laboratorio de metalurgia y ensayes; doctor Mariano Ospina Pérez, curso 2º; doctor Carlos Cock, vías de comunicación; don José M. Jaramillo Martínez, obras de arte; don Horacio M. Rodríguez, talleres mecánicos, dibujo de construcciones y grafostática, dibujo lineal, dibujo topográfico y materiales de construcción; don Enrique Olarte, construcciones civiles, arquitectura y dibujo arquitectónico; don Pablo Brunet, maquinaria y dibujo de máquinas; don Juan J. Angel, álgebra 2º y agrimensura; don Juan B. Vélez, inglés técnico; doctor Jorge Rodríguez, geometría analítica y descriptiva y dibujo de descriptiva; doctor Juan de la C. Posada, petrografía; doctor (abogado) Lázaro Tobón, nociones de código civil; doctor (médico) Gabriel Toro Villa, higiene industrial y doctor (abogado) Antonio J. Montoya, código de minas. Los alumnos eran 89, 20 de ellos becados por Antioquia, 4 por el Valle, 3 por Caldas, 1 por el Huila y 1 por Santander.

Anota García que también se enseñaban vías de comunicación, termodinámica, locomotoras, electrotecnia y arquitectura. Y agrega:

El doctor Denève fabricó algunos aparatos que más falta hacían para la clase de física, a saber: un ozonógeno de Siemens, un modelo grande de Vernier, un péndulo con campana eléctrica, dos aparatos de corriente móvil, dos modelos de cristales en madera (Espato y Nicol), un círculo de Delseune para demostraciones del campo magnético terrestre, un galvanómetro de corriente móvil, un aparato de reflexión para completar el galvanómetro de la Escuela y un aparato demostrativo de las corrientes eléctricas.

Ya en 1915 eran tan importante el número y la significación de los ingenieros en Antioquia, que se fundó la Sociedad Antioqueña de Ingenieros. En verdad, los ingenieros antioqueños nunca se habían sentido bien representados por la distante Sociedad Colombiana de Ingenieros, asentada en el altiplano de Bogotá.

OTRAS OBRAS PUBLICAS EN EL PAIS

En 1906 se importó a Bogotá el primer automóvil y, para 1910, ya había varios en la capital y en Medellín. Ellos traían consigo nuevos equipos y nuevas máquinas: el motor de Otto de combustión interna, la llanta neumática, el automóvil, el camión y el volquete, herramienta esencial de la ingeniería a partir de los años treinta. A decir verdad, los automotores no eran propiamente en nuestro país objeto de estudio ni de aplicación profesional de los ingenieros en ese momento. De hecho, en ese entonces no había aún ingenieros mecánicos como los conocemos hoy y mucho menos lo que después se desarrolló como una especialidad aparte en los países más industrializados del mundo: la ingeniería automotriz. Pero es indudable que, directa e indirectamente, la aparición de los automotores habría de repercutir muy sensiblemente en el desarrollo de nuestra ingeniería, empezando por el protuberante hecho de que aquellos planteaban la necesidad de construir carreteras que no existían en ninguna parte.

El presidente Reyes obtuvo del Congreso, en 1905, la primera ley de construcción de carreteras e inició en 1909 la construcción del primer camino afirmado colombiano en "macadam" (o Mac Adams) que, empezando en Bogotá, se dirigía a Facatativá a lo largo de 45 km. El camino estaba diseñado para peatones, bestias y carros de tiro pero no aún para automotores. La obra duró un año en construcción, fue trazada y dirigida por ingenieros colombianos y ocupó a mil trabajadores.

En los años de la primera guerra mundial (1914-1918) se generalizó en las grandes ciudades el uso del automóvil. Ya Henry Ford, en 1907, había puesto a producir en serie su famoso modelo T, el primer automóvil para las multitudes. En los primeros años de la segunda década comenzaron a llegar camiones de carga y para pasajeros y se comenzaron a construir carreteras desde las grandes ciudades a las poblaciones vecinas. Una de las primeras carreteras construidas para tráfico de automotores fue la hecha entre 1910 y 1911, entre las estaciones Cisneros y Botero, en Antioquia, para empalmar los dos tramos del ferrocarril de Puerto Berrío a Medellín que en ese mo-

CUADRO 3
CARRETERAS EXISTENTES EN EL PAIS, 1925

Departamento	Total km en explot.	Porcentaje	Pavimento con triturado de piedra	Cubierta con grava y arena	Sin ningún cubrimiento	Carreteras en construcción
Cundinamarca	1.683	48.9	498	-	1.185	98
Boyacá	367	10.7	277	-	90	21
Santander	302	8.8	6	-	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
Norte 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: Arno Pearse. *Colombia, with Special Reference to Cotton*, Londres, 1926.

mento quedaban separados por la cuchilla de La Quebra. Desde esa época, ya no eran en absoluto necesarios los ingenieros extranjeros ni para construir carreteras ni ferrocarriles. Los ingenieros colombianos eran plenamente capaces de asumir esas tareas. Lo que hoy llamaríamos diseño geométrico de vías era materia de preparación en las tres escuelas existentes de ingeniería, con el nombre de "trazado de vías".

Los programas de inversión pública emprendidos por Reyes cubrían el campo de los acueductos urbanos cuyo diseño, cálculo y construcción comenzaron a ocupar a numerosos ingenieros y a darles campo de aplicación para sus conocimientos de hidráulica, limitados hasta entonces casi solamente al ámbito académico de la facultad. Así, por ejemplo, en 1912, el municipio de Medellín comisionó al ingeniero Jorge Rodríguez Lalinde para que contratara en París al ingeniero hidráulico René Rigal, encargado de todos los planos, cálculos y diseños de la red de acueducto que se trataba de construir en esta ciudad. Otro tanto se estaba haciendo para Bogotá desde 1910.

Las crecientes necesidades de transporte en un país que comenzaba a despertar de su letargo económico planteaban ahora la necesidad de más vías y de nuevos sistemas de transporte, como el cable aéreo, que para la quebrada topografía del centro del país se presentaba como una solución efectiva y económica. En 1913 se inició la construcción del primero en Colombia, desde Mariquita hacia Manizales. Tras recorrer 73 kilómetros, trasmontando la cordillera Central en el páramo de Herveo, a 3.675 metros de altitud, el cable quedó terminado en 1921. La obra fue contratada, trazada y construida por una compañía inglesa debido a nuestra falta de experiencia en ese sistema transportador.

Algunos años después, en 1925, los ingenieros John M. Lindsay y Arturo Jiménez hicieron el estudio y trazado de otro cable aéreo, de Manizales a Páramo, cable que se aspiraba a llevar hasta el océano Pacífico. La construcción comenzó en 1926, dirigida por el ingeniero Robert Blackett, también inglés.

Otro cable aéreo, el de Gamarra a Ocaña, se inició en 1925 y se dio al servicio en 1929. En el Cuadro 3 se aprecian las carreteras existentes en el país en 1925.

El programa de inversión en el transporte de pasajeros se inició en 1979. En el primer semestre de 1980 se aprobó el plan de inversión en el transporte de pasajeros para el período 1980-1985. Este plan contemplaba la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo. El transporte terrestre incluía la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo. El transporte marítimo incluía la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo. El transporte aéreo incluía la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo.

El transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo se vio afectado por la crisis económica que se vivió en el país durante los años setenta. La inversión en el transporte de pasajeros se redujo considerablemente durante este período. Sin embargo, a partir de 1979 se inició un proceso de recuperación de la inversión en el transporte de pasajeros. Este proceso se vio reflejado en el plan de inversión en el transporte de pasajeros para el período 1980-1985.

El plan de inversión en el transporte de pasajeros para el período 1980-1985 contemplaba la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo. La inversión en el transporte terrestre incluía la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo. La inversión en el transporte marítimo incluía la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo. La inversión en el transporte aéreo incluía la inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo.

La inversión en el transporte de pasajeros en los modos de transporte terrestre, marítimo y aéreo se vio afectado por la crisis económica que se vivió en el país durante los años setenta. La inversión en el transporte de pasajeros se redujo considerablemente durante este período. Sin embargo, a partir de 1979 se inició un proceso de recuperación de la inversión en el transporte de pasajeros. Este proceso se vio reflejado en el plan de inversión en el transporte de pasajeros para el período 1980-1985.

Capítulo 5

EL PRIMER PRESIDENTE INGENIERO

LOS FERROCARRILES EN SU ADMINISTRACION

La administración del general Ospina fue indudablemente la que en mayor extensión y con mayor vigor amplió la red de ferrocarriles del país. Este mandatario, en su doble condición personal de gran ingeniero y decidido empresario, se empeñó en la construcción de ferrocarriles convencido de que esa actividad era decisiva para el desarrollo económico del país, tanto por su naturaleza de inversión pública productiva, como por sus efectos en la generación de empleo, en la creación de un mercado nacional integrado y, muy especialmente, como transporte insustituible para permitir y estimular un gran aumento de la exportación de café.

Recién posesionado, el gobierno obtuvo del Congreso la expedición de la Ley 102 de 1922 que consagró todo un plan nacional para la construcción de dos líneas troncales ferroviarias: una occidental, desde Ipiales a Cartagena con ramificaciones a Tumaco, Buenaventura y Chocó, y una troncal oriental, desde Garzón a Girardot y Bogotá, pasando por Chiquinquirá hasta el bajo Magdalena, con ramificaciones de Ibagué a Armenia, de Tunja al Magdalena, de Puerto Wilches a Bucaramanga y de Cúcuta al Magdalena. La ley no estableció prioridades para la construcción de las distintas partes, ni normas técnicas mínimas ni estudios preliminares completos. Pero autorizó tomar un préstamo de 100 millones de dólares y, en caso de que éste no pudiera obtenerse pronto, utilizar la indemnización norteamericana que se esperaba recibir como compensación por la usurpación de Panamá.

Es así como, al recibirse en 1923 los 25 millones de dólares de dicha indemnización, el gobierno propuso al Congreso la siguiente forma de repartirla

en distintos proyectos de inversión pública en los que, como se ve, predominaba la inversión en ferrocarriles:

	Miles de pesos
Banco de la República, 1923	5.000.00
Banco Agrícola Hipotecario, 1926	1.000.00
Ferrocarril del Norte, sección 1, 1924-1925	2.840.31
Ferrocarril del Norte, sección 2, 1923-1925	2.973.01
Ferrocarril del Pacífico, 1924-1926	2.156.26
Ferrocarril del Tolima, Huila, Caquetá, 1924-1926	2.371.53
Ferrocarril del Carare, 1924-1926	650.76
Ferrocarril Central de Bolívar, 1924-1926	317.70
Ferrocarril de Nariño, 1924-1926	381.99
Ferrocarril de Caldas, 1924-1925	720.00
Ferrocarril de Medellín-río Cauca, 1924-1927	1.200.00
Ferrocarril Bolombolo-Cañafistula, 1926	550.00
Ferrocarril Nacederos-Armenia, 1925-1926	246.95
Ferrocarril del Sur, prolongación Fusagasugá	95.32
Ferrocarril de Cundinamarca	299.78
Ferrocarril Ambalema-Ibagué	99.00
Ferrocarril Santander-Timba	115.52
Cable aéreo, Cúcuta al Magdalena	716.27
Cable aéreo, Manizales al Chocó	42.87
Canal del Dique	1.080.00
Bocas de Ceniza	1.750.00
Puente de Girardot	135.68
Muelle de Buenaventura	569.27

Durante el gobierno del general Ospina hubo veinticinco frentes de trabajo en ferrocarriles, así:

1. Trazado y construcción del ferrocarril del Nordeste, Bogotá a Ventaquemada.
2. Trazado y construcción del ferrocarril del Norte, de Nemocón a Chiquinquirá.
3. Trazado y construcción del ramal Nacederos, de Pereira a Armenia.
4. Trazado y construcción del ferrocarril de Caldas, de Pereira a Manizales.

5. Trazado y construcción del ferrocarril de Cundinamarca, de Facatativá a Puerto Liévano.
6. Trazado y construcción del ferrocarril de Nariño, de Aguaclara a El Diviso.
7. Trazado y construcción del ferrocarril del Pacífico, de Tuluá a Cartago.
8. Construcción de Puerto Wilches a Bucaramanga, desde el río Magdalena hasta Sabana de Torres.
9. Trazado y construcción de Cali a Popayán, desde el sitio de Aganche hasta Popayán.
10. Trazado y construcción del Espinal a Saldaña, en la línea Girardot-Neiva.
11. Construcción de Palmira a Pradera, que se aspiraba a llevar hasta Santander.
12. Construcción de Timba a Santander, como ramal lateral de Cali-Popayán.
13. Trazado y construcción de un ramal del ferrocarril del Cauca, de Zarzal a Armenia.
14. Trazado y construcción de Ibagué a Armenia.
15. Construcción de Ambalema a Ibagué.
16. Construcción del túnel de La Quebra, en el ferrocarril de Antioquia, Puerto Berrío y Medellín.
17. Trazado y construcción del ferrocarril del Carare, de Tunja hacia el río Magdalena.
18. Construcción de Cúcuta a Pamplona, partiendo de Cúcuta.
19. Trazado y construcción de Angelópolis a Bolombolo, entre Medellín y el río Cauca.
20. Construcción del ferrocarril del Sur, de Sibaté a San Miguel.
21. Construcción de un ramal del ferrocarril del Sur, de El Charquito al Salto de Tequendama.
22. Trazado y construcción del ferrocarril troncal de Occidente, de Bolombolo a Cañafístula.
23. Construcción del puente de Girardot.
24. Construcción del ferrocarril central de Bolívar, de Calamar a Sincerín, que se esperaba llegara a ser la parte norte del ferrocarril de Popayán hasta Cartagena.
25. Cambio de trocha de un metro a una yarda, de Facatativá a Bogotá.

Al subir Ospina al gobierno, en 1922, había trece líneas en servicio con 1.481 km en operación y 1.550 km enriellados. Durante su mandato, este activo gobernante construyó 800 km adicionales.

A continuación resumimos la historia de los ferrocarriles iniciados durante los años anteriores a la crisis de 1930, donde se ve la labor de los ingenieros colombianos.

FERROCARRIL CALI-POPAYAN

Como antes se dijo, en marzo de 1914 comenzaron en Cali los trabajos de esta línea dirigida por el ingeniero Julián Uribe Uribe. En diciembre circularon los primeros trenes hasta Jamundí, en 22 km. Después de avanzar lentamente, en 1920 se abrió al servicio hasta la estación Aganche, en el kilómetro 64, donde quedaron suspendidos los trabajos por tres años. En 1923 se reanudó la construcción y dos años después se inauguró el servicio de Cali hasta Popayán.

FERROCARRIL DE CALDAS

Sobre estudios y trazados hechos por el ingeniero Jorge Páez, en 1915 se inició la construcción de este ferrocarril en Puerto Caldas (hoy La Virginia), sobre el río Cauca, bajo la dirección del ingeniero Felipe Zapata. Se tardaron cuatro años para dar al servicio el corto tramo de 30 km hasta la estación Villegas, pero en 1921, la línea y el servicio se inauguraron en Pereira, en el kilómetro 40.

Después de un tiempo suspendido en esta ciudad, se reanudó en 1924 y tres años después llegó a Manizales donde se dio al servicio en sus 117 km de recorrido.

El propósito de este ferrocarril era el de establecer comunicación de Cali a Manizales navegando por el río Cauca desde Puerto Isaac (muy cerca a Cali) hasta Puerto Caldas, en barcos de vapor, y completando el recorrido hasta Manizales por el ferrocarril.

FERROCARRIL CALI-CARTAGO

Después de haberse inaugurado en Cali el servicio de Buenaventura, el ferrocarril del Pacífico continuó hacia el norte. En 1916 se inauguró el puente metálico y giratorio sobre el río Cauca en el sitio de Juanchito, para permitir el paso de los buques que navegaban entonces por allí. En 1917, la carrilera llegó a Palmira.

Gracias a las facilidades del terreno plano y a su directa conducción por la compañía estatal del ferrocarril del Pacífico, el trazado y la construcción se hicieron con rapidez, de modo que en 1920 se dio el servicio hasta la estación de Tuluá y, en 1923, hasta Cartago. Allí quedó detenido por varios años hasta cuando, en 1929, fue prolongado hasta La Virginia y puesto en servicio en 1931.

FERROCARRIL DE CUNDINAMARCA

Como ya se explicó, el ferrocarril de la Sabana había intentado prolongarse hacia el río Magdalena al finalizar el siglo pasado. Desde entonces, esta obra había quedado en suspenso. En 1921, la compañía gubernamental propietaria del ferrocarril decidió prolongarlo desde Facatativá hasta un puerto más abajo de Honda y encargó los estudios, trazados y proyectos a los ingenieros Jorge Triana, Carlos Almánzar, Mariano Rengifo y Enrique Bustamante. Con base en esos estudios, y con el apoyo financiero del gobierno nacional, se inició la construcción desde Facatativá hasta La Tribuna, en un trayecto de 15 km. En ese mismo año, en el brevísimo tiempo de tres días, se cambió la trocha entre rieles de un metro a una yarda, desde Bogotá hasta La Tribuna (55 km), bajo la dirección del ingeniero Darío Botero Isaza y por instrucción del ministro de Obras Públicas, Laureano Gómez. De esta manera se salvó la discontinuidad que antes establecía la diferencia de trocha en Facatativá entre el ferrocarril de Girardot (una yarda, recomendada por Cisneros) y el antiguo ferrocarril de la Sabana (un metro, recomendado por Ponce de León). Después del cambio, los trenes pudieron circular directamente entre Bogotá y Girardot.

Después de tres años de interrupción, en 1928 siguió la construcción desde La Tribuna a Albán y se iniciaron los trabajos en sentido contrario desde Puerto Liévano (hoy Puerto Salgar), frente a La Dorada, hacia arriba. En 1929 se da al servicio de Puerto Liévano a Cambrás y en 1931, de Cambrás a Villeta. Allí quedó paralizada la obra como consecuencia de la Gran Crisis.

Tres años después, en 1934, los dos extremos de la línea empalmaron con el trayecto Villeta-Albán y quedó en servicio todo el trayecto de 238 km entre Bogotá y Puerto Salgar. En 1935 se construyó el terminal férreo en el recién rebautizado Puerto Salgar.

Así se convertía en realidad el viejo sueño del general Mosquera de tener una vía segura y cómoda entre Bogotá y el río Magdalena, más abajo de Honda, y para lo cual había venido en 1846, noventa años atrás, el ingeniero francés Antoine Poncet.

FERROCARRIL DE NARIÑO

El congreso nacional de 1915 había ordenado el estudio de varias extensiones y ramales del ferrocarril del Pacífico. Por esa razón, el gobierno nacional le encargó al ingeniero Marco Tulio Gómez definir una ruta férrea que conectara a Pasto con el Océano Pacífico. El ingeniero Gómez recomendó la ruta Pasto-Popayán-Cali-Buenaventura.

Por su parte, el departamento de Nariño encargó al ingeniero norteamericano Daniel E. Wright un estudio, completado y terminado en 1922, para una vía férrea de Pasto a Tumaco. En 1924 se inició la localización de la línea, desde el sitio de Aguaclara, sobre el río Patía, a 17 km de Tumaco. Al año siguiente se inició la explanación y en 1926 se clavaron los primeros rieles. Bajo la jefatura del ingeniero Florencio Mejía se construyeron 55 km. En 1928 continuó la obra el ingeniero Gabriel Agudelo quien, dos años después, la llevó hasta El Diviso, en el kilómetro 97. Allí habría de quedar suspendida indefinidamente, por lo cual durante varios años los trenes circularon entre Aguaclara y El Diviso, aunque con poca ocupación.

En 1937 se inició la prolongación de Aguaclara a Tumaco y en 1938 se construyó el gran viaducto de El Pindo, entre la costa y la isla de Tumaco. En 1942, la obra prestó servicio en sus 111 km, entre Tumaco y El Diviso. Pero el tráfico y los fletes nunca compensaron los gastos y por esa razón, desde 1952, se comenzaron a levantar paulatinamente los rieles para convertir la vía en carretera.

FERROCARRIL CUCUTA-PAMPLONA

Este ferrocarril constituyó un intento fallido por conectar a Cúcuta con Bucaramanga por línea férrea. En 1921 el ferrocarril fue contratado por el departamento de Norte de Santander con la antigua Compañía del Ferrocarril de Cúcuta. En ese y en los dos años siguientes se llevó el trazado hasta Pamplona y la construcción hasta la estación El Diamante, en el kilómetro 43. Allí se suspendió definitivamente por haberse agotado los fondos del departamento y ante el avance de la carretera Bucaramanga-Cúcuta.

FERROCARRIL ESPINAL-NEIVA

Desde 1918 habían iniciado los estudios previos y el trazado para esta vía los ingenieros Julián Villaveces, Manuel Escallón, Abel Vargas y Jorge Quiñones.

Al año siguiente, el departamento del Tolima contrató la construcción con la casa Pedro A. López y Cía., y en 1920 comenzó el tendido de rieles en el Espinal. Al cabo de un año, la línea llegó al Guamo y allí pararon las obras por falta de recursos del departamento.

Bajo la presidencia de Ospina, el gobierno nacional reanudó la obra, en 1924, bajo la dirección del ingeniero Celiano Dussán. Al año siguiente, la casa Norton Griffiths and Company construyó el gran puente sobre el río Saldaña y el gobierno contrató con esa misma casa la construcción hasta Neiva. La casa contratista cumplió su encargo, que incluyó la construcción del gran puente de las Golondrinas sobre el río Magdalena. Pero en 1930, cuando la línea alcanzaba la estación de Villavieja en el kilómetro 117, el gobierno hubo de terminar el contrato por la Gran Crisis.

Una vez superado lo peor de la depresión económica, el gobierno de López Pumarejo contrató con el ingeniero Julián Villaveces la construcción del ramal entre Villavieja y Neiva, que se realizó de 1935 a 1937 bajo la dirección del ingeniero Pío Poveda.

FERROCARRIL TRONCAL DE OCCIDENTE

Como ya dijimos, la Ley 102 de 1922 dispuso la construcción de dos grandes ferrocarriles troncales en el país. El general Ospina se interesó especialmente por adelantar el ferrocarril troncal de Occidente y, con ese fin, la nación contrató con el ferrocarril de Antioquia los estudios y el trazado desde Bolombolo, por la margen izquierda del río Magdalena. Estos estudios fueron realizados entre 1925 y 1928 y se llevaron hasta Puerto Ospina (después Puerto Antioquia y hoy, Tarazá).

Entre 1928 y 1929 se construyó la carrilera de Bolombolo hasta Anzá (35 km), pero allí quedó suspendida debido a la Gran Crisis. Y aunque sirvió durante 20 años, esta ferrovía nunca fue continuada. Sus rieles se levantaron hacia 1950 y la banca se acondicionó para el servicio de automotores.

FERROCARRIL AMBALEMA-IBAGUE

Esta obra fue contratada por el departamento del Tolima con la firma Pedro A. López y Cía., con base en estudios y trazados realizados previamente por los ingenieros Pedro Uribe Gauguin, Laureano Gómez, Carlos Arteaga y Jesús Mata-

llana. En 1921 comenzaron en Ambalema las obras, pero al año siguiente, una vez enriellados 10 km, se suspendió por dificultades financieras del contratista.

En 1924, con ayuda del gobierno nacional, el departamento reanudó los trabajos y construyó 6 km. En 1927 se entregó nuevamente a contrato y, con la dirección técnica del ingeniero Carlos Cock, se terminó la extensión final hasta la estación de Buenos Aires (cerca a Ibagué), donde se entregó la obra en 1931.

FERROCARRIL PALMIRA-PRADERA

Desde 1920 se había estudiado la posibilidad de una vía férrea de Popayán a Palmira. Los primeros estudios indicaron que la mejor solución era construir de Palmira a Santander de Quilichao y empalmar allí con el ferrocarril Cali-Popayán.

Bajo el gobierno de Ospina comenzó la obra en 1923 y se construyó el tramo Palmira-Pradera, de 14 km, donde quedó indefinidamente interrumpida esta línea, la cual, sin embargo, estuvo en servicio hasta 1950. En ese año se le traspasó al Ejército para que la usara en el entrenamiento de las tropas del Batallón de Ingenieros Codazzi. Algunos años después se levantaron los rieles.

FERROCARRIL DEL CARARE

La vieja idea de los gobiernos nacionales de conectar a Bogotá con un puerto fluvial en el Magdalena Medio, y que había dado lugar al ferrocarril del Norte, cobró auge nuevamente cuando en 1920 se iniciaron los estudios para un ferrocarril que partiera de Tunja, se conectara con el ferrocarril del Norte en Chiquinquirá y se dirigiera a un punto del río Magdalena cerca a la desembocadura del río Carare. En dicho año se iniciaron los estudios y trazados, cuyas primeras etapas fueron completadas en 1921.

Bajo la presidencia del general Ospina, en 1924, se inició la explanación de la banca; al año siguiente se clavaron los primeros rieles en Tunja y corrió la primera locomotora; en 1926, el gobierno nacional contrató con una firma inglesa el trazado, la explanación y el enriellado hacia Vélez. Pero en 1929, el estallido de la crisis financiera obligó a suspender las obras.

Pasada la Gran Crisis, se desistió de esta ferrovía y en 1935 se levantaron los rieles. La banca se adaptó para lo que es actualmente la carretera de Tunja a Villa de Leyva.

FERROCARRIL ZARZAL-ARMENIA

Convencido el general Ospina de la necesidad de conectar el ferrocarril del Pacífico con los del centro del país a través del enlace Armenia-Ibagué, su gobierno nombró al ingeniero Eugenio Ortega Díaz para dirigir el trazado y la construcción del tramo Zarzal-Armenia. Los trabajos comenzaron en Zarzal, en 1925. Dos años después se dio al servicio en Armenia con sus 58 km de extensión.

FERROCARRIL NACEDEROS-ARMENIA

Desde principios del siglo XX, el entonces departamento de Caldas había adquirido gran importancia como productor de café y las ciudades de Pereira y Armenia habían tenido un rápido crecimiento. Por esa razón, el gobierno de Ospina decidió conectarlas por vía férrea.

La construcción empezó en 1925 en la estación Nacederos, a 5 km de Pereira, sobre el ferrocarril de Caldas. El trazado y el enriado progresaron con rapidez. En 1927 la carrilera llegó a Quimbaya, kilómetro 32, y en 1929 se dio al servicio en Armenia, kilómetro 56. Este ferrocarril prestó servicio hasta comienzos de los años sesenta, cuando se levantaron los rieles y la vía se convirtió en la carretera para la región central del Quindío.

FERROCARRIL TIMBA-SANTANDER

Cuando se terminaba la construcción del ferrocarril de Cali a Popayán, el gobierno del Cauca quiso construir un ramal desde dicha vía a la población de Santander de Quilichao, la segunda en importancia en el departamento por aquellos días, y en 1925 comenzó la construcción en la estación de Timba, 20 km al sur de Cali. Dos años después se terminaron los 18 km del ramal en Santander, pero como esta derivación tuvo siempre muy poco tráfico, a fines de los años cincuenta se levantaron los rieles después de mucho tiempo de estar inactivos.

FERROCARRIL DE BOGOTÁ AL ORIENTE

Con el propósito de unir a Bogotá con Villavicencio mediante un ferrocarril, el gobierno de Ospina inició la construcción desde el sitio de Yomasa, al sur de

Bogotá, hacia la población de Usme. Al año siguiente había 7 km enriellados, con trocha de un metro de ancho, y en 1931 la carrilera llegó a la estación Vicente Olarte, en el kilómetro 26, donde fue suspendida indefinidamente por razón de la Gran Crisis.

Superado lo peor de la Gran Depresión, se desistió de construir este ferrocarril por su tráfico sumamente escaso y en 1935 se levantaron los rieles.

FERROCARRIL DEL NORDESTE

Después de muchos estudios previos y varios contratos fracasados, en 1925 comenzó la construcción de este ferrocarril en Bogotá, en dirección a Tunja. En el mismo año, los rieles llegaron a Usaquén y cuatro años después, hasta el límite de Cundinamarca con Boyacá. Desde 1928 se habían iniciado trabajos de explanación en territorio boyacense y esto permitió avanzar con relativa prontitud.

En 1930, la línea llegó a Albarracín, kilómetro 117, y a comienzos del año siguiente se dio al servicio en Tunja, con 180 km de extensión. En agosto del mismo año llegó hasta Sogamoso en donde se detuvo, ya indefinidamente.

Veintitrés años después, en 1954, fue prolongada hasta la población de Paz del Río para traer carbón hasta la siderúrgica del mismo nombre, situada en Belencito, en inmediaciones de Sogamoso.

LA AMPLIACION DE LA RED FERROVIARIA

Gracias al enorme impulso que les dio el general Reyes y a los grandes recursos financieros que les asignó el gobierno de Ospina, como se puede apreciar a lo largo de este capítulo, los ferrocarriles en Colombia se extendieron en forma extraordinaria durante el primer tercio del siglo XX, tanto en longitud de líneas como en movimiento de carga y pasajeros.

El crecimiento en la extensión de la red se puede apreciar en el cuadro de la página siguiente:

Año	Km existentes	Año	Km existentes
1903	480	1926	2.300
1909	901	1930	2.750
1914	1.180	1934	3.262
1922	1.481	1940	3.380
1925	1.620	1949	2.983

Fuentes: William McGreevey, *An Economic History of Colombia 1845-1930*, Cambridge University Press, 1971.

Alberto Pardo Pardo, *Geografía económica y humana de Colombia*, Bogotá, Tercer Mundo, 1972.

Alfredo Ortega Díez, *Historia de los ferrocarriles de Colombia*, Bogotá, Imprenta Nacional, 1923.

Particularmente intenso fue el incremento de líneas y de movimiento férreo durante el gobierno de Ospina. Por ejemplo, el movimiento de carga por ferrocarriles durante los años de su administración se duplicó, como lo muestra el cuadro siguiente:

Año	Índice
1923	100
1924	115
1925	133
1926	167
1927	194
1928	209

Fuente: Rafael D. Muriel, *Colombia: Desarrollo de la economía primario-exportadora y expansión ferroviaria 1880-1929*.

LINEAS EN OPERACION EN 1929

Después del gran impulso que les imprimiera el general Ospina, en 1929 estaban en servicio las siguientes líneas:

- Pacífico (Buenaventura-Cali-Palmira-Popayán-Santander de Quilichao-Cartago-Armenia)

- Bogotá-Girardot-Ibagué-Saldaña
- Central del Norte (Bogotá-Chiquinquirá)
- Central del Sur (Bogotá-Salto de Tequendama-San Miguel)
- Nariño (Aguaclara-El Diviso)
- Nacederos-Armenia
- Antioquia (Puerto Berrío-Medellín-Bolombolo)
- Caldas (La Virginia-Pereira-Manizales)
- Cundinamarca (Bogotá-Facatativá-Puerto Salgar)
- Noreste (Bogotá-Villapinzón)
- Barranquilla-Puerto Colombia
- Cartagena-Calamar
- La Dorada-Honda-Ambalema-Venadillo
- Cúcuta-Puerto Villamizar-Táchira
- Santa Marta-Fundación

En ese año se movilizaron 3.086.814 toneladas de carga y 11.517.557 pasajeros.

FERROCARRILES Y CAFE

Es indudable que uno de los motivos que más influyó en el ánimo constructor de ferrocarriles del presidente Ospina fue su percepción clara sobre la forma como estaba creciendo la producción cafetera y sobre la enorme importancia de crear medios de transporte suficientes y baratos para movilizar el grano.

En efecto, la producción fue de 1.1 millones de sacos de 60 kilos en 1913, luego, de 1.8 millones en 1925 hasta llegar a los 3.4 millones de sacos en 1932, tal como se muestra en el Cuadro 4.

La importancia del ferrocarril para fomentar la exportación de café residía en la gran economía que permitía en los fletes internos, en el transporte dentro del país. Robert C. Beyer anota que en 1928 el flete del café en mula desde Bucaramanga hasta Chuspas (cerca al río Magdalena) era de 80 centavos por tonelada-km, que el ferrocarril entre Sabana de Torres y Puerto Wilches redujo casi a la tercera parte.

CUADRO 4
COLOMBIA: PRODUCCION CAFETERA POR DEPARTAMENTOS 1874-1943
 (Miles de sacos de 60 kg)

Departamento	1874	1892*	1913	1925	1932	1943
Antioquia	1.2	9.5	185	415	617	750
Caldas	1.3	2.7	199	495	1.004	1.782
Valle del Cauca	0.6	8.8	50	50	354	700
Subtotal	3.1	21.0	434	965	1.975	3.232
Cundinamarca	8.0	6.6	200	312	405	480
Tolima	1.0	9.3	60	156	448	800
Norte de Santander	90.0	52.6	223	233	270	300
Santander	10.0	25.6	105	98	150	160
Magdalena	0.2	-	25	13	21	25
Subtotal	109.2	94.1	618	812	1.294	1.765
Los demás	1.9	1.6	38	44	148	231
Total nacional	114.2	120.8	1.090	1.821	3.453	5.228

* El dato del Valle del Cauca está incompleto porque falta la información de las provincias de Buga, Buenaventura y Tuluá. La cifra de Cundinamarca está muy subvaluada porque faltan muchos distritos cafeteros importantes como El Colegio, La Vega, La Mesa, Pandi, San Antonio y Viotá. Lo mismo pasa en Norte de Santander, donde no dieron información en los distritos de Convención y Salazar.

Fuente: Mariano Arango, *Café e industria 1850-1930*. 1977.

En tal virtud, el porcentaje del precio al por mayor en Nueva York, representado por el transporte interno en Colombia, se redujo considerablemente con la entrada en servicio de más y más ferrocarriles. Así lo muestra el cuadro sobre dichos porcentajes en dos fechas distantes.

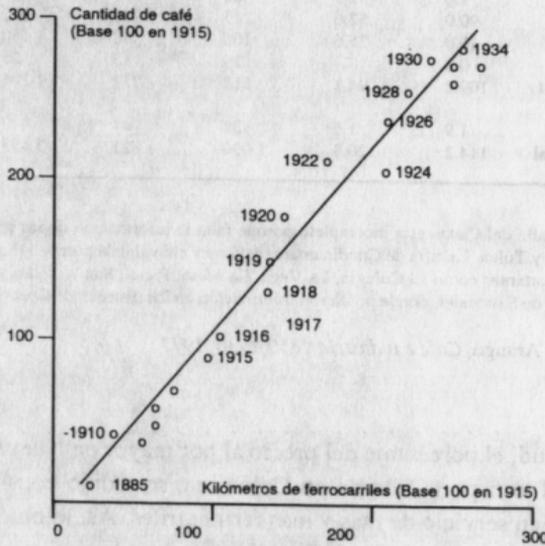
Recorrido	1876	1943
Bucaramanga-Barranquilla	24%	4%
Cúcuta-Maracaibo	15%	3%
Bogotá-Honda	20%	2%*

*Bogotá-Puerto Salgar

Fuente: Robert C. Beyer, *El transporte y la Industria del café en Colombia*.

Para comprobar la fuerte interdependencia que hubo siempre entre el desarrollo del café y la expansión ferroviaria, William McGreevey construyó la correlación, que se presenta en el gráfico 2, entre kilómetros de ferrocarriles existentes y exportaciones de café entre 1885 y 1934, completada y adaptada por el autor de esta nota.

GRAFICO 2
CORRELACION ENTRE EXPORTACIONES DE CAFE
Y EXTENSION DE FERROCARRILES EN COLOMBIA
1885-1934



Tomado de: Gabriel Poveda Ramos. *Antioquia y el ferrocarril de Antioquia*. Medellín, Gráficas Vallejo, 1974, p. 70a.

El mismo McGreevey muestra la correlación espacial entre zonas cafeteras y ferrocarriles, tal como existían en 1930.

De hecho, puede decirse que muchos ferrocarriles fueron específicamente construidos para movilizar café. Tal es el caso de los que se muestran a continuación, y que en su iniciación y terminación corresponden muy de cerca al período histórico de gran expansión cafetera de fines del siglo XIX y principios del XX.

Tramo	Año iniciación	Año terminación
Puerto Berrio-Medellín	1874	1919
Cúcuta	1878	1888
Dorada-Honda	1881	1897
Girardot	1881	1908
Tolima	1893	1921
Cundinamarca	1899	1935
Caldas	1915	1924
Nariño	1922	1942
Medellín-La Pintada	1909	1932
Puerto Wilches	1881	1941
Buenaventura-Cali	1872	1915
Cali-Popayán	1914	1925

Quizá el ejemplo más demostrativo de un ferrocarril cuyo origen y cuya existencia estuvieron estrechamente ligados a la movilización de café es el ferrocarril de Antioquia, que empezó con 345 toneladas en 1888, 11.000 en 1905, 23.560 en 1920 y continuó creciendo indefinidamente durante todo el tiempo en que operó como empresa independiente. En el Cuadro 5 se muestran las series sobre movilización del café por el ferrocarril de Antioquia entre 1888 y 1952.

DESMANTELAMIENTO DE LOS FERROCARRILES

Las pérdidas económicas que dejaba la operación de varias líneas, combinadas con la rápida extensión de las carreteras y la deficiente administración de que adolecieron casi siempre los ferrocarriles nacionales, sirvieron de argumento a gobernantes y misiones técnicas extranjeras para empezar a dismantelar o a abandonar muchas líneas férreas.

Ya se ha indicado cómo en los años treinta se desenriolaron el ferrocarril del Carare, el de Cúcuta hacia Pamplona y el de Bogotá hacia Usme. En los años cuarenta se hizo lo mismo con las líneas de Barranquilla-Puerto Colombia, Calamar-Sincerín, Timba-Santander y Chusacá-San Miguel. En los años cincuenta se levantaron los rieles de Cartagena a Calamar, Cúcuta al río Zulia, Cúcuta al Táchira y Armenia-Ibagué. En los años sesenta se abandonó el trayecto La Virginia-Pereira-Manizales y se retiraron los rieles de Popayán a Suárez (abandonando el servicio entre Cali y Popayán); se abandonaron también la línea Pereira-Armenia, Chiquinquirá-Barbosa y Palmira-Pradera. En los años setenta se dejaron abandonadas las líneas Medellín-La Pintada, La Pintada-La Virginia, La Virginia-Cartago, Neiva-Girardot, Zarzal-Armenia y Honda-Ambalema-Ibagué.

CUADRO 5
MOVILIZACION DEL CAFE POR EL FERROCARRIL DE ANTIOQUIA
(1888 - 1952)

Año	Miles de sacos	Toneladas	Año	Miles de sacos	Toneladas
1888	5	345	1924	492	30.763
1895	21	1.323	1925	514	32.139
1896	33	2.109	1926	557	34.826
1897	46	2.926	1927	554	34.667
1898	56	3.554	1928	553	34.572
1899	66	4.145	1929	569	35.579
1900	54	3.393	1930	653	43.173
1901	51	3.248	1931	541	35.857
1902	64	4.011	1932	556	37.394
1903	147	9.197	1933	553	38.282
1904	176	11.020	1934	520	36.297
1905	70	4.398	1935	576	40.315
1906	91	5.728	1936	635	44.470
1907	119	7.474	1937	567	40.744
1908	122	7.629	1938	618	43.540
1909	123	7.600	1939	519	36.776
1910	106	6.664	1940	567	39.741
1911	106	6.662	1941	451	29.986
1912	165	10.347	1942	522	36.533
1913	171	10.692	1943	786	54.917
1914	225	14.093	1944	591	41.407
1915	204	12.802	1945	611	41.335
1916	290	18.138	1946	810	50.654
1917	214	13.382	1947	775	48.486
1918	276	17.294	1948	704	44.057
1919	378	23.637	1949	721	45.118
1920	376	23.561	1950	696	43.514
1921	498	31.160	1951	668	41.763
1922	400	25.030	1952	734	45.878
1923	517	32.333			

Fuente: Plinio Mendoza Neira, *Geografía económica de Colombia*. Antioquia, Anuario estadístico de Antioquia. Datos del autor.

Actualmente, los ferrocarriles nacionales prestan servicio con alguna regularidad sólo en las líneas Bogotá-Santa Marta, Puerto Wilches-Bucaramanga, Medellín-Puerto Berrío e Ibagué-Girardot.

UNA VISION DE CONJUNTO

El proceso de construcción de ferrocarriles en Colombia fue muy lento. El primero que se hizo fue el de Panamá, entre 1850 y 1855. Después comenzó el de Barranquilla-Sabanilla, en 1868. Noventa años después se terminó el ferrocarril del Atlántico, último que se construyó en nuestro país.

Además de lento, fue un proceso disperso, sin planificación, costoso y muy difícil. Es innumerable la legislación que se expidió en el congreso nacional y en la legislatura de los estados para ordenar la construcción de ferrocarriles (unos realistas y otros utópicos), aprobar unos contratos, derogar otros, autorizar créditos externos, beneficiar empresas ferroviarias, subsidiar empresarios, autorizar compras y ventas de líneas, otorgar tierras nacionales a los constructores, subsidiar a los estados, emitir bonos ferroviarios, autorizar negociaciones en el exterior, desautorizar negociaciones en el exterior, ceder bienes y rentas públicas para construir ferrocarriles, etcétera.

Nunca nadie ha calculado el costo en vidas humanas que representó la construcción de los ferrocarriles, en épocas en que el país padecía endemias generalizadas como la malaria, la fiebre amarilla, el pián y las enfermedades venéreas, para las cuales no había vacunas ni tratamientos eficaces. La insolación, las víboras, la dinamita y los accidentes cobraron una cuota enorme de vidas. Se dijo con alguna exageración, pero con gran contenido de verdad, que en ferrocarriles como el de Panamá, el de Buenaventura a Dagua, el de Puerto Berrío a Caracolí y el de Cúcuta al río Zulia, cada polín cubrió la tumba de un obrero muerto.

Es innumerable la cantidad de contratos que firmaron el gobierno nacional y los gobiernos estatales con empresarios extranjeros y colombianos para hacer estudios y trazados, construir las líneas, importar materiales, traspasar contratos antiguos, reformar otros, cambiar rutas, modificar precios, agregar o suprimir subvenciones, nombrar administradores e interventores y, en fin, atender la multitud de problemas que planteó la construcción de todos los ferrocarriles, casi sin ninguna excepción. El erario público gastó o perdió sumas enormes en su tiempo para pagar a contratistas (unos muy honestos, como Cisneros y Tanco, otros aventureros y bribones, como la Punchard), cancelar bonos ferroviarios, asumir obras directamente, comprar ferrocarriles privados a altos precios, subsidiar a constructores y contratistas, subvencionar a los departamentos para contratar, reconocer intereses de empréstitos externos, garantizarles rentabilidad a constructores privados, pagar indemnizaciones, comprar tierras para las vías, etcétera.

Muchísimas leyes fomentaron y premiaron la construcción de ferrocarriles por parte de empresarios particulares, los estados, los departamentos, compañías privadas para su uso y por parte del mismo gobierno nacional, en muy diversas formas:

- Con auxilios en dinero efectivo de la nación y de los estados para la obra
- Con subvenciones dadas en bonos y libranzas contra las aduanas
- Con concesiones de tierras baldías a los constructores
- Con contratos de construcción muy benéficos para los contratistas
- Con la tolerancia de toda clase de incumplimientos por parte de muchos contratistas
- Con la exención del pago de impuestos, contribuciones sobre la empresa y materiales importados para la obra
- Con concesión de una zona privilegiada dentro de la cual no se permitiría establecer otra empresa competidora
- Con la autorización del usufructo de la empresa por muchos años, que al final obligaba a la reversión de la empresa al gobierno
- Con la facultad de instalar líneas telegráficas y telefónicas para servicio propio
- Con el permiso de organizar compañías de accionistas dentro y fuera del país
- Con la autorización a los contratistas de ceder sus contratos con grandes utilidades y de pignorarlos para levantar fondos
- Con el aval del gobierno a las emisiones de bonos de contratistas
- Con la garantía de un interés mínimo sobre los fondos invertidos a cargo del erario

Pero a pesar de sus enormes costos, dificultades y problemas, todo este proceso dejó también enormes beneficios para el país dentro de los cuales pueden mencionarse los siguientes:

- Resolver muchos problemas de navegación por el río Magdalena
- Integrar cada vez más el territorio nacional en una unidad física y económica
- Estimular y dar salida a la enorme expansión de la producción de café
- Permitir resolver, en gran medida, el problema de las pésimas comunicaciones internas por cuanto el país sólo disponía de caminos para bestias
- Permitir introducir maquinaria pesada para tecnificar y expandir la minería y la industria en sus épocas de desarrollo incipiente, cuando más lo necesitaban
- Formar una red de transportes en el río Magdalena que creó, efectivamente, todo un mercado nacional para los productos de la naciente industria

- Ser una escuela insustituible de experiencia para los ingenieros colombianos en muchísimos aspectos profesionales
- Generar numerosos empleos productivos que antes no se conocían, constituyendo una nueva e importante fuente de ingresos económicos populares
- Entrenar multitud de trabajadores y operarios en oficios técnicos antes desconocidos en el país
- Ser la escuela de preparación para los trabajadores que después contribuyeron con sus destrezas a constituir y desarrollar la industria nacional
- Generar flujos de población interna que reforzaron la unidad social y económica de la población colombiana
- Representar una forma de inversión pública a través de la cual los gobiernos levantaron en varias ocasiones al país o a algunos estados en grave postración económica
- Traer consigo innovaciones técnicas tan útiles e importantes como el telégrafo, el teléfono, la fundición de metales y la construcción de grandes edificios
- Dar lugar a las primeras corrientes de turismo interno y a la construcción de una infraestructura turística, pequeña y modesta, pero de gran importancia
- Poner al país en contacto con los problemas laborales y sociales que hicieron surgir movimientos tan importantes como el sindicalismo y las cooperativas
- Introducir el precedente y la necesidad de que los empresarios y directivos se preocuparan por la salud y seguridad de los trabajadores mediante prácticas de seguridad industrial, establecimiento de hospitales y cuidado médico
- Permitir movilizar nuevos y grandes volúmenes de cargas de importación entre los puertos y las ciudades interiores donde progresaba la industria

Estas consideraciones, y otras que podrían agregarse, dan al proceso histórico del desarrollo ferroviario un carácter de extraordinaria importancia que hasta ahora no se ha tenido debidamente en cuenta por los historiadores de nuestra economía, exceptuando quizá los apuntes que sobre ello ha hecho Mc Greevey.

Para la historia de la ingeniería, los cien años de desarrollo ferroviario constituyen uno de los frentes que más importancia ha tenido en todos los tiempos para afianzar el establecimiento de esta profesión, subrayar su gran importancia, ampliar la variedad de sus conocimientos y abrir nuevas oportunidades en su aplicación. De hecho, hay ciertos períodos de la historia de la ingeniería colombiana que coinciden casi total y exclusivamente con la construcción y operación de ferrocarriles. Tales fueron los períodos de la Regeneración en el siglo pasado y de los gobiernos de Reyes y del general Ospina en el siglo XX.

LOS SUPERINTENDENTES DEL FERROCARRIL DE ANTIOQUIA

Una muestra muy representativa de los ingenieros que más se destacaron en Antioquia desde fines del siglo XIX la constituyen los nombres de quienes desempeñaron el cargo de superintendente del ferrocarril de Antioquia, por largo tiempo el cargo de más alto nivel técnico en esa región, y cuya importancia y prestigio eran comparables a los del gobernador del departamento en el campo administrativo. Dichos ingenieros fueron los siguientes:

Nombre	Año de ingreso	Nombre	Año de ingreso
1. Francisco Javier Cisneros	1874	31. Neftalí Sierra	1940
2. Rafael Mariño	1894	32. Juan de Dios Higueta	1943
3. Fabriciano Botero	1895	33. Julio Martín Restrepo	1944
4. Luis A. Isaza	1901	34. Ricardo de la Cuesta	1944
5. Carlos Cock	1903	35. Hernando Arango	1945
6. Eduardo Moreno B.	1904	36. Alejandro Hoyos S.	1945
7. Tomás Arturo Acevedo	1904	37. Hernando Arango	1946
8. Carlos Cock	1909	38. Raúl Zapata Lotero	1946
9. Juan de la C. Posada	1913	39. Arturo Tobón U.	1946
10. Rafael Torres Mariño	1918	40. Luis Alfonso Correa	1946
11. Mariano Ospina Pérez	1919	41. Gregorio Gómez Arango	1948
12. Eugenio Gómez G.	1920	42. Alfredo Molina L.	1948
13. Carlos Gómez	1924	43. Fernando Cano E.	1949
14. Cipriano Restrepo Jaramillo	1930	44. Ignacio Ospina C.	1949
15. Juan J. Angel	1931	45. Nicolás Bernal B.	1949
16. José Ramírez Johns	1934	46. Guillermo Restrepo I.	1950
17. Juan J. Angel	1934	47. Nicolás Bernal B.	1950
18. José Ramírez Johns	1934	48. Jorge Uribe Jaramillo	1950
19. Santiago Londoño	1934	49. Gregorio Gómez Arango	1950
20. Arturo Tobón U.	1935	50. Oscar Restrepo D' Alemán	1951
21. Antonio Restrepo A.	1935	51. Bernardo Maya B.	1951
22. Jaime Arango V.	1935	52. Guillermo Restrepo I.	1951
23. Mariano Roldán	1935	53. Bernardo Maya B.	1951
24. Florencio Mejía V.	1936	54. Luis Soto Sierra	1953
25. Isaías Cuartas C.	1937	55. Ignacio Angel B.	1954
26. Emilio Montoya G.	1937	56. Abraham Escobar Arango	1954
27. Gabriel Hernández S.	1939	57. Guillermo Gaviria Echeverri	1956
28. Eduardo Duque S.	1939	58. Jorge Uribe Jaramillo	1957
29. Gabriel Hernández S.	1939	59. Jorge Arango Vieira	1959
30. Arturo Tobón U.	1940	60. Hemán Arango Mejía	1960

En 1961, la empresa del ferrocarril fue vendida por el departamento de Antioquia a los Ferrocarriles Nacionales para integrar toda la red férrea del país.

CARRETERAS DE OSPINA

No fue sólo la construcción de ferrocarriles lo que distinguió la década de 1920 a 1930 en Colombia. Sin temor puede afirmarse que el gran auge de las obras públicas de esos años se manifestó más que todo en la intensa actividad que desplegó el gobierno nacional para construir carreteras. La generalización de los automotores, el espíritu progresista del presidente-ingeniero Pedro Nel Ospina y la bonanza financiera del gobierno central, fueron los impulsores de la construcción afanosa de carreteras. En esos años se hicieron o se comenzaron las vías que hoy unen a Cali y Cartago, Bogotá y Sogamoso, Bogotá y Girardot, Buenaventura y Cúcuta, Popayán y Pasto, Manizales, Pereira y Armenia, Sonsón con La Dorada y muchísimas otras de alcance local o regional.

En esos años no solamente aumentó el número de ingenieros civiles colombianos (que ya eran varios centenares), sino que ellos llevaron a todas partes el uso de sus instrumentos y de sus materiales propios: los mapas, las brújulas, los podómetros, los tránsitos, los niveles de Abney, Locke y de precisión, los decímetros o lienzas, la dinamita, la mecha de seguridad, la gasolina, las volquetas, el zapapico, el barreno de mano, la pequeña planta eléctrica de gasolina, etcétera.

LA JULIUS BERGER Y EL MAGDALENA

Una de las primeras decisiones de Ospina y de su ministro de Obras, el ingeniero Laureano Gómez Castro, fue poner en marcha el contrato con la firma alemana Julius Berger Tiefbahn Konsortium A. G., y los estudios totales del río Magdalena, desde Neiva hasta Barranquilla. El contrato se había firmado en 1920 bajo el gobierno de Suárez.

La JBTK trabajó en Colombia durante cinco años en esos estudios. Diseñó muelles y malecones para muchos puertos; hizo un amplio y detallado programa de dragado; recomendó cortar muchos meandros; indicó la voladura con dinamita de algunos grandes peñones que obstruían el cauce y formuló muchas otras certeras sugerencias. Hay que lamentar que el *know-how* de la firma ale-

mana no quedó en el país luego de su partida, debido a que sólo muy pocos ingenieros colombianos participaron en el trabajo concluido en 1925.

RADIOCOMUNICACIONES Y TELEFONOS DE 1910 A 1930

Guiado por los experimentos de Heinrich Hertz sobre propagación electromagnética, Guglielmo Marconi inventó en 1896 la telegrafía sin hilos, que le valió el Premio Nobel de Física en 1909. Su invento fue rápidamente convertido en un servicio comercial por grandes compañías europeas y estadounidenses que se formaron al efecto. El invento de Marconi recibió un gran impulso en 1907 cuando Lee de Forest, físico norteamericano, inventó el tubo electrónico de tres electrodos que llamó audión.

En 1911, la United Fruit Company, dueña de la zona bananera de Santa Marta, tomó los primeros circuitos para radiotelegrafía e instaló las primeras estaciones radiotransmisoras que se vieron en Santa Marta, Cartagena y San Andrés, las cuales estaban enlazadas con estaciones similares de la misma compañía en las Antillas, Centroamérica y los Estados Unidos. Pero éste era un servicio estrictamente privado de esa empresa que en nada repercutía como innovación tecnológica a nivel nacional y al cual eran totalmente ajenos los ingenieros colombianos. De hecho, la preparación y la experiencia práctica de nuestros ingenieros apenas sí tocaban algunos rudimentos de electricidad y a duras penas sabían que existían las ondas electromagnéticas u ondas hertzianas. Ningún ingeniero colombiano conocía cómo funcionaba un oscilador de alta frecuencia ni un circuito-tanque resonador ni una antena ni un micrófono ni un detector de Branly, ni siquiera un cristal de galena, elementos electrónicos esenciales de aquella primera tecnología de telecomunicación. Todos ellos eran misterios reservados a técnicos e ingenieros que hablaran inglés.

En 1913 se dio un paso más cuando la compañía norteamericana Marconi (Marconi Wireless Company) obtuvo permiso del gobierno de Ospina para instalar estaciones para servicio al público en Bogotá, Medellín y Buenaventura. En ese año se inauguró la estación de Morato en Bogotá, y a poco la de Las Palmas en Medellín y la de Buenaventura. En poco tiempo, la empresa instaló el servicio en otras ciudades del país. En 1920 había estaciones telegráficas inalámbricas en Bogotá, Medellín, Cali, Buenaventura, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Puerto Colombia, Santa Marta y Arauca.

Pero también, desde que Reyes tomara el gobierno en 1905, se había reanudado con intensidad la construcción de líneas telegráficas por conductor y de es-

taciones de telégrafo. La red nacional en 1920 cubría ya casi todos los municipios del país. Y en 1919, esta red se abrió a los canales internacionales al inaugurarse el servicio de cable submarino de Cartagena a Colón (en Panamá).

En 1921 se organizó una empresa nacional de radiocomunicaciones que instaló servicios y equipos en 20 lugares del país y, además, estableció circuitos al exterior con Venezuela, los Estados Unidos, Panamá y Centroamérica. En el país operaban tanto esta empresa como la All America Cables and Radio. Muchos de sus operadores de equipos, lo mismo que varios de sus técnicos, eran colombianos capacitados directamente en el trabajo.

Nadie en Colombia mencionaba aún entonces la palabra "radioingeniería" ni en el mundo se había acuñado todavía el concepto de "ingeniería electrónica". Pero aquellos operadores y técnicos de radio, aprendices autodidactos, eran los precursores de los ingenieros electrónicos actuales. En efecto, aquellos técnicos trabajaron por primera vez con voces y conceptos técnicos como los de transmisor, receptor, tubo de vacío, antena, radiación, resonancia, electromagnetismo, inductancia, condensador, micrófono, audifono, y los demás propios de la tecnología de bajas corrientes eléctricas a altas frecuencias.

Pero se necesitaba intensificar la preparación de personal técnico en radiocomunicaciones porque en 1923 había entrado en servicio la estación internacional de Morato en Bogotá y en 1924 se instalaron estaciones en Popayán, Pasto, Ibagué, Honda, Tunja, Bucaramanga, Ocaña, Barrancabermeja, Cartagena, Manizales, Cartago y Socorro. El ingeniero presidente Ospina no tenía tregua en su tarea modernizadora de Colombia.

Los progresos también eran evidentes en telefonía. Desde la presidencia de Rafael Reyes, los gobiernos ayudaban o auspiciaban la formación de empresas privadas o municipales de teléfonos en las principales ciudades. En Bogotá se hizo en 1910 el primer ensanche importante de 2.000 líneas. En Medellín, en 1915 se instaló una planta de 1.000 líneas de tipo multiplex. A lo largo de los años diez y veinte se crearon empresas en Barranquilla, Manizales, Cali, Ibagué, Bucaramanga y Cartagena. Todos eran sistemas manuales o de magneto, con aparatos de dos piezas. Era tecnología de corrientes continuas de baja intensidad, más parecida a la de los telégrafos tradicionales que a la complicada tecnología telefónica electrónica de hoy.

La simplicidad de aquellas tecnologías y el uso de aparatos ya conocidos, como la pila eléctrica y el acumulador de Planté, permitió que, casi desde los primeros momentos, los técnicos de las empresas telefónicas fueran colombianos que aprendían haciendo (*learning by doing*) y que no necesitaban tener más que una instrucción elemental o mediana. Colombianos inteligentes, sin más

educación que la primaria, eran capaces de leer los sencillos manuales de instrucción y de interpretar los diagramas de circuito de aquellas primeras centrales manuales de teléfonos y aparatos. Sin embargo, algunos pocos de nuestros ingenieros civiles empezaron a participar en esas empresas, más que todo planeando y dirigiendo la instalación de las líneas telefónicas. Forzosamente, se interesaron en el funcionamiento de las centrales y de los aparatos y se familiarizaron con esos sistemas, nuevos entonces en el país. Y para reforzar la preparación de técnicos, el gobierno contrató, en 1924, una misión belga que, además, estudiaría la extensión de las radiocomunicaciones a otras regiones.

De esta forma, al momento de terminar la administración Ospina en 1926, había diez ciudades que tenían servicio telefónico local, con centrales manuales, en corriente continua de bajo amperaje, activadas por pilas secas (pilas Daniel) o por acumuladores (de Planté).

LA ULEN ENGINEERING CORPORATION EN MANIZALES

En 1922, la ciudad de Manizales, construida toda en madera y en guadua, fue destruida por un incendio arrasador. El siniestro ocurrió pocos días antes o después de la posesión de Ospina en la presidencia. Por eso, uno de los primeros y graves problemas que exigieron la atención del nuevo mandatario fue la reconstrucción de la ciudad de acuerdo con un plan urbanístico moderno, nuevos materiales de construcción y nuevos estilos arquitectónicos que, al mismo tiempo, se adaptaran a la difícil topografía de cuchillas, cerros y hondonadas donde se asienta la ciudad.

Para esta tarea, el presidente-ingeniero contrató con la empresa norteamericana Ulen Engineering Corporation la planificación de la nueva ciudad, la construcción de sus calles y avenidas principales y de una nueva catedral, que en el espíritu religioso de sus habitantes era el hito señero de la existencia misma de la ciudad.

No sin muchas dificultades técnicas, y con considerables extracostos para el gobierno, la Ulen trabajó en su encargo hasta los últimos años de los años veinte. Gracias al empeño de Ospina Vásquez, la capital de Caldas revivió de sus cenizas y hasta el día de hoy tiene una de las más bellas catedrales de nuestro país. Hay que anotar, lamentablemente, que la catedral ha sido seriamente afectada por el tiempo, por un fuerte sismo en 1962 y por algunos arquitectos y pintores de mal gusto.

COMIENZOS DE LA AERONAVEGACION

En nuestro país, la navegación aérea sólo vendría a repercutir como factor de demanda de ingeniería en los años cincuenta, con la sofisticación tecnológica que trajeron los modelos de aviones y de motores posteriores a la segunda guerra mundial. Pero para entender cómo llegó a suceder, es necesario registrar el avance de esta actividad transportadora desde sus orígenes.

Desde fines del siglo XIX, algunos hombres habían intentado construir máquinas voladoras con los entonces recién inventados motores de gasolina. En 1872, A. Pénaud construyó en Francia un aeroplano modelo y lo hizo volar algunos metros. En 1896, Langley, en Inglaterra, hizo volar una máquina sin pasajero, movida por vapor, a lo largo de media milla. En 1903, los hermanos Orville y Wilbur Wright volaron sus primeros aeroplanos en los Estados Unidos. En 1906, Santos Dumont voló en aeroplano cerca a París. En 1907, en los Estados Unidos, Glenn Curtiss y Alejandro Graham Bell, inventor del teléfono, se asociaron para construir una empresa de aeroplanos. En 1909, Louis Blériot cruzó en avión el Canal de la Mancha y al año siguiente, el peruano Jorge Chávez cruzó los Alpes pero se mató al llegar a Italia.

Así, la aviación entró ya de lleno en la tecnología del mundo occidental y durante la primera guerra mundial se convirtió en una poderosa arma y produjo un vigoroso desarrollo técnico. En los países contendientes surgió la práctica de su diseño, operación y mantenimiento, lo que después se llamaría en el mundo ingeniería aeronáutica, con todas sus bases en la termodinámica de los motores de combustión interna, la aerodinámica de las hélices y las alas, la cinemática de los vientos y los móviles, la meteorología y la radiocomunicación, desarrollada paralelamente.

Apenas terminó la guerra, en octubre de 1919, se fundó en Holanda la Koninklijke Luchtvaart Maatschappij (KLM). Poco antes, en septiembre del mismo año, se había formado en Medellín la primera empresa aérea comercial nacional y del mundo, la Compañía Colombiana de Navegación Aérea, fundada y gerenciada por don Guillermo Echavarría Misas. Trajo cuatro aviones franceses y pilotos de Francia, los Estados Unidos e Italia, quienes manejaban y mantenían los aviones. Seguramente por un deficiente mantenimiento y por la caprichosa meteorología colombiana, los aviones y sus pilotos se estrellaron uno tras otro, el último en 1920.

También en 1919, el 5 de diciembre, se fundó en Barranquilla la Sociedad Colombo-Alemana de Transportes Aéreos, Scadta, con socios colombianos, como Ulpiano Valenzuela y Carlos Obregón, y alemanes, como Wilhelm

Schnurbusch y Fritz Hammer, ingenieros y pilotos excombatientes. Compraron un avión en Estados Unidos, el cual voló por primera vez de Barranquilla a Puerto Colombia en junio de 1919. La Scadta progresó en los años siguientes, aumentó sus aviones, cubrió nuevas líneas e incorporó cada vez más pilotos y técnicos colombianos. En los años veinte estableció líneas y vuelos con itinerarios regulares entre las ciudades de Barranquilla, Cartagena, Bogotá, Medellín, Girardot, Bucaramanga, Cali y Cúcuta.

Con los aviones, los aviadores, los radioperadores y los mecánicos de aviación, el país técnico se familiarizó con el conocimiento de la aerodinámica y la meteorología, la radioelectrónica, la hélice, el motor aeronáutico de pistones, el altímetro, el radiofaro, los instrumentos de vuelo y con un metal enteramente desconocido antes: el aluminio. Los ingenieros civiles colombianos aprendieron, sobre el trabajo, a localizar, construir y nivelar pistas de aterrizaje y torres de control, lo cual constituía un nuevo quehacer.

LOS INGENIEROS DE LOS AÑOS VEINTE

En estos años habían desaparecido ya casi todos los ingenieros fundadores de la profesión en el siglo pasado y existían nuevas generaciones y algunos veteranos. Nombres destacados de esos años eran los de Julio Garavito, Jorge Alvarez Lleras, Darío Rozo Martínez, Belisario Ruiz Wilches, Juan de la Cruz Posada, Alejandro López, Camilo C. Restrepo, Jorge Rodríguez Lalinde, Tulio Ospina, Mariano Ospina Pérez, Laureano Gómez Castro, Carlos Gartner de la Cuesta, Sotero Peñuela, Pedro Uribe Gauguin, Carlos Cock, Juan J. Angel, Víctor E. Caro, Próspero Pereira Gamba, Efe Gómez, Germán Uribe Hoyos, Pablo Lucio, Eugenio Ortega Díaz, Germán Jaramillo, Francisco Rodríguez Moya, Juan de Dios Higueta, Carlos Gutiérrez Bravo, Julián Villaveces y otros.

Unos mayores y otros más jóvenes, ya le habían dado a la ingeniería (entendida todavía como ingeniería civil y, acaso, de minas) un elevado nivel de prestigio social. Todavía eran, en su mayoría, extraídos de la élite social del país, de familias de prestigio o de un nivel elevado o medio en la escala económica. Ejemplos distinguidos de ingenieros extraídos de las muy incipientes clases medias fueron los ingenieros Jorge Alvarez Lleras (graduado en 1906), Laureano Gómez Castro (graduado en 1909) y Darío Rozo Martínez (graduado en 1909), egresados de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional, de la Escuela de Minas y, unos pocos, de la Universidad Republicana. Esta última sólo había de durar hasta 1920, cuando se cerró.

Pero, en compensación, en el año de 1911, la Universidad del Cauca en Popayán abrió su facultad de ingeniería, absorbiendo su antigua facultad de matemáticas y ofreciendo programas de ingeniería civil y, como notable novedad, un programa de ingeniería industrial. En 1918 se graduaron allí sus dos primeros ingenieros, los señores Ricardo Arboleda y Daniel Sarria Rojas.

Durante los mismos años funcionó, en forma más bien precaria, una facultad de ingeniería en la Universidad de Nariño, de la cual fue animador el ingeniero Fortunato Pereira Gamba y donde fue profesor el notable ingeniero Belisario Ruiz Wilches. Simultáneamente funcionó en Bogotá, por algunos años, la escuela de ingeniería de los Hermanos Cristianos, desprendida de su Instituto Técnico Central. En 1932, estas dos escuelas fueron incorporadas por el gobierno de Olaya Herrera a la facultad de matemáticas e ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá.

El plan de estudio de las escuelas de Bogotá y Medellín era muy similar, aunque el de Bogotá hacía mayor énfasis en las matemáticas. Ambos se hacían en seis años, con materias anuales y muy baja intensidad de experimentación o práctica. En Medellín se intensificaban la geología y la metalurgia. Ambos currículos incluían aritmética, geometría, álgebra, geometría analítica, cálculo diferencial e integral, geometría descriptiva, dibujo lineal, mecánica analítica, resistencia de materiales, hidráulica, geología, metalurgia, electricidad, astronomía, trazado y construcción de vías, ferrocarriles, economía, arquitectura y otras asignaturas secundarias. Como se ve, había cambiado poco con respecto al siglo XIX.

El de Bogotá llevaba por nombre facultad de matemáticas e ingeniería, y hasta los años cuarenta de nuestro siglo se caracterizó por un marcado sesgo hacia los estudios teóricos y por una gran influencia de los libros y los contenidos académicos franceses. Se daba un gran énfasis a la enseñanza de las matemáticas (geometría euclidiana, álgebra clásica, cálculo, geometría analítica, geometría descriptiva, etc.) y hubo una época, a fines del siglo pasado y a principios del presente, en que era indispensable obtener primero el grado de profesor de matemáticas antes de optar al título de ingeniero. No había asignaturas referentes a economía o administración, mientras que la Escuela de Minas de Medellín ofrecía cursos como el de estadística, del ingeniero Jorge Rodríguez Lalinde, y el de economía política, del ingeniero Alejandro López.

Estas diferencias de orientación fueron materia de debate interno en la facultad de Bogotá, donde la tendencia a la profunda enseñanza teórica de corte francés era personificada y propugnada por el doctor Julio Garavito Armero, mientras que el ingeniero Ruperto Ferreira pedía una enseñanza abierta a los vientos del desarrollo económico que se iniciaba en el país.

CUADRO 6
PROGRAMAS DE MATEMATICAS EN LA FACULTAD DE INGENIERIA
DE BOGOTA (1892) Y EN LA ESCUELA DE MINAS DE MEDELLIN (1887)

— Ingeniería civil (Bogotá)	— Aritmética analítica — Algebra superior	— Geometría superior — Geometría analítica — Geometría descriptiva	— Cálculo infinitesimal — Mecánica racional	— Trigonometría plana y esférica — Astronomía y geodesia
— Ingeniería de minas (Medellín)	— Algebra	— Geometría elemental — Geometría analítica — Geometría descriptiva	— Nociones de cálculo infinitesimal	— Trigonometría rectilínea y esférica

Fuente: Alberto Mayor M. "Matemáticas y subdesarrollo: La disputa sobre la enseñanza en la ingeniería colombiana de principios del siglo XX". En: *Revista de Extensión Cultural*, Universidad Nacional, seccional Medellín, No. 19, julio, 1985, pp. 14-24.

En los años veinte, los ingenieros desempeñaban ya numerosas y variadas tareas: trazaban y construían ferrocarriles, carreteras, cables aéreos, trabajaban en obras y puentes fluviales, construían y montaban fábricas, instalaban y operaban centrales y redes eléctricas para las ciudades, construían acueductos urbanos, tendían redes telefónicas urbanas y líneas telegráficas por carreteras y ferrocarriles, montaban puentes de acero, estudiaban y explotaban minas de oro, hacían cartografía para el gobierno, enseñaban en las dos facultades, contrataban misiones técnicas extranjeras, medían tierras y cumplían otras misiones técnicas.

Por sus entronques familiares y sociales o por su prestigio profesional, algunos ejercieron cargos públicos, como el ingeniero Pedro Nel Ospina en la Presidencia de la República, Laureano Gómez, también en la Presidencia y en el Ministerio de Obras Públicas, Camilo C. Restrepo, Carlos Cock y Emilio Montoya G. en la gobernación de Antioquia, entre otros.

TRANSPORTES Y COMUNICACIONES CON OSPINA

Durante su presidencia, el ingeniero Ospina tuvo como ministro de Obras el ingeniero Laureano Gómez. Gracias a la prosperidad fiscal que trajo la indemnización de 25 millones de dólares por el robo de Panamá y de numerosos empréstitos de bancos extranjeros, se dedicaron a construir carreteras, ferrocarriles, puertos fluviales, cables aéreos y puentes.

El ferrocarril del Pacífico, por ejemplo, había avanzado lentamente desde Palmira hasta Tuluá, donde llegó en 1920, y Bugalagrande, en 1922. Ospina lo impulsó y un año después (1923) llegó a Cartago.

El ferrocarril del Tolima, dirigido por Pedro Uribe Gauguin, se había iniciado en 1916 en Chicoral y apenas en 1921 llegó a Ibagué. Ospina construyó rápidamente la estación en Ibagué y la inauguró en 1922. Poco después, el gobierno ordenó el primer estudio de la posible ferrovía de Ibagué a Armenia.

El ferrocarril de Caldas, iniciado en 1915 en Puerto Caldas, sólo había llegado a Pereira en 1921. El gobierno de Ospina lo continuó rápidamente y lo llevó hasta Manizales en 1924. Además, en 1925 inició la construcción de la ferrovía de Nacederos (cerca a Pereira) a Armenia, donde llegó en 1929.

En 1921 se había comenzado en Ambalema la línea hacia Ibagué. En 1925 sólo se habían construido 16 km por parte del contratista Pedro A. López y del departamento del Tolima. En 1927 la continuó otro contratista, y con ayuda del gobierno nacional, la obra siguió sin interrupciones hasta cuando se terminó, en 1931, en la estación de Buenos Aires, cerca a Ibagué.

Ospina tenía en mente la idea de que, algún día, hubiera un ferrocarril a todo lo largo del occidente del país, desde Cali hasta Cartagena. Por eso, en 1923 se inició el trazado de tal obra partiendo de la estación de Bolombolo, en Antioquia, aguas abajo del río Cauca por la orilla izquierda, trabajo que continuó hasta 1929. Al mismo tiempo, avanzaba el ferrocarril de Medellín a Bolombolo. A fines de los años treinta se construyó el tramo Bolombolo-Anzá, concebido como parte del ferrocarril troncal de Occidente.

Ese gobierno llevó la línea del ferrocarril del Norte hasta Chiquinquirá e hizo estudios para continuarlo por la hoya del río Carare hasta el Magdalena. Inclusive, inició la explanación desde Tunja hacia Villa de Leyva. Además, inició el ferrocarril de Tumaco hacia El Diviso e impulsó la construcción del de Puerto Wilches el cual llegó a Sabana de Torres, en el kilómetro 50, en 1925, y al kilómetro 63, en 1928. En 1925 se emprendió en Facatativá el ferrocarril de Cundinamarca hacia Puerto Salgar, el cual se prosiguió durante todos los años veinte. En aquel mismo año se inició el ferrocarril del Nordeste, de Bogotá

hacia Boyacá, continuado durante todo el gobierno de Ospina. Entre 1925 y 1927 se construyó la línea Zarzal-Armenia y en 1925 se llevó a Popayán el ferrocarril desde Cali.

Sobre los 1.481 km de ferrocarriles construidos que ese gobierno encontró al posesionarse en 1922, el de Ospina construyó 800 km adicionales.

Parece que se gastaron aproximadamente 90 millones de dólares en construcción de vías ferroviarias desde 1923 hasta 1930 y otros 22 millones de pesos para gastos de operación, reparación y gastos de edificios. Todo ese trabajo fue hecho por ingenieros civiles colombianos.

Otra obra importante que decidió esa administración fue el puente ferroviario de Girardot sobre el río Magdalena, iniciado en 1925 por una casa contratista inglesa y erigido en cinco años.

Entre 1926 y 1929 se construyó la muy estratégica carretera de Ibagué a Armenia. En esos años se comenzó la construcción del túnel de La Queibra para el ferrocarril de Antioquia, el cual se concluyó y se dio al servicio en 1929.

Sería interminable citar las muchas carreteras que se construyeron en esos años en todo el territorio nacional. Ningún otro gobierno anterior había ocupado tan intensamente a los ingenieros colombianos.

El número de millas de cables telefónicos aumentó de 5.094 en 1913 a 34.680 en 1927 y el de aparatos, de 3.177 a 21.110; la longitud de cable telegráfico pasó de 11.860 a 20.066 millas; la cantidad de mensajes subió de 1.927.000 a 5.856.000.

Durante el mismo período, el número de cartas y tarjetas enviadas a través de oficinas de correo pasó de menos de siete millones a cerca de treinta millones; el kilometraje ferroviario se duplicó y el número y peso de pasajeros y equipajes llegó a ser ocho veces mayor. A finales de 1929, la longitud de carreteras abiertas era de 1.600 millas, fuera de otras mil adaptadas para el tráfico automotor. En 1913, los automóviles del país no pasaban de unos centenares y en enero de 1929 llegaban a 15.350.

Otro sistema de transporte, el de los tranvías eléctricos, se inició en Bogotá en 1915 y en Medellín en 1920. Su construcción y operación fue otro frente de trabajo que los ingenieros civiles atendieron con propiedad y eficacia. Cabe recordar, por ejemplo, que fue el ingeniero Jorge Alvarez Lleras quien redactó la cartilla de instrucciones para los tranviarios de Bogotá cuando comenzó a operar este servicio.

COMIENZOS DE LA RADIODIFUSION

Otra innovación técnica y económica llegó a Colombia a mediados de los años veinte: la radiodifusión comercial. Ella no sería nunca un importante campo de aplicación de la ingeniería comparable a los ferrocarriles o a la industria, pero con el correr del tiempo, vendría a ser uno de los estímulos para que, en los años sesenta, llegara a existir entre nosotros la especialidad de la ingeniería electrónica.

Fue en 1902 cuando Stubblefiels obtuvo en los Estados Unidos la primera patente en el mundo para una radiodifusora comercial. Y en 1913, Fressenden, en ese mismo país, patentó el primer radiorreceptor doméstico. Pero la primera guerra mundial aplazó la proliferación de esta nueva actividad, porque toda la capacidad para producir radiotransmisores y radiorreceptores fue aplicada a atender necesidades militares.

En 1919 y 1920 se generalizó en los Estados Unidos y Europa la radiodifusión comercial y se popularizó el uso del radiorreceptor doméstico. En Colombia se instalaron las primeras radioemisoras locales en onda larga en 1923 y desde entonces comenzaron a importarse radiorreceptores. Las primeras emisoras fueron operadas por técnicos colombianos que habían viajado a los Estados Unidos a aprenderlo. Así nacían entre nosotros nuevos oficios técnicos como el de operador de audiofrecuencias o ingeniero de sonido. Uno de ellos, el señor César Estévez, construyó e instaló equipos transmisores y antenas desde 1923 hasta 1950. Era un autodidacto con grandes dotes innatas de ingeniero entrenado en los Estados Unidos. Desde 1929 instaló también las primeras estaciones de onda corta con potencias pequeñas de 5 kilovatios en antena.

La radiodifusión comercial nos trajo sus nuevos equipos así como el radiorreceptor doméstico de tubos de vacío, sus demandas de técnica para operarlos y para repararlos, es decir, toda una nueva tecnología: la radioelectrónica.

LA INDUSTRIA Y LOS INGENIEROS HACIA 1925

En el primer cuarto de siglo, unas pocas ciudades colombianas comenzaron a asomarse a la tecnología del siglo XX. En 1925 ya había servicio de energía eléctrica en las capitales de los catorce departamentos de entonces y en numerosas poblaciones más. Estas ciudades y poblaciones disponían también de servicios públicos de agua y alcantarillado. En Bogotá, Medellín y Pereira se habían establecido líneas de tranvías eléctricos. En muchas ciudades y pueblos había teléfonos. El te-

légrafo llegaba a casi todos los municipios del país. Había automóviles y camiones en las grandes ciudades. Se habían hecho varias carreteras en el centro del país y se iniciaban otras más bajo la emprendedora administración de Pedro Nel Ospina. Los aviones comerciales volaban entre las principales ciudades. En todo ello, los ingenieros habían desempeñado un papel crucial como proyectistas, constructores, operadores y administradores. Había entonces en Colombia tal vez trescientos o cuatrocientos ingenieros entre civiles y de minas.

Al mismo tiempo se amplificaba otro incipiente campo de trabajo para los ingenieros, la industria fabril, cuyos primeros establecimientos funcionaban ya en Medellín, Bogotá, Barranquilla y Cali. En el sector industrial existía también la primera refinería de petróleo, instalada en Barrancabermeja en 1922 pero que solamente ocupaba ingenieros extranjeros, y operaba como un puro enclave colonial, sin enlaces económicos ni técnicos con el resto del país. Pero sus productos ponían al país en contacto con nuevos materiales combustibles de la era industrial tales como la gasolina, el kerosene y el *fuel-oil*.

Las fábricas propiamente dichas eran pocas. Casi todas eran de alguno de los siguientes tipos: trilladoras, ingenios azucareros, una fábrica de cemento, jabonerías, talleres de maderas, unas curtidurías, fundiciones y destilerías de licores. Los trabajos que ya entonces hacían algunos ingenieros civiles en esas industrias eran más bien sencillos, pero sólo ellos estaban capacitados para hacerlo: dibujaban planos, construían edificios, dirigían montajes, instalaban plantas eléctricas, construían hornos, fabricaban algunas piezas de hierro, hacían mantenimiento de máquinas, instalaban ejes de potencia y correas motrices y también hacían de gerentes y de administradores.

En la época de los años veinte se introdujeron importantes innovaciones tecnológicas gracias al mejor conocimiento que los ingenieros y los técnicos empíricos iban adquiriendo en los servicios públicos, las industrias y en otros campos. Entre esas innovaciones se pueden mencionar la adopción del telar mecánico; la generalización del teléfono en las ciudades; la instalación de equipos mecánicos para soplar vidrios; el uso del concreto en las obras públicas y edificios; la aparición del automóvil y del camión en el transporte; el desarrollo de la refinación de petróleo; la generalización de la radiodifusión comercial; las primeras aplicaciones industriales de la refrigeración; la difusión de la electricidad; la instalación de calderas de vapor en industrias; la aplicación a la industria del motor eléctrico, y las primeras centrales telefónicas automáticas.

Particularmente significativo en la tecnificación del país era el uso creciente del cemento, que aún era casi todo importado, y cuyo uso iba generalizándose.

se cada vez más en la construcción de puentes, pontones, alcantarillas, muros de contención y demás *obras de arte* en ferrocarriles y carreteras, así como en tanques para agua, edificios, etc. Este desarrollo planteaba a los ingenieros nuevos problemas técnicos en campos de la profesión como la resistencia de materiales, transferencia de calor, mecánica de suelos e hidráulica.

Pero a fines de 1929 estalló la Gran Crisis. El gobierno suspendió todas las obras públicas. Muchas fábricas cerraron. Centenares de ingenieros (la gran mayoría) quedaron cesantes. Carreteras, ferrocarriles, redes eléctricas, tranvías, centrales telefónicas, fábricas y todo lo demás que estaba en construcción quedó paralizado. Pero el país contaba ya con una buena infraestructura técnica de servicios públicos en funcionamiento: ferrocarriles, carreteras, cables aéreos, navegación fluvial, correos, telégrafos, teléfonos, radiocomunicaciones. Esta era una condición esencial y muy importante para crear un mercado nacional sobre un país tan disperso y quebrado como el nuestro.

COMIENZOS DEL PETROLEO

Las turbias y vergonzosas operaciones con que las grandes compañías petroleras internacionales se apoderaron de las concesiones Barco en el Catatumbo y De Mares en Barrancabermeja, ya han sido historiadas en forma documentada por Jorge Villegas y por René de la Pedraja Tomán. Aquí solamente nos ocupamos de mencionar aquellos aspectos de su actividad que influyeron en la formación de unos cuadros técnicos de ingenieros en Colombia. Hay que recordar que la explotación de la concesión De Mares empezó en 1921 por la Tropical Oil Company (filial de la Standard Oil Company de Nueva Jersey), año en el cual produjo 66.750 barriles de crudo de 42 galones británicos por barril. Para esta tarea, la Tropical trajo unos pocos ingenieros norteamericanos cuyos trabajos debieron ser sencillos porque, en ese tiempo, el crudo brotaba espontáneamente del suelo de la concesión. En 1927 se puso en funcionamiento la primera refinería en Barrancabermeja, que ese año produjo 77.504 barriles de gasolina. Esa concesión, como la concesión Barco, eran verdaderos enclaves coloniales donde no tenían ningún acceso los ingenieros colombianos.

Solamente hacia mediados de los años treinta, cuando en ambas concesiones comenzó a hacerse necesario adelantar nuevas exploraciones geológicas, sísmicas y geofísicas, las compañías norteamericanas empezaron a contratar algunos pocos ingenieros colombianos. Al mismo tiempo, la guerra mundial presionó a esas compañías a buscar nuevas concesiones en zo-

nas sedimentarias en otras regiones del país. La necesidad de ingenieros de petróleos se hizo sentir y la Escuela de Minas en Medellín creó la carrera de geología y petróleos, en 1940.

A través de estos proyectos, los ingenieros civiles encontraron nuevos campos de trabajo en labores de agrimensura y topografía, construcción de vías, montaje de torres petroleras, construcción de campamentos en la selva, etc. Nuestros primeros ingenieros de petróleos comenzaron a entrenarse en el estudio de sinclinales, anticlinales, zonas sedimentarias, líneas sismológicas, gravimetría, estratigrafía, columnas estratigráficas, tectónica, paleobiología, estructuras de almacenamiento y los demás aspectos técnicos de la exploración geológica, geofísica y geoquímica del petróleo.

A estos campos petroleros vinieron, probablemente, los primeros ingenieros mecánicos y electricistas norteamericanos en gran número. Pero debido al carácter muy cerrado de estas actividades, la proyección de esos profesionales hacia el medio exterior fue prácticamente nula. Fueron los profesionales colombianos quienes aprendieron y desarrollaron gradualmente esas tecnologías, de modo que cuando se construyó Ecopetrol en 1950, pudieron hacerse cargo de todas las tareas de exploración y explotación de las concesiones que habían sido de los norteamericanos y de todas las que después recibió la compañía nacional.

Es también muy probable que para operar la refinería, las compañías extranjeras trajeran equipos completos de ingenieros químicos e ingenieros de petróleos. Pero a partir de los años cincuenta, los ingenieros químicos colombianos comenzaron a trabajar en esta actividad, gracias a que ya las universidades del país estaban preparando a estos profesionales en un nivel avanzado de capacitación.

Capítulo 6

DESPUES DE LA GRAN CRISIS, 1930-1950

REACTIVACION DE LAS OBRAS PUBLICAS EN LOS AÑOS TREINTA

En los años de 1930, 1931 y 1932, prácticamente se paralizó el ejercicio de la ingeniería en el país. Sólo unas pocas obras públicas continuaron por corto tiempo. Por ejemplo, el ferrocarril del Norte llegó hasta la estación Providencia (kilómetro 197 desde Bogotá) en julio de 1930 y allí se suspendieron los trabajos. La nación y algunos departamentos, con grandes esfuerzos, continuaron construyendo algunas carreteras.

Las tres facultades de ingeniería (Bogotá, Medellín y Popayán) continuaron abiertas, pero el número de sus estudiantes rebajó sensiblemente. Sus egresados en esos tres años fueron algunos pocos.

El nuevo gobierno de Olaya Herrera luchó difícil pero tenazmente contra la crisis. En 1931 aplicó un fuerte arancel proteccionista a las importaciones y tomó otras medidas fiscales y monetarias. En 1932, en los Estados Unidos subió a la presidencia Franklin D. Roosevelt y de inmediato aplicó su política keynesiana del *New Deal* contra la recesión, con eficaces resultados inmediatos que repercutieron enseguida favorablemente en Colombia al volver a entonarse el mercado cafetero.

En lo peor de la crisis, a mediados de 1931, el ingeniero Germán Uribe Hoyos elaboró y presentó al Congreso el primer Plan Nacional de Carreteras (Ley 88 de 1931), lo cual constituía un concepto nuevo de tipo técnico, administrativo y económico. Además, era el comienzo de un gran impulso a la construcción de carreteras como función del Estado, al nivel del gobierno central.

Bajo esa concepción se siguieron haciendo las carreteras en el país en los 15 años siguientes.

A partir de 1932 se fueron reiniciando gradualmente algunas obras. Por ejemplo, una casa constructora norteamericana, con ingenieros extranjeros, comenzó los trabajos de Bocas de Ceniza y del terminal marítimo de Barranquilla.

Los ferrocarriles también experimentaron una viva reanimación, como es el caso del ferrocarril de Cundinamarca que, partiendo de Palanquero, había llegado a Villeta en 1931. En 1934 se le reanudó desde aquí y se empalmó en Albán con la línea que venía de Facatativá. Se reanudó también, en 1933, el enriado del ferrocarril del Norte desde Providencia, que llegaría a Barbosa (Santander) dos años después.

El ferrocarril Girardot-Tolima-Huila, comenzado en Girardot pocos años antes de la crisis, había sido suspendido en 1930 al llegar al límite entre los dos departamentos de Tolima y Huila. En 1935 se reinició y fue llevado hasta Neiva por los ingenieros Julián Villaveces y Pío Poveda.

El ferrocarril de Antioquia reinició la construcción de su línea férrea desde Bolombolo hasta La Pintada y se comenzaron a construir numerosas carreteras regionales hacia el suroeste del departamento.

También en 1933 se reanudaron los ferrocarriles del Nordeste y del Sur. En esos mismos años se inició en Nariño la construcción del ferrocarril desde El Diviso hacia el mar, que llegó hasta Aguaclara en 1935. Posteriormente, entre 1937 y 1942, se prolongaría hasta Tumaco luego de cruzar el gran viaducto de El Pindo, contiguo a dicho puerto.

En 1934 había ya construidos en Colombia unos 3.270 kilómetros de líneas férreas.

En la misma tónica gubernamental de responder con obras de mayor envergadura a las necesidades crecientes de la población en las ciudades principales, el municipio de Medellín construyó y dio al servicio en 1932 la central hidroeléctrica de Guadalupe, con capacidad generadora de 10 mil kilovatios, que para su tiempo fue una obra extraordinaria de ingeniería hidráulica, de electrotecnia, de diseño de estructuras y de diseño de concreto.

En ella hubo una intensa participación de ingenieros colombianos tanto en el diseño como en la operación, pero también se necesitó asesoría de ingenieros extranjeros, especialmente en algunos aspectos de diseño hidráulico, diseño y montaje electromecánico e instalación eléctrica. Fue la primera obra donde se usaron alternadores de capacidad superior a mil kilovatios, líneas de transmisión a 110 mil voltios y transformadores con potencias y tensiones de estos niveles. Esa obra significó un aumento fundamental en la magnitud de la elec-

trificación del país, la cual, hasta entonces, estaba apenas en un estado incipiente a escala local de cada ciudad o población.

Desde 1934 se reemprendió la construcción de carreteras nacionales y departamentales en casi todo el territorio del país. Ya en esos años, la red de carreteras unía de modo continuo las principales ciudades del centro del país: Pasto, Popayán, Cali, Manizales, Medellín, Pereira, Armenia, Ibagué, Girardot, Bogotá, Tunja, Sogamoso, Bucaramanga y Cúcuta. También había carretera de Cartagena a Barranquilla y a Santa Marta, pero no existía vía terrestre, ni carretable ni ferroviaria, del centro del país a la Costa Atlántica. A mediados y finales de los años treinta, todos los ingenieros del país estaban ya otra vez ocupados, la mayoría de ellos en la construcción de obras públicas. En esa época se completaron enlaces como el de Garzón-La Plata-Popayán, Mariquita-Manizales, Neiva-Garzón-Florencia, Bogotá-Villavicencio, Bogotá-Guaduas-Honda, Neiva-Colombia, Ibagué-Honda y muchas otras carreteras que iban desde las capitales de departamento a las poblaciones circundantes.

Esa época fue una de las últimas de lo que alguien llamó "la ingeniería heroica". Quizá no más de doscientos ingenieros vivían en las ciudades. Los otros trescientos o cuatrocientos que había hacían un rudo esfuerzo pues vivían en los frentes de trabajo, en campamentos constituidos por carpas o en pequeñas casas campesinas acondicionadas mientras trabajaban a la intemperie, manejaban un personal trabajador pero difícil, vivían sin la menor comodidad, viajaban en mula o a caballo, laboraban sin horarios y sin interrupción en climas insalubres, en el frío del páramo o en el calor tórrido, afrontaban serios riesgos de accidentes pues casi no tenían equipo mecánico, y hacían sus largos cálculos a mano, sin rápidos medios de comunicación, traladados de un confín a otro del país con escasos auxilios médicos. Las condiciones en que hasta entonces trabajaban los ingenieros civiles en sus obras no eran muy diferentes a las que rodearon al ingeniero Abelardo Ramos en 1906, en el sitio de Papagayos (hoy Dagua), donde murió víctima de la malaria mientras trabajaba en el trazado del ferrocarril del Pacífico en medio de lodazales, mosquitos y serpientes. Esas condiciones, por fortuna, comenzarían a mejorar posteriormente en los años cuarenta y cincuenta.

La activa construcción de ferrocarriles, carreteras, puentes, sistemas eléctricos urbanos, acueductos y alcantarillados durante los años treinta fue una gran palanca de progreso para la técnica y la economía nacionales. Las necesidades de mejores herramientas de trabajo determinaron que se trajeran, por primera vez al país, instrumentos nuevos como la máquina calculadora manual, el taladro neumático, la grúa de vapor, la máquina cilindadora (de vapor y de

diesel). Fue también al final de los años treinta cuando se expandió el uso del acero como material para construir puentes rígidos en carreteras (ya era usado para ese fin en todos los ferrocarriles), lo cual introdujo mayor rigor y confiabilidad al cálculo de esas estructuras.

Además de construir obras públicas, los gobiernos reformistas de los años treinta creaban o modernizaban instituciones que tenían, o que habrían de tener, una fuerte incidencia en el perfil tecnológico del país. En 1931 se habían creado la Caja Agraria y el Banco Central Hipotecario. Este último sería desde entonces un activo constructor o financiador de vivienda urbana. En 1935 se restructuró la Universidad Nacional (Ley 68 de dicho año). En 1936 se creó el Servicio Geológico y Minero en el ministerio del ramo y el Instituto Geográfico Militar y Catastral Agustín Codazzi, a partir de la antigua Oficina de Longitudes.

El Instituto Geográfico estuvo, desde su fundación hasta 1958, adscrito al Ministerio de Guerra, y en ese año pasó al Ministerio de Hacienda. De todas maneras, el Instituto ha estado cumpliendo a todo lo largo de su existencia la función que quedó trunca a la muerte de Agustín Codazzi, es decir, la de levantar la carta geográfica de Colombia, inventariar sus recursos naturales y formar el catastro nacional de tierras y predios urbanos y rurales. En su labor, 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 cartografía, geodesia y geología, todas directamente relacionadas con su propia función.

Los empeños modernizadores de los gobiernos de los años treinta impulsaron las obras públicas de todo tipo, no solamente las carreteras nacionales. A través de las autoridades de las ciudades, se manifestaron también en la construcción nuevas y grandes obras de servicios públicos urbanos. Tal fue el caso en 1936 de la primera gran presa de captación de aguas para consumo público que se hizo en el país, la presa de La Regadera, cerca a Bogotá. Puede decirse que ésta fue la primera gran construcción hidráulica en el país, diseñada y construida por ingenieros colombianos. Esta obra obligó a nuestros ingenieros a estudiar más y a poner en juego conocimientos e información más avanzada en materias como hidráulica, resistencia de materiales y diseño de concreto, a niveles que hasta entonces no se habían desplegado en el país.

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 ese objeto, el gobierno presentó el proyecto al Congreso y éste lo convirtió en la Ley 94 de 1937 (octubre), reglamentaria de la ingeniería en el

país. Esa ley creó el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería y estableció la necesidad de obtener la matrícula profesional para poder ejercer la profesión. La primera matrícula fue expedida al ingeniero Luis Alfredo Bassani, como ingeniero civil.

NUEVAS INDUSTRIAS EN LOS AÑOS TREINTA

Superada la Gran Crisis hacia 1932 y 1933, Colombia entró en una fase de vigoroso crecimiento industrial, especialmente en Medellín y Bogotá, lo que determinó una intensificación en la demanda de ingenieros por parte de las fábricas, demanda que fue atendida en ese momento por los ingenieros civiles. No existían en el país facultades de ingeniería de ninguna otra especialidad que no fueran las de civil y de minas. La docencia en estas dos carreras académicas daba muy escasa capacitación en las tecnologías más requeridas en el trabajo industrial como son la mecánica, la eléctrica, la metalúrgica y la térmica. Pero aun así, los ingenieros civiles supieron adaptar y ampliar sus conocimientos para atender el nuevo tipo de demanda de ingeniería que venía ahora desde el sector industrial. Los ingenieros civiles asumieron nuevas y diversas tareas técnicas en las fábricas: montaban máquinas, diseñaban hornos, instalaban redes y controles eléctricos, montaban calderas, entrenaban operarios, reparaban equipos, construían piezas de repuesto y sistemas de refrigeración, a más de asumir muchas tareas administrativas, desde organizar trabajadores hasta gerenciar empresas.

Del impulso industrial de los años treinta hay que destacar tres innovaciones tecnológicas como las más importantes que entraron entonces, definitivamente, a la industria fabril colombiana. Ellas fueron:

1. La generalización del uso del motor eléctrico
2. La adopción de técnicas modernas de refrigeración industrial
3. La iniciación de la producción de acero en el país

En las fábricas instaladas en los decenios anteriores, la fuerza motriz se obtenía a partir de una máquina de vapor que hacía girar uno o varios ejes elevados, dotados de poleas, de los cuales cada máquina tomaba la potencia mediante correas de cuero. Este sistema era antiestético, peligroso y tenía una importante implicación económica: solamente podían instalarse fábricas relativamente grandes de cualquier rama industrial. Se creaba así una grave desventaja comparativa en contra de la pequeña industria, especialmente en el caso

de fábricas que requerían un uso muy disperso de potencia mecánica motriz, como la industria textil. Como dice Lewis Mumford:

La introducción del motor eléctrico produjo una transformación dentro de la fábrica misma, pues creó flexibilidad en su diseño. No solamente pudieron colocarse las unidades donde se necesitaran, y no solamente diseñarse para la labor particular requerida, sino que la transmisión directa, que incrementó la eficacia del motor, también hizo posible modificar la planta misma de la fábrica según las necesidades. La instalación de motores suprimió las correas que quitaban la luz y disminuían la eficiencia y abrió el camino para la nueva disposición de las máquinas en unidades funcionales sin tener en cuenta los árboles de transmisión y las naves de la fábrica a la manera antigua. Cada unidad podía trabajar según su propia velocidad y arrancar y parar según sus propios requerimientos, sin pérdida de energía para el funcionamiento de la fábrica en conjunto¹.

En los primeros años de los años treinta se generalizó, en las varias cervecerías que ya funcionaban en el país, el uso de la refrigeración mecánica. Este era un invento hecho en 1873 por Karl Linde en Munich, Alemania, que trabajaba mediante la compresión y expansión de amoníaco en ciclo cerrado. Rápidamente los ingenieros colombianos (que eran todos ingenieros civiles) aprendieron los principios y el manejo de estos equipos y los llevaron a otras industrias, como las de alimentos, bebidas y drogas. Era esta otra expresión de la termodinámica aplicada que los ingenieros pusieron en operación en nuestro medio.

El cemento *portland* había sido inventado en 1824 en Inglaterra por Joseph Aspdin. Es probable que en Colombia se hubiera comenzado a utilizarlo para construir puentes y edificios en los últimos años del siglo XIX o en los primeros del XX. El hecho es que, en 1909, la demanda local justificó el montaje de la primera fábrica nacional de este material, seguramente bajo la dirección de ingenieros civiles colombianos. En 1930 se creó la fábrica de cementos Diamante, en Apulo, también con ingenieros colombianos. Es seguro que la intensificación de la construcción de ferrocarriles y carreteras en los años veinte había elevado la demanda y que ya los ingenieros habían aprendido a diseñar mezclas de concreto y a calcular piezas estructurales de concreto reforzado. Este último fue inventado por Monier en 1867 en Francia y, en 1877, ese mismo ingeniero patentó en su país la viga de concreto reforzado con barras de

1 L. Mumford, *Técnica y civilización*, Madrid, Alianza Editorial.

acero. Así, entre nosotros, el uso de concreto trajo aparejado, simultáneamente, el de la varilla de acero para reforzarlo. En 1936 se fundó la primera fábrica de cemento en Antioquia y en 1938, la primera del Valle del Cauca. La capacidad de producción nacional creció de 80 mil toneladas/año en 1929 a 137 mil toneladas/año en 1930 y luego más aún hasta llegar, en 1940, a 188 mil toneladas/año.

El crecimiento en la demanda nacional de cemento acarrió también la demanda de barras de acero. Por eso, a pocos meses de la fundación de Simesa se inició en Medellín la fabricación de acero en barras para construcción, mediante la fusión de chatarra y la refinación del acero crudo en horno de arco eléctrico. Esta primera planta siderúrgica colombiana (como las de cemento en su época) fue concebida y construida por ingenieros colombianos. El conocimiento técnico (*know-how*) para estas empresas lo obtenían los ingenieros nacionales de los proveedores de equipo, viajando a los países extranjeros de donde se traían las máquinas. Desde entonces se aposentó en Colombia la tradición, tácita pero muy fuerte, de que la tecnología industrial se adquiría en el exterior, que no era necesario ni posible someterla a revisión adaptativa y que, en consecuencia, no era necesario ni posible desarrollar tecnologías autóctonas más apropiadas. Este sesgo se inició entre los ingenieros civiles respecto a la tecnología industrial, probablemente por su relativa falta de preparación en esa materia, pero el caso es que se perpetuó entre nosotros y fue adoptado por los ingenieros de todas las especialidades que vinieron posteriormente, inclusive cuando esas especialidades estaban más directamente encaminadas a la industria fabril como la ingeniería química, la mecánica y la industrial.

De todas maneras, entre 1930 y 1940, en un decenio de rápido desarrollo industrial, los ingenieros colombianos (todos ellos ingenieros civiles, casi sin excepción) asimilaron rápida e idóneamente el manejo de una buena variedad de técnicas operativas de fábricas y de procesos industriales. Tal fue el caso de la transferencia de calor (en industrias de alimentos, bebidas y materiales de construcción), el manejo de sólidos, la destilación (en bebidas), la refrigeración (en cervezas y alimentos), el trabajo de metales, la electrotecnia de motores, el armado de estructuras metálicas, el diseño de cimentaciones, las estructuras en ferroconcreto para edificios, el moldeo de metales a presión, las técnicas de vacío, el manejo de aire comprimido, el tratamiento de aguas, la combustión, las calderas, los voltajes medios (6.600 a 13.200 voltios), la hilatura y tejeduría, la cocción, el vapor de alta presión, los mecanismos hidráulicos, el manejo de instrumentos de medición y otros.

CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA EN LOS AÑOS TREINTA

Vale la pena recordar cómo se construían las carreteras en los años treinta para comparar luego con los sistemas actuales. Primero se identificaba la necesidad de la vía, bien fuera por demandas de las regiones que ella uniría o como iniciativa del gobierno (a veces contemplada en el Plan de Carreteras de 1931). Aprobada la idea, el gobierno, nacional o departamental, decidía realizarla por su cuenta y riesgo, casi siempre por administración directa.

En primer lugar se enviaba una comisión de trazado a la región. Guiándose por los caminos existentes, por informaciones de los habitantes de la región, por mapas y por sus propias consideraciones técnicas y prácticas, la comisión escogía una ruta aproximada. Luego, se levantaba la topografía general de la ruta con tránsito, miras y decámetros (lienzas). En estas etapas a veces era necesario recurrir a la observación de estrellas para determinar coordenadas geográficas en los mapas y en las planchas. Luego, se levantaba una línea poligonal para la vía y después se hacía el cálculo detallado del trayecto decidido finalmente. De todo ello se tomaban registros minuciosos en "carteras de topografía". A continuación, la comisión de trazado entregaba el informe con planchas y carteras referentes a una línea preliminar localizada en el terreno a los cuatro, seis o diez meses, según la complejidad y la longitud de su tarea. Finalmente, se tomaba la topografía (con tránsito, lienza y mira), se dibujaba una poligonal definitiva y se trazaban las curvas. Las pendientes máximas permitidas eran del 12% y las curvas más cerradas admitidas eran de 20 m de radio.

Todo el trabajo se hacía desplazándose por los caminos o a campo traviesa, a pie o en cabalgadura, habitando en aldeas, casas campesinas o carpas, midiendo distancias largas y aproximadas con pedómetro, etc. El ingeniero se veía demandado en este trabajo más que todo en sus condiciones de observador, en su habilidad para manejar instrumentos de topografía, un poco en sus condiciones como cartógrafo, en sus conocimientos de geología, en su habilidad como dibujante, en su seguridad para ejecutar operaciones aritméticas rápidas y en su preparación en geometría plana y en trigonometría. Sus herramientas de trabajo eran el nivel Abney, el nivel Locke, el nivel trípode de precisión, el tránsito o teodolito, el mapa, la brújula, la mira vertical, el jalón, los instrumentos de dibujo, la lienza, la escala para planos y, a veces, la calculadora mecánica manual.

Terminado el trazado se iniciaba la construcción. Básicamente, el movimiento de tierras se hacía a mano, con trabajadores dotados de picos, palas y otras pocas herramientas. Se trabajaba casi siempre en una sola dirección, en

un solo frente. Unas pocas volquetas ayudaban a mover tierra y a transportar materiales, equipo y personal. No había motoniveladoras ni palas mecánicas ni retroexcavadoras. Los grandes taludes en media-ladera se hacían con pico y pala. Para excavar "cajones" o gargantas en montañas de roca dura o para destruir grandes rocas se usaba dinamita con mecha y fulminante de fulminato de mercurio, pues aún no se usaba en Colombia el detonador eléctrico. Los "cajones" más profundos que podían excavar se hacían, a lo sumo, de 20 a 25 metros de profundidad y los terraplenes más altos, de 10 a 15 metros. Adelante del frente de construcción iba la localización en la cual el ingeniero y sus ayudantes demarcaban con estacas el terreno por donde se cortaría la "banca" de la carretera. Para ese fin se usaban las carteras de trazado y los planos hechos previamente por la comisión de trazado. Los puentes y pontones hasta 20 metros de luz se construían en concreto reforzado. Los de luz mayor se hacían en estructuras rígidas de acero, pero eran poco frecuentes. A las quebradas angostas no se les hacía puente, sino una "batea" de concreto para vadearlas. Para luces del orden de 50 metros o más se construían puentes colgantes en madera o en acero. En el diseño de puentes, el ingeniero debía acudir a conocimientos de hidráulica, mecánica de suelos, resistencia de materiales, geología, diseño de concreto y mecánica de estructuras. Los puentes y pontones, las bateas, las alcantariillas laterales y otras obras en concreto eran llamadas "obras de arte".

Una vez hecha la banca o explanación de la carretera, se la afirmaba con una capa de roca triturada, según el sistema *Mac Adam*. Finalmente, se esparcía arena y gravilla o triturado fino (recebo) como superficie de rodadura. Nunca se hacían túneles en carreteras por su alto costo y gran dificultad técnica.

ENSEÑANZA EN LOS AÑOS TREINTA

Para apreciar el significado de la ingeniería eléctrica en Europa en 1920, conviene repasar los temas que trataba la *Encyclopédie d'électricité industrielle*, dirigida por André Blondel, en sus 35 volúmenes de 300 a 500 páginas cada uno.

- | | |
|---|---|
| — Principios de electrotecnia | — Métodos generales de estudio de las corrientes alternas |
| — Unidades, medidas y contadores | — Máquinas sincrónicas |
| — Materiales y piezas elementales | — Máquinas de colector (o conmutador) |
| — Pilas y acumuladores | |
| — Dinamos (generadores) y motores de corriente continua | |

- Transformadores estáticos y rotativos
- Construcción y maquinado mecánico de máquinas
- Ensayos de máquinas
- Oscilaciones electromecánicas y regímenes perturbados
- Centrales eléctricas
- Transmisión y distribución
- Aparataje eléctrico
- Conducciones aéreas
- Cables y redes subterráneos
- Peligros y reglamentaciones eléctricas
- Evolución de la electrotecnia
- Tubos de vacío y arcos de mercurio
- Tranvías eléctricos
- Ferrocarriles eléctricos
- Material de tracción eléctrica
- Lámparas eléctricas e iluminación
- Aplicaciones mecánicas de la electricidad
- La electricidad en la marina
- La electricidad en el auto y en la aviación
- Transmisiones telegráficas y telefónicas
- Aparatos e instalaciones telegráficos
- Aparatos e instalaciones telefónicos
- Radiotelegrafia
- Aplicación a las obras públicas

Para la ingeniería mecánica, la gran obra de referencia en 1920 era la *Encyclopédie de mécanique appliquée*, dirigida por Léon Lecornu. Los temas que trataba en 30 volúmenes, de 300 a 600 páginas cada uno, eran los siguientes:

- Principios generales de la mecánica
- Dinámica de sólidos
- Hidráulica experimental
- Generalidades sobre máquinas
- Construcción de máquinas
- Máquinas-herramientas
- Teoría de mecanismos
- Relojería
- Motores hidráulicos
- Calderas y condensadores
- Motores alternativos de vapor
- Turbinas de vapor
- Motores de combustión interna
- Máquinas de frío
- Ventiladores y compresores de aire
- Locomotoras
- Coches y vagones
- Automóviles
- Aerostación (globos)
- Aviación
- Balística interior
- Balística exterior
- Teoría del navío y construcciones navales
- Submarinos y torpedos
- Mecánica agrícola

Para la ingeniería de minas, la gran obra de referencia era la *Encyclopédie minière et métallurgique*, también de 1920, dirigida por Léon Gillet. Estos eran los temas que trataba en 40 volúmenes de 300 a 600 páginas cada uno.

- Yacimientos minerales
- Generalidades sobre explotación de minas
- Minas de hulla
- Minas metálicas
- Preparación mecánica de minerales
- Situación económica de minas
- Metalurgia general
- Combustibles industriales
- Materiales refractarios
- La fundición del hierro metálico
- Aceros y convertidor
- Aceros de horno Martin (eléctricos)
- Aceros eléctricos y de crisol
- Ferroaleaciones y metales especiales
- Aceros ordinarios y especiales
- Cobre, plomo y níquel
- Zinc, estaño, antimonio y mercurio
- Aluminio, magnesio y sodio
- Oro y plata
- Platino
- Radio
- Física metalúrgica
- Química y metalurgia
- Análisis químicos de productos metálicos
- Ensayo de productos metalúrgicos
- Tratamiento térmico de productos minerales
- Uniones y soldaduras
- Depósitos directos e indirectos
- Maleado y laminación
- Trefilación, estirado, calderería, etcétera
- Trabajo en máquinas-herramientas
- La planta de fundición
- Acondicionamiento de equipos mecánicos de fábricas
- Organización técnica de fábricas
- Organización general de fábricas
- Situación económica de la metalurgia

En ingeniería química, casi todo el saber europeo en 1920 estaba en la *Encyclopédie de chimie industrielle*, dirigida por M. C. Matignon, profesor en el Colegio de Francia. Los temas que trataba en sus 50 volúmenes eran:

- Termoquímica en la industria
- Equilibrios químicos en la industria
- Las materias primas de la industria química
- La calefacción y la fuerza en la industria

- La circulación de materiales en la industria
- Filtración en la industria
- Instalación y acondicionamiento de la fábrica
- Trituración y pulverización
- Concentración, evaporación, desecación
- Mezcladores y agitadores
- Acondicionamiento de los laboratorios
- Patentes y marcas
- Acidos minerales
- Bases industriales
- La potasa
- Nitrato de sodio
- Fosfatos
- Electroquímica y electrometalurgia
- Pequeña industria química
- Metales preciosos
- Cales y cementos
- Vidriería
- Cerámica
- Porcelana
- Análisis metalúrgico del hierro
- Los combustibles y su destilación (carbón y petróleo)
- Derivados de los combustibles
- Petróleo
- Materias colorantes
- Pólvoras y explosivos
- Perfumes
- Materias plásticas, textiles artificiales
- Blanqueado, estampado y apresto de textiles
- Materias grasas
- Celulosa y papel
- Química enológica (vinos)
- Cervecería y maltería
- Destilería
- Azúcar e ingenios
- Barnices
- Caucho
- Tenería (curtiduría)
- Resinas
- Fábricas de extractos curtientes
- Conservas alimenticias
- Química coloidal y sus aplicaciones
- Productos farmacéuticos
- Colores
- Aguas residuales
- Abonos
- Industrias frigoríficas
- Higiene industrial

PENSUM DE LA ESCUELA NACIONAL DE MINAS DE MEDELLIN, 1937

Primer año

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

Segundo año

Algebra 3	Geometría descriptiva
Trigonometría esférica y cosmografía	Cálculo diferencial
Física general 3	Física general 4
Química general 3	Química analítica 1
Geometría analítica	Inglés técnico
Dibujo lineal 1	Dibujo lineal 2

Tercer año

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

Cuarto año

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

Quinto año

Caminos y carreteras	Construcción de ferrocarriles
Hidráulica 2	Metalurgia 1
Electricidad 2	Laboratorio de metalurgia
Hidrocarburos 1	Hidrocarburos 2
Explotación de minas 1	Explotación de minas
Concreto armado 1	Concreto armado 2
	Estática gráfica y techos
	Economía política

Sexto año

Explotación de ferrocarriles 1	Explotación de ferrocarriles 2
Puentes	Ingeniería sanitaria
Motores industriales	Maquinaria y talleres
Metalurgia 2	Obras de arte
Economía industrial	Geografía física y minas de Colombia
Beneficio de minerales	Legislación
	Contabilidad industrial
	Dibujo de máquinas

INGENIEROS GRADUADOS POR LA ESCUELA DE MINAS DE MEDELLIN HASTA 1937 Y SUS TESIS DE GRADO

Vale la pena reseñar los nombres de los ingenieros que se graduaron en la Escuela de Minas de Medellín desde 1893 hasta 1937, así como los títulos de sus tesis de grado, las cuales ilustran la variedad de temas que abordaban y que en algunos casos se referían a áreas diferentes, en sentido estricto, de las de la ingeniería civil y de la ingeniería de minas.

	Nombre	Tesis
1893	Carlos Cock, Minas Antonio Alvarez R., Minas Alonso Robledo V., Minas	Geología de El Zancudo Ruedas Pelton Sobre código de minas
1894	Germán Jaramillo V., Minas Sotero Peñuela, Minas	Aluviones de Santa Rosa Bocartes
1908	Alejandro López, Civil y Minas Pedro A. Rodríguez M., Minas Francisco Rodríguez M., Minas Luis F. Osorio, Minas	El túnel de La Quebra El agua en las ciudades Problema de la quebrada La Iguaná. Determinación de la latitud geográfica Texto de mineralogía y geología
1909	Pedro Luis Jiménez, Civil y Minas, y Francisco Patiño, Civil y Minas	Caminos y carreteras de montañas
1910	Alejandro Londoño, Minas	Minas de carbón
1911	Raúl Quevedo A., Minas Roberto Arango V., Minas	Tanques de cianuración Aprovechamiento de caídas de agua
1912	Mariano Ospina Pérez, Minas Roberto Luis Restrepo, Minas Florencio Mejía, Civil	Aluviones del río Porce Explotaciones mineras Resistencia de materiales
1914	Darío Botero Isaza, Minas Juan José Angel, Civil	Cianuración Planta hidroeléctrica en Caldas
1915	Juan Esteban Angel, Minas Luis Alfonso Correa, Minas	
1916	Carlos Gutiérrez Bravo, Minas Jorge Rodas Aristizábal, Minas	Apartado y afinación de metales Monografía de Aguadas
1917	Vicente Posada Gaviria, Civil Joaquín Caicedo Espinosa, Civil Alejandro Botero L., Minas	Práctica de trazado de ferrocarriles Utilización de basuras urbanas Amonedación de oro y plata en Colombia
1918	Alfonso Mejía M., Civil David Arango R., Civil José M. de la Calle, Minas	El obrero y el trabajo en Antioquia Cálculo de puentes colgantes Riqueza forestal
1919	Capitolino Sánchez Zea, Civil José María Bernal, Civil	Edificios para escuelas Salarios y precio de costo

	Nombre	Tesis
1921	Roberto Botero L., Minas	Maderas económicas
1922	Federico Pérez U., Minas Camilo Ospina R., Civil	Canalización del río Cauca Motores de gas pobre
1923	Gabriel Sanín Villa, Minas Luis Gómez R., Civil y Minas Eugenio Montoya O., Civil	Ruedas Pelton Pavimentación de calles
1924	Rafael Betancourt V., Civil Alfonso Sarria, Civil Gabriel Llano, Civil y Minas José María Bravo, Civil José María Giraldo, Civil Juan J. Montoya, Civil Pedro I. Perico García, Civil Antonio Restrepo Alvarez, Civil	Alcantarillas de concreto reforzado Taludes y movimientos de tierra Carbones fósiles de Riosucio Clorinación de aguas Combustibles en locomotoras Trazado de ferrocarriles Curvas de transición Sistemas de alcantarillado
1925	Pío B. Poveda, Civil Emilio Escobar B., Civil Julián de la Cuesta, Civil Carlos Gónima, Civil Francisco A. Vargas, Minas Jaime Botero Londoño, Civil Luis Alfonso Carvajal, Civil y Minas N. Alfaro, Civil Carlos Sevillano, Civil Antonio Muñoz C., Minas Miguel Alvarez U., Minas Nicolás Bernal B., Civil Carlos Drews, Civil y Minas Ricardo Wills Martínez, Minas Jaime Arango V., Civil	Irrigación de las llanuras del Tolima Carretera Fredonia al Cauca Purificación de aguas Ingeniería sanitaria Concentración mecánica de minerales Estudio comparativo de dos vías posibles entre Chiquinquirá y Moniquirá Armadura para techos Carreteras El problema del sur Sostenimiento de ferrocarriles Metalurgia de El Zancudo Costo de producción y utilidades de una industria manufacturera Génesis de los depósitos minerales Aluviones en general Construcción y sostenimiento de caminos y carreteras en Antioquia
1926	J. Mario Restrepo, Civil Antonio Botero L., Civil y Minas Antonio Vega R., Civil y Minas	La estadística en caminos y carreteras Abastecimiento y purificación de aguas en Sonsón Factores que influyen en las vías (Civil) El gas como combustible (Minas)

	Nombre	Tesis
1927	Miguel Arango M., Civil y Minas	Caminos del departamento del Atlántico (Civil) Hidrocarburos en el Atlántico (Minas)
	Manuel Escobar Arango, Civil	Centrales hidroeléctricas
	Abraham Escobar Arango, Civil	Trazado y construcción de túneles
	Efraín Villegas, Civil	Motores diesel
	Julio Echavarría H., Civil y Minas	Posibilidades de una fábrica de cemento
1928	Peregrino Chávez, Civil	Abastecimiento de aguas para Pasto
	Enrique González M., Civil	Pavimentos inferiores de carreteras
	Jorge Ospina P., Minas	Montaje y explotación de minas de aluvión
	Adolfo Pardo Vargas, Civil	Enriellados en relación con la pavimentación de las ciudades
	Ramón Salas T., Civil	Cables aéreos
	Eduardo Duque, Civil	Administración de la energía eléctrica de Medellín
	Sigifredo Gil H., Civil	Estudio de una vía férrea
1929	Guillermo Restrepo U., Civil	Tranvías en Manizales
	José Ramírez John, Civil	Acueducto y alcantarillado de Barrancabermeja
	Ignacio Molina, Civil y Minas	Explosivos y sus usos
	Clodomiro Martínez, Civil	Obras de arte y muros de contención
	Manuel Castillo B., Civil y Minas	Motores térmicos (Civil)
		Carbones y sus yacimientos en Colombia (Minas)
	Jaime Castillo H., Civil	Trabajos de explanación
	Joaquín Ruiseco, Civil	Tarifas de transportes
	José M. Castro M., Civil y Minas	Geología de la Guajira (Minas)
		Agrimensura legal en Colombia (Civil)
	Alberto Villegas, Civil y Minas	Exploración, explotación y usos del platino
	Octavio Restrepo G., Civil y Minas	Estudio sobre el petróleo
1930	Nicolás Torres Rudas, Civil	Alcantarillado de Honda
	Enrique Vélez Ch., Civil	Señales de tráfico
	Ignacio Isaza M., Civil	Administración de ferrocarriles
	Luis Palacio Cock, Civil	La irrigación y sus aplicaciones
	Víctor Camargo, Civil	Sistemas de cementación
	Bernardo Correa M., Civil	Estudio sobre represas
	José Ma. Rondón, Civil	Industrias de sales y salinas de Guaca
	José Manuel Solís, Civil	Líneas de alta tensión
	Justiniano Raigosa, Civil	Cimientos
	Gabriel Tobón C., Minas	Explosivos
	Francisco de P. Mira, Civil	Puentes de concreto reforzado
	Rafael Jaramillo C., Civil	Abastecimiento de aguas

	Nombre	Tesis
1930	Luis Aurelio Díaz, Civil	Pavimentación de calles
1931	Juan P. Díaz A., Civil	Empresa de aserrió
	Manuel Gutiérrez U., Civil	Alumbrado eléctrico
	Luis E. Castrillón, Civil	Vidriería
	José Llorente Cortés, Civil	Principales explosivos para movimientos de tierras
	Jesús Londoño G., Civil	Talleres para ferrocarriles
	José J. Quintero, Civil	Purificación de aguas
	Francisco Sarasti, Civil	Instalación y administración de empresas industriales
	Bernardo Losada C., Civil	Lubricantes y lubricación
	José Caro Lema, Civil y Minas	La tracción a vapor
	Vicente Cabrales, Civil	Fundaciones de puentes y edificios
	Joaquín E. Restrepo, Civil y Minas	Máquinas de extracción
	Horacio Toro O., Civil y Minas	Tanques de concreto
	José Echeverri, Civil	Organización científica del trabajo
1932	Isaac J. Senior, Civil y Minas	Riegos
	Germán Arbeláez, Civil	Descomposición electrolítica del cloruro de sodio
	Antonio Monzón, Civil	Plan vial de Nariño
	Arturo Echavarría, Civil	La industria del ladrillo
	Tiberio Ochoa, Civil	Trazado de carreteras
	Hernando Martínez, Civil	Productos de la cerámica
	José D. Moreno, Civil	Elaboración de hierro y producción de acero por horno eléctrico
	Elías Robledo, Civil y Minas	Materiales de construcción
	Fabio Robledo, Civil y Minas	Materiales de construcción
	Jorge Mondragón, Civil y Minas	Apuntes sobre carbón
	Jesús A. Vélez, Civil	Material rodante (de ferrocarriles)
	Jaime Lalinde, Civil	Urbanismo
	Luis J. Moreno, Civil	Alcantarillado del Socorro
José M. Orrego, Civil	Producción industrial del frío	
1933	Jaime Ocampo, Civil	Electrificación de ferrocarriles
	Lucio Bernal, Civil	Mataderos modernos
	Antonio Durán, Civil y Minas	Análisis petrográfico y químico de las rocas de Antioquia
	Manuel Cuartas, Civil	Cobertura de la quebrada Santa Elena
	J. Plácido Bastidas, Civil	La industria del caucho
	Guillermo Erazo, Civil	Trolleybuses
	Carlos R. Uribe, Civil	Localización de carreteras
	Manuel J. Alvarez, Civil	Carbón pulverizado

	Nombre	Tesis
1933	Andrés Pardo, Civil	Pavimentos de asfaltos
	Julián Posada, Civil y Minas	Microscopio y rocas
	Enrique Isaza W., Civil y Minas	Monografía de San Roque (Civil)
1934	Alfonso López S., Civil	Agregados finos de hormigón
	Luis A. González, Civil y Minas	Purificación de aguas de Pereira
	Ciro Dorado, Civil	Puentes de madera
	Francisco Porras, Civil	Avenamientos agrícolas
1935	Samuel Salazar, Civil	Teléfonos automáticos
	Roberto López, Civil	Frenos de locomotoras y de carros
	Julio Bastidas, Civil	Riqueza mineral de Nariño
	Oziel Carrasquilla, Civil y Minas	Industria de la tenería en Antioquia
	Luis Botero, Civil y Minas	Producción industrial de ácido sulfúrico
	Francisco Porras, Civil	Talleres y proyecto de techo
	Enrique Velásquez, Civil	Proyecto de presa en Piedras Blancas
Peter Santamaría A., Civil y Minas	Texto de electricidad aplicada	
Rafael Lince L., Civil	Análisis y purificación de aguas	
Ramón Mosquera, Civil y Minas	Istmo de San Pablo	
1936	Rafael Uribe U., Civil y Minas	Armaduras de los teatros Junín y Alcázar
	Gerardo Botero A., Civil y Minas	Bosquejo de paleontología colombiana
	Luis Bernal R., Civil y Minas	Estudio sobre carbones de Antioquia
	Juan Berdugo, Civil y Minas	Aguas subterráneas
	Hernán Garcés, Civil y Minas	Productos de la destilación del alquitrán
	José Martínez J., Civil y Minas	Plantas hidroeléctricas
Benjamín Jaramillo, Civil y Minas	Armaduras de los teatros Junín y Alcázar	
Damián Luna Gómez, Civil y Minas	Lecciones de construcciones civiles	
1937	Gilberto Botero, Civil y Minas	Molinos para trituración de minerales
	Victor Tribiño, Civil	Defensa del puerto de Montería
	Silvio Robledo, Civil	Preservación de maderas
	Francisco J. Calle, Civil y Minas	Locomotoras para carbón pulverizado

Fuente: *Anales de la Escuela Nacional de Minas* (Medellín). No. 42, octubre 1937, pp. 27-36.

El examen de estos títulos de tesis permite hacer algunas apreciaciones generales. En primer lugar, los ingenieros civiles y de minas se interesaban en toda clase de temas técnicos, además de los de su profesión específica: geografía, electrotecnia, tecnología industrial, urbanismo, arquitectura, agronomía, geodesia y otros campos. En segundo término, se observa un gran interés por

las innovaciones tecnológicas, que en muchos casos eran estudiadas en estas tesis aun antes de ser realidades en el país: la generación hidroeléctrica, el tratamiento de aguas, los puentes colgantes, los motores diesel, la irrigación, la siderurgia eléctrica, las represas, el taylorismo industrial, los tranvías y trolley-buses, los teléfonos automáticos y la carboquímica se pueden señalar como ejemplos.

Por otra parte, aquellas tesis cubrían todas las ciencias de la ingeniería, como eran en ese tiempo las siguientes:

1. La mecánica, a propósito de turbinas, puentes, estructuras metálicas, cables aéreos, molinos, motores, la tracción a vapor, máquinas, bocartes.
2. La topografía, en tesis sobre trazado y construcción de carreteras, ferrocarriles, caminos, canales, acueductos, alcantarillados, curvas de transición, geografías, geodesia, etcétera.
3. La metalurgia, con referencia a minería de metales, refinación de oro, trabajo de taller.
4. La geología, en las tesis sobre minería, metalogenética, hidrocarburos, paleontología, carbones, mineralogía, rocas, salinas, petrografía, geología económica, monografías geográficas, fabricación de cemento, vidriería (materias primas) y otros.
5. La química, en los trabajos sobre aguas, hidrocarburos, metalurgia del oro, cianuración, clorinación, petróleo, carbones y sus derivados, ácido sulfúrico, aceros, mineralogía, etcétera.
6. La hidráulica, en las tesis sobre irrigaciones, caídas de agua, alcantarillados, cauces de agua, acueductos, centrales hidroeléctricas, represas, aguas subterráneas, puertos, turbinas, canalizaciones y otros temas.
7. La geotécnica, en tesis sobre cimientos, fundiciones, carreteras, caminos, ferrovías, explanaciones, presas, aguas subterráneas, alcantarillados, tranvías, pavimentos, puentes, minas subterráneas, túneles, aluviones, etcétera.
8. La electrotecnia, en las tesis sobre plantas hidroeléctricas, tranvías, electrólisis, líneas de transmisión de alta tensión, electrificación de ferrocarriles.
9. La termodinámica, en las tesis sobre combustión, carbones, hidrocarburos, motores diesel, tracción de vapor, locomotoras, frenos de aire, producción de cemento, vidriería, gas de carbón, explosivos, carbón pulverizado, locomotoras, fuentes salinas.
10. La resistencia de materiales, en las tesis sobre esta misma materia y sobre puentes colgantes, puentes de concreto, edificios, canalizaciones de aguas,

estructuras metálicas, tanques de concreto, materiales de construcción, techos y maderas.

11. La economía, en tesis sobre geografía económica, riqueza forestal, salarios y precios, costos y utilidades industriales, estadísticas en vías, administración de empresas, tarifas de transporte.

Además de los graduados, un gran número de exalumnos de la Escuela de Minas había salido a ejercer la profesión sin obtener el título profesional. Como la Ley 94 de 1937, reglamentaria de la profesión, hizo obligatorio este requisito para trabajar con entidades oficiales, la Escuela organizó un grado colectivo para sus egresados no titulados que se llevó a cabo en 1939.

En 1940 existían en el país únicamente cinco facultades de ingeniería civil, una de ingeniería de minas y una de ingeniería química. Ellas eran las siguientes:

1. Facultad de Matemáticas e Ingeniería, en la Universidad Nacional, en Bogotá (ingeniería civil).
2. Facultad de Ingeniería, en la Universidad Javeriana, en Bogotá (ingeniería civil).
3. Escuela Nacional de Minas, en Medellín, ingeniería civil e ingeniería de minas.
4. Facultad de Ingeniería, en la Universidad del Cauca, en Popayán (ingeniería civil).
5. Facultad de Ingeniería Civil, en la Universidad de Cartagena.
6. Facultad de Ingeniería Química Industrial, en la Universidad Católica Bolivariana, en Medellín.

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 muy diferente a lo que hoy se conoce con ese nombre y nunca se configuró de modo definitivo.

A mediados de los años treinta, comenzaron a aparecer en los periódicos de Bogotá los anuncios de enseñanza por correspondencia de las escuelas internacionales (International Correspondence Schools) de Scranton, Pensilvania, en los Estados Unidos, que ofrecían estudios de ingeniería civil, ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica, entre otras varias carreras, por el sistema de enseñanza por correspondencia. Fueron numerosos los colombianos que por muchos años se acogieron a este método de capacitación profesional, ya fuera debido a su bajo costo o por su capacidad de llegar a todos los rincones del país

con el correo. Así se formaron ingenieros civiles como Olimpo Gallo (descubridor de las minas de hierro de Paz del Río), Milton Puentes (posteriormente parlamentario y escritor), Higinio Aldana y muchos otros. Este sistema de enseñanza operó en nuestro país hasta bien entrados los años sesenta y fue muy benéfico para muchos ingenieros que sólo así pudieron hacerse a su profesión.

En la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional, en Bogotá, se había enseñado la arquitectura como asignatura del pénsum de ingeniería civil desde fines del siglo XIX. Entre 1928 y 1935, el profesor ingeniero Alberto Manrique Martín se esforzó especialmente en hacer progresar esta materia entre sus alumnos. En 1929 se intentó abrir una sección de arquitectura en esa misma facultad, y aunque esa iniciativa no perduró, sí logró producir una promoción de arquitectos, los primeros que se graduaron en Colombia como tales. Este esfuerzo se le debió al ingeniero y profesor Arturo Jaramillo Concha, quien por muchos años fue allí profesor de arte de construir y dibujo arquitectónico.

Pero fue solamente en 1935, al reorganizarse la universidad, cuando el gobierno nacional creó la facultad de arquitectura como dependencia separada de la de ingeniería. Desde entonces, esta carrera se configuró como profesión con características propias. Siete años después, en 1942, se formó la segunda facultad de arquitectura en el país, en la Universidad Católica Bolivariana, en Medellín.

En la Escuela de Minas de Medellín venían dándose desde el comienzo los títulos de ingeniero civil, ingeniero de minas e ingeniero civil y de minas. Hacia 1940 esta situación se modificó, en el sentido de que se creó la carrera de ingeniería de minas y metalurgia y la de geología y petróleos, separando sus programas y sus títulos respectivos de los de ingeniería civil.

LOS FERROCARRILES DESPUES DE LA GRAN CRISIS

Ya hemos visto que hacia 1932 y 1934, los gobiernos de Olaya y López Pumarejo reiniciaron la construcción de varias líneas férreas. Tal fue el caso de las de Cartago-La Virginia, Espinal-Neiva, Tumaco-El Diviso, Villeta-Albán y otras.

Este empeño formaba parte de un deliberado propósito de intensificar el gasto público en obras de infraestructura como forma de generar empleo y reanimar la demanda de la economía, al igual que de integrar los mercados nacionales como estrategia para superar la Gran Crisis.

El esfuerzo constructor se hizo sentir en todas las regiones del país como lo muestran las cifras siguientes:

EXPANSION DE LA RED FERROVIARIA, EN KILOMETROS (1922-1934)

Area	1922	1934	Crecimiento porcentual
Caribe	313 km	486 km	55.27
Antioquia	242	439	81.40
Pacifico	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 km	3.262 km	120.25

Fuente: Rafael Darío Muriel, *Colombia: comercio y transportes, 1850-1929*.

En el lapso de un lustro, 1925-1929, el *stock* de capital en equipo de transporte casi se duplicó:

1925	620 millones de pesos
1929	1.100 millones de pesos

Entre 1925 y 1931 también se duplicó la red ferrocarrilera:

1925	1.500 kilómetros
1931	3.000 kilómetros

En 1934 había 2.983 km de líneas en servicio, a saber:

Antioquia	439 km
Cúcuta	83
Dorada	111
Girardot	132
Pacifico	678
Tolima	199
Ambalema	65
La Sabana	238
Central Norte 1	109

Central Norte 2	256
Nordeste	252
Caldas	117
Nariño	97
Barranquilla	28
Cartagena	105
Santa Marta	189
Otros	164

Ya a fines de los años treinta casi todos los ferrocarriles, excepto dos o tres, eran propiedad del gobierno colombiano o de empresas oficiales y estaban totalmente construidos, mantenidos y operados por ingenieros y obreros colombianos.

El gobierno de Eduardo Santos concluyó, entre las bocas del río Negro y Bucaramanga, la vía iniciada sesenta años atrás desde Puerto Wilches y construyó el empalme de La Virginia a La Pintada para conectar el ferrocarril del Pacífico con el ferrocarril de Antioquia.

FERROCARRIL IBAGUE-ARMENIA

Desde cuando el presidente Murillo Toro imaginó un ferrocarril que fuera del Océano Pacífico al Océano Atlántico, se contempló la posibilidad de trasmontar la cordillera Central entre Ibagué y Armenia. El general Ospina decidió darle vida a esta idea, tanto por medio de un ferrocarril como de una carretera. Fue así como en 1926 inició la construcción de la carretera y además encargó un trazado para el ferrocarril al ingeniero Francisco Rodríguez Moya.

En 1929 se le encargó un nuevo trazado y su construcción a la compañía francesa Régie Générale de Chemins de Fer et Travaux Publics. Al año siguiente, la compañía había explanado 8 km desde Ibagué y 9 km desde Armenia y había trazado otros 30 km en ambas direcciones, cuando estalló la Gran Crisis y fue necesario suspender la obra.

Muchos años después, en 1947, la administración Ospina Pérez volvió a emprender esta vía y reinició los trabajos en ambos extremos. En 1950, cuando ya había 12 km enriellados de Armenia a Salento y 12 km de Ibagué a Cocora, se suspendió definitivamente la construcción de este ferrocarril por recomendación del Banco Mundial y se retiraron los rieles.

FERROCARRIL DEL ATLANTICO

Siendo presidente el ingeniero Mariano Ospina Pérez, en 1947, se iniciaron los estudios para construir un ferrocarril desde La Dorada hasta un puerto del Bajo Magdalena, que en aquel momento se pensó que podría ser Gamarra o El Banco. Se esperaba así resolver los trastornos de la navegación del río, ocasionados por las sequías y por la creciente sedimentación del cauce. Cuando vino al país la primera misión de estudio del Banco Mundial, en 1950, apoyó francamente la idea aunque orientó la construcción de la proyectada línea férrea hasta Santa Marta.

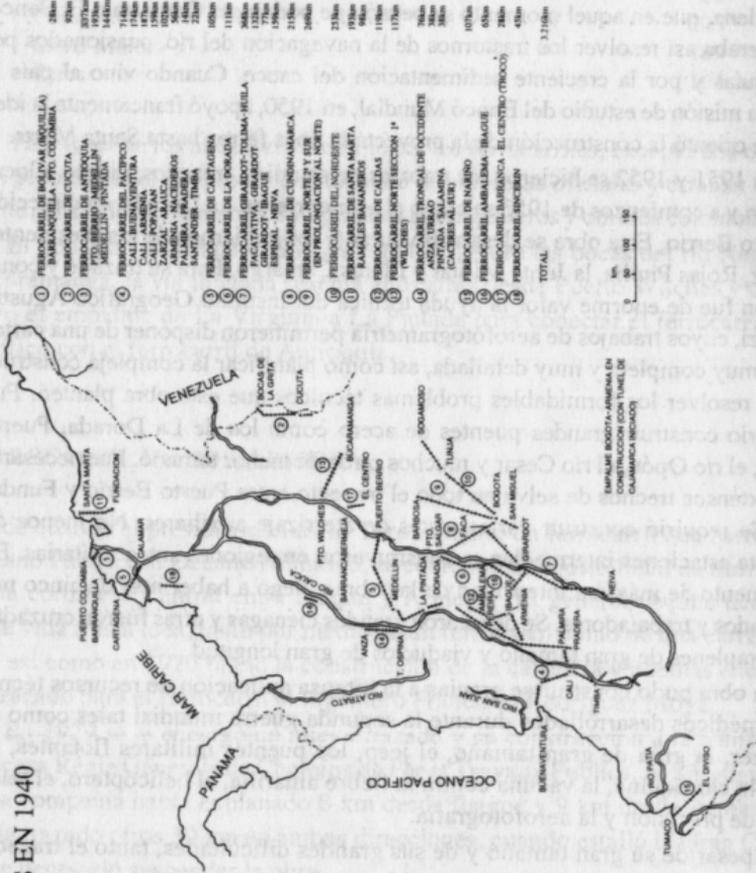
En 1951 y 1952 se hicieron los trabajos de estudios, trazados, diseño y localización y a comienzos de 1953 se clavó el primer riel en La Dorada, en dirección a Puerto Berrío. Esta obra se desarrolló durante los gobiernos de los presidentes Gómez, Rojas Pinilla, la Junta Militar y Lleras Camargo. Para su trazado y construcción fue de enorme valor la ayuda técnica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, cuyos trabajos de aerofotogrametría permitieron disponer de una cartografía muy completa y muy detallada, así como planificar la compleja construcción y resolver los formidables problemas técnicos que esta obra planteó. Fue necesario construir grandes puentes de acero como los de La Dorada, Puerto Berrío, el río Opón, el río Cesar y muchos otros de menor tamaño. Fue necesario talar extensos trechos de selva en todo el trayecto entre Puerto Berrío y Fundación. Se requirió construir varias pistas de aterrizaje auxiliares. No menos de cuarenta estaciones intermedias se construyeron en regiones antes solitarias. En el momento de máxima intensidad de las obras, llegó a haber más de cinco mil empleados y trabajadores. Se desecaron grandes ciénagas y otras fueron cruzadas por terraplenes de gran tamaño y viaductos de gran longitud.

La obra pudo construirse gracias a la intensa aplicación de recursos técnicos y médicos desarrollados durante la segunda guerra mundial tales como el buldózer, la grúa de gran tamaño, el jeep, los puentes militares flotantes, el DDT, la cloroquina, la vacuna contra la fiebre amarilla, el helicóptero, el telémetro de precisión y la aerofotografía.

A pesar de su gran tamaño y de sus grandes dificultades, tanto el trazado como la construcción de este ferrocarril fueron hechos por firmas constructoras e ingenieros colombianos que trabajaron en ella durante más de diez años hasta llevarla a su término.

En los primeros días de 1961 se terminaron los trabajos al llegar al puerto de Santa Marta. Este fue el ferrocarril más extenso, más difícil y más importante que se hubiera construido en el país. Desde entonces ha prestado servicio ininterrumpidamente. Hubo un momento, entre 1960 y 1970, cuando toda la

MAPA 4
FERROCARRILES EN 1940



Fuente: Gustavo Arias de Greiff, *La mula de hierro*. Bogotá, Carlos Valencia Editores, 1986.

red férrea existente estuvo completamente interconectada a través de él y cuando un tren hubiera podido viajar sin trasbordo desde Buenaventura hasta Santa Marta, como lo soñó Murillo Toro, o desde Neiva al Océano Atlántico, como lo imaginó Ospina.

Al terminarse este ferrocarril, la red de ferrovías colombianas llegó a alcanzar la más amplia extensión en kilómetros de carrilera existentes, que fue de 4.172 km.

ALGUNOS EMPRESARIOS FERROVIARIOS

Determinados empresarios que participaron en algunas de las modalidades utilizadas para contratar la construcción de los ferrocarriles tuvieron un papel central, ya fuera autorizados para construir las ferrovías por su cuenta y riesgo (aunque con muchos incentivos) o desempeñándose como contratistas que hacían las obras por encargo directo del gobierno nacional o de los gobiernos de los estados. No se trata aquí de hacer un examen de conjunto de los resultados de esa intervención de empresarios y compañías privadas en la construcción de ferrocarriles. Solamente se quiere mencionar el nombre de algunos pocos que en su momento se desempeñaron como promotores de las líneas férreas y organizadores de su construcción.

El más importante de todos ellos fue, sin duda, el ingeniero cubano Francisco Javier Cisneros, quien hizo sus estudios profesionales en la Universidad de La Habana y se especializó posteriormente en los Estados Unidos. En 1874, Cisneros trabajaba en el Perú cuando fue llamado por el Estado de Antioquia para encargarlo de la construcción del ferrocarril de Puerto Berrío a Medellín, bajo un contrato de concesión firmado en mayo de ese año. Cisneros se comprometió a proyectar, financiar y construir la obra a cambio del privilegio para explotarla por 50 años y de otros varios subsidios, tanto del gobierno de Antioquia como del gobierno nacional. Al año siguiente, ya se había estudiado y trazado un buen trayecto de la línea y se inició el enrielado. Las dificultades que hubo de vencer Cisneros en este trabajo fueron incontables. Pese a éstos, la obra prosiguió hasta 1885 cuando fue imposible que los contratantes oficiales cumplieran sus obligaciones debido a la guerra civil que estalló ese año.

Mediante contratos de concesión para explotar la respectiva obra o como contratista del gobierno para construirla, este ingeniero cubano empezó también los ferrocarriles de Buenaventura a Cali, de Girardot a Bogotá y de Honda a La Dorada, por convenio con el gobierno nacional. Por contrato con la Com-

pañía del Ferrocarril de Bolívar, Cisneros prolongó la línea desde Sabanilla (hoy Puerto Salgar) hasta Puerto Cupino (hoy Puerto Colombia) y dirigió la construcción del muelle marítimo en este último sitio. Aunque los trastornos financieros y militares le impidieron completar sus contratos en Antioquia, Buenaventura y Girardot, Cisneros hizo en ellos eminentes esfuerzos contra las dificultades de todo género que se le oponían. Tuvo, sin embargo, la satisfacción de concluir con éxito los ferrocarriles de La Dorada y Puerto Colombia, así como el muelle ya mencionado.

Cisneros vivió y trabajó arduamente en nuestro país hasta 1898, cuando viajó a los Estados Unidos donde murió al año siguiente. Fue tan grande el efecto de su obra para el desarrollo del país, que don Aníbal Galindo hubo de decir con propiedad: "Todo el alfabeto del progreso nos fue enseñado por él".

El general Ramón Santodomingo Vila había sido un político y militar de nuestras guerras civiles. En 1868, asociado con el señor Ramón Santiago Jiménez, contrató con el Estado de Bolívar la construcción del ferrocarril Barranquilla-Sabanilla. En esta operación, Santodomingo y Jiménez actuaban solamente como intermediarios y financiadores. En realidad, ellos mismos tuvieron que subcontratar el planeamiento y la ejecución del trabajo con una firma de ingenieros alemanes representada en Barranquilla por la empresa Hoenisberg Wessels and Co. Tanto los alemanes como los contratistas intermediarios cumplieron sus compromisos oportunamente. Seguramente fue ese precedente exitoso lo que le permitió al señor Santodomingo recibir en 1884 un contrato del gobierno nacional para construir un ferrocarril del Magdalena Medio a Bucaramanga y de allí hasta Bogotá. La guerra del año siguiente y las controversias técnicas y regionales que suscitó este proyecto obligaron a Santodomingo a pedir la cancelación del contrato.

Don Carlos Tanco se inició como contratista de ferrocarriles en 1886 al ejecutar para el gobierno nacional, con notable éxito y cumplimiento, los últimos tramos del ferrocarril de la Sabana. Con este antecedente, el gobierno nacional le entregó, también por contrato directo, la construcción de un tramo del ferrocarril desde Girardot a Apulo, en el cual sólo pudo avanzar unos pocos kilómetros debido a las indecisiones del mismo gobierno sobre la ruta definitiva que debería seguir la línea para llegar a Bogotá.

En 1893, el señor Tanco contrató con el departamento del Tolima la construcción de la línea entre Girardot e Ibagué, de la cual sólo pudo tender 17 km antes de estallar la guerra civil de los Mil Días. Pero una vez concluida, el contratista siguió adelante la obra hasta 1908 cuando falleció, estando los rieles ya cerca a Chicoral.

El gobierno del presidente Caro le otorgó a Tanco, en 1894, la construcción del primer tramo del ferrocarril del Sur. El empresario pudo hacer pocos progresos debido a las guerras civiles de 1895 y 1899, de manera que hubo de devolver el contrato para dedicarse, en su lugar, a reconstruir y reforzar el puente colgante de madera sobre el río Magdalena en Girardot.

El ingeniero norteamericano Charles S. Brown vino al país en 1874 como representante de la Cauca Valley Mining and Constructing Co. de Peoria, Illinois, compañía que aspiraba a construir el ferrocarril de Buenaventura, pero que por distintas razones no recibió el contrato de dicha obra. Al año siguiente, y actuando ya por su propia cuenta, Brown ofreció a la nación contratar la iniciación del ferrocarril de la Sabana, y aunque el contrato llegó a firmarse, a poco fue rescindido por el Estado de Cundinamarca porque Brown no acreditó su capacidad legal para contratar. Convencido de que Colombia era campo abonado para la rápida extensión de sus ferrocarriles, Brown siguió insistiendo en proponer obras de esta naturaleza. Es así como en 1881, asociado al señor Charles G. Rodgers, firmó con el Estado de Cundinamarca un convenio para construir lo que entonces se denominaba el ferrocarril de Occidente y que consistiría en una línea que por un extremo empalmara con el ferrocarril de la Sabana y por el otro llegara al río Magdalena, frente a Honda. Brown luchó denodadamente por hacer esta obra, importó una locomotora y unos cuantos vagones y logró construir 8 km a través de la selva frente a Honda. Pero carecía de respaldo financiero y pronto se vio sin fondos, de modo que su contrato le fue cancelado.

Casi simultáneamente, Brown y Rodgers negociaban con el Estado de Cundinamarca un contrato para un ferrocarril de Bogotá a Zipaquirá, contrato que fue firmado en 1882 pero que no se cumplió porque el muy escaso capital de los contratistas se estaba invirtiendo en su proyecto de Honda, en el cual trabajó Brown hasta 1885. El último intento como constructor de ferrocarriles lo hizo Brown en 1888 cuando logró que el departamento de Antioquia le asignara el contrato para proseguir el ferrocarril desde la estación de Pavas hacia Medellín. Dispuesto a cumplir su trabajo, Brown nombró al ingeniero Robert Whitekin como ingeniero jefe de la obra y al ingeniero John B. Daugherty (antiguo amigo y colaborador de Cisneros) como vicedirector. Sin embargo, en esta ocasión tampoco pudo Brown cumplir sus compromisos por falta de solvencia financiera. Poco tiempo después murió y fue sepultado cerca de la máquina abandonada y de los mohosos rieles del ferrocarril frente a Honda, que nunca terminó. Dice Fred J. Rippy: "En medio de todas sus dificultades y fracasos a lo largo de 15 años, Brown nunca perdió su fe en Colombia ni su de-

terminación de dominar sus ardientes trópicos ni sus ásperas montañas para hacer los ferrocarriles que tanto soñó".

Más éxito que Brown tuvo el ingeniero y empresario Samuel B. Mac Connic, a quien el gobierno de Caro otorgó (con el interés y apoyo de Núñez) el contrato para construir y entregar a la nación la línea Cartagena-Calamar. Mac Connic emprendió la obra con buenos recursos financieros y obtuvo precios y condiciones para su trabajo que le permitieron hacer grandes ganancias. Además, construyó en Cartagena el muelle de La Machina, en donde la carga de los barcos pasaba directamente al ferrocarril. Durante cinco años, Mac Connic trabajó para cumplir sus compromisos y en 1894 entregó el ferrocarril terminado hasta Calamar. Seguramente por su cumplimiento en esta obra, el gobierno nacional, en el mismo año en que entregaba la de Cartagena, le encargó proseguir la línea de Girardot. Mac Connic trabajó en ella eficazmente por un año, entre la estación de Anserma y Anapoima, hasta cuando los crecientes problemas fiscales y de orden público obligaron a suspenderla.

Entre la multitud de contratos que los gobiernos nacionales y departamentales firmaron con empresarios y compañías privadas, muchos no se cumplieron por dificultades de los mismos gobiernos o de los contratistas, pero en la mayor parte de los casos ello no acarreo graves trastornos al país, a no ser el aplazamiento de las obras. En cambio, algunos de tales contratos fueron altamente lesivos contra los intereses nacionales. Ese fue el caso de la compañía inglesa Punchard, Mc Taggart, Lowther & Co., llamada al país en 1892 por el departamento de Antioquia para que continuara la construcción de su ferrocarril entre Puerto Berrío y Medellín. El representante del departamento de Antioquia firmó con esa empresa en Londres un convenio que ya era injusto e inequitativo contra los intereses colombianos, razón por la cual la Asamblea de Antioquia no lo aprobó. Pero el gobierno del departamento cerró la Asamblea, le entregó a los ingleses la totalidad de las instalaciones, equipos y tierras que ya tenía el ferrocarril y les encimó una fuerte suma en anticipo. La empresa emitió bonos en la Bolsa de Londres, la cual alegaba que el gobierno colombiano (y no ella) debía redimir y pagar los intereses. Entre tanto, no clavó ni siquiera un polín más en la línea férrea. El problema de los bonos condujo a un litigio judicial entre la nación y la compañía inglesa y esta última tuvo la habilidad y el poder para sustraer el litigio a los jueces colombianos y llevarlo a tribunales suizos. El pésimo contrato inicialmente firmado dio pie a que los tribunales suizos condenaran a la nación colombiana a recoger los bonos y a pagar una gruesa *indemnización* a la empresa inglesa.

Al llegar a Colombia, la firma Punchard, Mc Taggart, Lowther & Co. había contratado también la construcción de la línea entre Puerto Wilches y Bucaramanga y en esta vía algo hizo por restaurar los trabajos iniciales empezados desde 1881. El conflicto por lo del ferrocarril de Antioquia ocasionó que la deshonesto firma desconociera también sus obligaciones en la obra del departamento de Santander.

INGENIEROS DE FERROCARRILES

Si se tratara de enumerar a todos los ingenieros extranjeros y colombianos que participaron profesionalmente en la construcción de ferrocarriles, se tendría seguramente una lista de trescientos o cuatrocientos profesionales. Aunque no se puede mencionar a todos ellos, es indispensable nombrar algunos pocos del siglo pasado que se distinguieron por sus realizaciones, por su competencia técnica y por sus calidades profesionales y personales. Muchos otros merecerían aparecer aquí por esas mismas razones, pero la limitación de espacio obliga a mencionar sólo algunos pocos.

Esta lista debería empezar también por el nombre de Francisco Javier Cisneros, quien además de construir cinco ferrocarriles con enormes dificultades, realizó con éxito otros trabajos como el de establecer la navegación en el Alto Magdalena (1882-1883), construir el tranvía de Barranquilla (1888-1890) y proyectar la construcción del muelle de Puerto Colombia (1891-1893).

Juan Nepomuceno González Vásquez (Zipaquirá 1839-Bogotá 1910) inició sus estudios en el Colegio Militar pero los terminó en París, graduado como ingeniero civil en la École Centrale d'Arts et Métiers en 1860. Después de trabajar algunos años en Europa, regresó al país y el gobierno del presidente Salgar lo encargó, junto con Indalecio Liévano, del estudio para una posible vía carretable o de ferrocarril que desde Bogotá llegara más abajo de Honda. En 1874, el gobierno de Murillo Toro le encargó buscar, con otros colegas, una ruta para un posible ferrocarril desde Bogotá hasta el río Magdalena en la región del Carare y el Opón, lo que hizo con gran eficacia. En 1879, contrató con el Estado de Santander la construcción de Cúcuta al río Zulia (1879-1887) y unos años después, el de Cúcuta a la frontera (1893-1897). Ambos fueron realizados por González. En 1883, contrató con la nación la construcción de un presunto ferrocarril que del río Magdalena fuera a Bucaramanga y después a Bogotá, pero esta obra y su contrato no prosperaron. Dos años después hizo para la nación el trazado de un proyecto de ferrocarril desde Tamalameque

hasta Cúcuta. Su última gran obra fue dirigir el trazado y la construcción desde Facatativá hacia el occidente que el gobierno nacional intentó hacer en 1889, pero que hubo de suspenderse.

Ruperto Ferreira (Santa Marta 1845-Bogotá 1912) se graduó en 1870 como ingeniero civil y militar en la Universidad Nacional. Siendo aún estudiante, acompañó al ingeniero Indalecio Liévano en 1868 a estudiar una posible vía férrea o carretable por el Salto de Tequendama hacia Girardot. Ya graduado en 1884, hubo de estudiar nuevamente ese trazado cuando ya el ferrocarril de Girardot estaba en construcción. Entre 1890 y 1892 fue gerente del ferrocarril de la Sabana y entre 1893 y 1894 hizo para el departamento del Tolima los primeros estudios y trazados para llevar el ferrocarril de Girardot a Ibagué. Años después, en 1914 y 1915, él mismo haría el trazado definitivo de Chicoral a Ibagué.

Enrique Morales Ruiz (Bogotá 1851-Bogotá 1920) ingresó al Colegio Militar en 1866, y al ser clausurado, pasó a la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional, en donde se graduó en 1871. Cuando vino en 1872 la misión inglesa encabezada por el ingeniero William Ridley, contratada por el gobierno para determinar una posible ruta para el ferrocarril central del Norte, Enrique Morales fue integrado a la comisión de ingenieros colombianos dirigida por González Vásquez que acompañó a los ingleses. Al constituirse la compañía oficial para iniciar ese ferrocarril, Morales fue designado como ingeniero ayudante para los primeros trabajos. Nuevamente como colaborador de González Vásquez, dirigió entre 1878 y 1887 la construcción del tramo Cúcuta al río Zulia, después de lo cual estuvo un año en la obra del ferrocarril de la Sabana. También fue el ingeniero jefe de la construcción del ferrocarril del Norte, en 1889. Volvió a Cúcuta a trabajar en el ferrocarril al Táchira, entre 1893 y 1895, y de allí pasó a hacer los estudios y la construcción del ferrocarril del Sur hasta Sibaté, a raíz de lo cual dirigió en 1891 un nuevo examen de rutas alternativas por el Salto de Tequendama para el ferrocarril de Girardot. Pasada la guerra de los Mil Días, Morales fue nombrado por el general Reyes como administrador y jefe del ferrocarril del Sur (1906), luego, del ferrocarril de Girardot (1909) y, posteriormente, del ferrocarril de la Sabana (1910). En 1911 hizo para el departamento de Antioquia un estudio sobre posibles alternativas para el paso de La Quebra. Entre 1917 y 1919 volvió como gerente al ferrocarril del Sur, que fue su última actividad como ingeniero de ferrocarriles.

Abelardo Ramos (Fómeque 1852-Papagayeros 1906) estudió y se graduó en la Universidad Nacional. Participó también en la comisión de ingenieros colombianos que acompañaron la misión inglesa de Ridley y que complementaron los resultados de los ingleses sugiriendo otras rutas alternativas. En 1880

comenzó los estudios y trazados del río Magdalena hacia Bucaramanga, cuya construcción dirigió hasta que se suspendió la obra en 1882. Diez años después, reinició el mismo trabajo con el ingeniero Pablo Vanegas y allí permaneció hasta 1894. Dos años después dirigió la construcción de los puentes metálicos para el ferrocarril sobre el río Coello en Chicoral y Luisa en el Guamo. Entre 1904 y 1905, intervino en la construcción del ferrocarril de Buenaventura a Cali, donde le sorprendió la muerte.

Luis Lobo Guerrero (Chocontá 1858-Girardot 1925) se graduó en la Universidad Nacional en 1880. Entre 1883 y 1890 trabajó en el ferrocarril de Cúcuta como ingeniero jefe, como jefe de sección y como administrador. Allí presentó el primer proyecto para extender esa línea hacia Pamplona. Entre 1890 y 1895 trabajó en el ferrocarril del Norte y pasó luego al de Girardot. De 1907 a 1915 trabajó en el ferrocarril de Buenaventura entre el río Dagua y Cali y allá hizo el primer estudio para la extensión Cali-Popayán. Después de otras varias actividades, fue nombrado en 1924 interventor de la construcción del puente ferroviario de Girardot, ciudad en donde falleció.

Rafael Alvarez Salas (Purificación 1859-Nueva York 1920) se graduó en 1879 en la Universidad Nacional. Su actividad ferroviaria la inició en 1890 en el ferrocarril de Girardot, al servicio de una compañía inglesa. Al retirarse ésta, Alvarez continuó la línea al servicio del gobierno, en 1893. Al año siguiente estuvo en Antioquia dirigiendo la construcción de su ferrocarril entre Pavas y Monos. De 1896 a 1900 se desempeñó como superintendente del ferrocarril de Girardot. De 1901 a 1906 dirigió la construcción de Buenaventura a Cali. En 1906 fue jefe del trazado de Palmira a Tuluá al servicio de una compañía inglesa, y al irse ésta, Alvarez fue nombrado por el gobierno como ingeniero jefe de todo el ferrocarril.

Alejo Morales Ruiz (Bogotá 1861-Bogotá 1916) estudió, como los anteriores, en la Universidad Nacional y allí se graduó en 1881. Entre 1893 y 1894 tomó parte en la construcción del tramo de Cúcuta a la frontera, junto con su hermano Enrique, a órdenes de González Vásquez y de Paulo Pinzón. En 1907 dirigió la prolongación del ferrocarril del Norte de Zipaquirá a Nemocón. Fue nombrado ingeniero jefe del ferrocarril de Girardot en 1910 y luego, ingeniero jefe del ferrocarril del Cauca entre Dagua y San José. En 1914 fue nombrado gerente del ferrocarril de Girardot, en cuya dirección continuó hasta poco antes de su muerte.

Rafael Torres Mariño se graduó en la Universidad Nacional en 1892. Participó en la construcción del tramo de Cúcuta al Táchira, de donde se trasladó a Antioquia como ingeniero jefe y posterior superintendente del ferrocarril de ese departamento. Después de la guerra de los Mil Días, dirigió la construcción del ferrocarril del Sur en 1912 desde Chusacá a El Salto. Su último encargo

ferroviario fue como gerente de los ferrocarriles reunidos de la Sabana y Girardot.

Celiano Dussán (Neiva 1871-Cali 1935) se graduó como ingeniero civil en la Universidad de Lausana, en Suiza, en 1892. Su primer trabajo en ferrocarriles consistió en dirigir los primeros estudios de la línea Girardot-Neiva en 1905. Veinte años después, tomó parte en los estudios para buscar una ruta ferroviaria de Facatativá al río Negro y al Magdalena. Posteriormente, dirigió en 1925 la construcción del tramo Guamo-Saldaña en el ferrocarril de Girardot a Neiva, que él mismo había trazado veinte años antes.

Jorge Páez González (Bogotá 1872-Bogotá 1943) se graduó como ingeniero civil en la Universidad Nacional, en 1896. De 1897 a 1900 fue ingeniero ayudante en la construcción de Puerto Berrío a Medellín y allí volvió como superintendente entre 1907 y 1909. Poco después, hizo el estudio y el trazado desde Puerto Caldas (cerca a La Virginia de hoy) a Pereira. De 1914 a 1919 fue superintendente de tráfico del ferrocarril de Girardot, de donde pasó a realizar el trazado y el proyecto de una prolongación del ferrocarril del Sur hasta Fusagasugá. De 1925 a 1928 dirigió los estudios y el trazado del trayecto de Tunja a Sogamoso del ferrocarril del Nordeste. Entre 1930 y 1934 fue el primer administrador general del recién fundado Consejo Administrativo de los Ferrocarriles Nacionales.

Alejandro López (Medellín 1876-Fusagasugá 1940) se graduó en la Escuela Nacional de Minas, en Medellín. Obtuvo el título de ingeniero civil en 1899 con la tesis sobre el túnel de La Quebra, y el título de ingeniero de minas en 1900. Ejerció sus profesiones en la Escuela de Minas y las minas de El Zancudo. Fue profesor de estadística y economía industrial, cátedras que había ayudado a restablecer junto con su compañero de disciplinas, don Jorge Rodríguez L. También enseñó en la misma escuela mineralogía y matemáticas. Pero no sólo estas asignaturas le dieron el puesto de honor que hoy ocupa en la historia de la ingeniería de Antioquia. Es imponderable el afán de Alejandro López por crear conciencia en relación con problemas como la reforma agraria, la tenencia de tierras, la diversificación de la agricultura, el trabajo, la inmigración masiva, etc., y su interés por resolver los problemas colombianos que tanto conocía. Por elección popular, mereció escaño en la Cámara de Representantes, en la Asamblea de Antioquia y en el Concejo de Medellín. Pertenció a varias entidades científicas nacionales y extranjeras.

Además de la tesis ya mencionada, es autor de obras en las cuales defendía ideas avanzadas, como sus *Nociones de cianuración*, en colaboración con Luis F. Osorio, *Problemas colombianos*, *El trabajo*, *Idearium liberal*, *El desarrollo de la usura*, *El henequén y otras plantas fibrosas*, entre otras.

Los conceptos expresados en su tesis "El paso de La Quebra del ferrocarril de Antioquia" fueron considerados por la universidad como fuera de la realidad colombiana. Sólo la oportuna intervención del presidente de la tesis y rector del colegio, Pedro Nel Ospina, logró resolver las dificultades y el túnel de La Quebra se hizo realidad 30 años después. En 1936, fue presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y, en 1937, de la Federación Nacional de Cafeteros. Fue distinguido con la Cruz de Boyacá por el presidente Alfonso López Pumarejo.

Pedro Uribe Gauguin (París 1879-Bogotá 1966) se graduó en 1902 en la Universidad de Lausana, Suiza, y pocos años después vino a Colombia. En 1913, colaboró con Alvarez Salas en la construcción del tramo de Buenaventura a Cali. Tres años después, pasó a dirigir la construcción del tramo de Chirocal a Ibagué, entre 1916 y 1921. Allí fue comisionado para dirigir con Laureano Gómez el estudio y trazado de la vía férrea de Ambalema a Ibagué. En 1922, fue superintendente del recién creado ferrocarril del Nordeste. Posteriormente, se le encargó escoger la ruta definitiva de Facatativá por el río Negro al río Magdalena. En 1927, al servicio de una compañía francesa, dirigió los primeros trabajos de la ferrovía de Ibagué a Armenia, donde estuvo hasta que ésta se suspendió. En 1935, fue nombrado director general de los Ferrocarriles Nacionales y allí sirvió hasta 1938.

Muchos otros nombres merecerían agregarse a los anteriores por su trabajo esforzado y fecundo como proyectistas, constructores y operadores de ferrocarriles. Algunos de ellos serían los primeros ingenieros extranjeros que trajeron estas técnicas a Colombia y otros, los innumerables ingenieros civiles colombianos que rápidamente asimilaron todos los conocimientos profesionales necesarios para esta labor particularmente compleja en un país como Colombia de tan difícil topografía, técnicamente atrasado y financieramente muy pobre.

La labor de estos ingenieros fue, ciertamente, muy empírica y pragmática. Proyectar y construir ferrocarriles no requiere tanto conocimiento científico-teórico cuanto una gran imaginación, mucha destreza técnica, capacidad de trabajo personal, aptitud para dirigir hombres, sentido de la economía y, claro está, una sólida formación profesional en las disciplinas de la ingeniería que ya se mencionaron en este documento. Gracias a haber desplegado todos estos requisitos, los ingenieros de ferrocarriles colombianos lograron enormes hazañas técnicas, difundir las tecnologías conexas en su trabajo, obtener los mayores beneficios posibles de sus obras e inculcar a las nuevas generaciones el interés por elevar su formación técnica. Aquellos ingenieros aclimataron en el país una gran variedad de actividades antes desconocidas y que significaron un

verdadero salto cuántico en el nivel de la tecnología predominante en Colombia. Ellos introdujeron en el país los saberes, las experiencias y las actitudes necesarias para desarrollar el primer gran sector, en la historia de la economía colombiana, que fue altamente intensivo en tecnología y de cuyos avances habrían de beneficiarse posteriormente otros sectores modernizantes en expansión como la construcción de carreteras, las industrias fabriles, la electrificación, las telecomunicaciones y los servicios públicos.

Por esto se puede decir que gran parte de la historia de las ciencias de la ingeniería en Colombia consiste en la historia de los ferrocarriles como expresión directa e insustituible de dichas ciencias, que si bien no fueron desarrolladas en lo fundamental en nuestro país, sí fueron asimiladas y aplicadas en forma acertada, rápida, inteligente y creativa por nuestros ingenieros de ferrocarriles.

Es cierto que los ferrocarriles significan ya muy poco en la vida económica y técnica de nuestra nación. Pero también es cierto que ellos representaron toda una era de transformaciones progresistas para la economía y para la técnica en nuestro medio y que, de no haber sido por ellos, o si ellos se hubieran retrasado más, Colombia estaría aún muy distante del grado de desarrollo que ha logrado hasta el día de hoy.

CUADRO 7
ALGUNOS INGENIEROS FERROCARRILEROS 1850-1940

Nombre	Actividad	Epoca
George Totten	Canal del Dique y ferrocarril de Panamá	1850-1854
John Trautwine	Ferrocarril de Panamá	1850-1854
Francisco Javier Cisneros	Ferrocarriles de Antioquia, Girardot, La Dorada, Barranquilla y Buenaventura	1874-1893
Barton C. Smith	Buenaventura	1872-1878
John B. Daugherty	Ferrocarril de Antioquia. Muelle de Puerto Colombia	1875-1893
Henry F. Ross	Estudios Bogotá-Norte-río Magdalena	1875
	Contrato Ciénaga-Paturía Buga	1876
William Ridley	Estudios Bogotá-Norte-río Magdalena	1875
Frank Geneste	Estudios Bogotá-Norte-río Magdalena	1875

(Continúa página siguiente...)

Nombre	Actividad	Epoca
Denning Thayer	Ferrocarril de Antioquia, puente Piñal	1874-1884
Clímaco Villa	Ferrocarril de Antioquia	1885-1888
Macario Palomino	Dirigió la línea Buenaventura-Cali	1886-1888
Camilo C. Restrepo	Ferrocarril de Antioquia	1890
	Ferrocarril de Amagá	1920
Juan Nepomuceno González V.	Estudios del ferrocarril del Norte, Cúcuta-Zulia, y del ferrocarril Cúcuta-Táchira	1866-1885
William F. Schunk	Ferrocarril panamericano	1891
Rafael Arboleda Mosquera	Ferrocarril de Girardot	1882
Modesto Garcés	Ferrocarril de Girardot	1880-1882
Baltasar Botero Uribe	Ferrocarril de Antioquia	1885
Antony Jones	Ferrocarril de Antioquia	1891
George Odell	Ferrocarril de Girardot	1893
Abelardo Ramos	Ferrocarril de Puerto Wilches	1881-1892
	Ferrocarril de Buenaventura	1905-1906
Pablo Vanegas	Ferrocarril de Puerto Wilches	1888-1892
Manuel H. Peña	Estudios ferrocarril Bogotá-Magdalena	1879
	Ferrocarril de la Sabana	1882
Francisco Mario C.	Ferrocarril de la Sabana	1882
Joaquín B. Barriga	Ferrocarril de la Sabana	1882
Paulo Pinzón	Ferrocarril Facativá-Magdalena	1890
	Ferrocarril Cúcuta-Frontera	1893-1897
Justino Moncó	Ferrocarril Facativá-Magdalena	1890
	Ferrocarril Girardot-Ibagué	1910
Roberto Bunch	Ferrocarril Facativá-Magdalena	1890
Gabriel Angel Uribe	Ferrocarril Facativá-Magdalena	1890
Enrique Morales	Ferrocarril del Norte	1889
	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
	Ferrocarril del Sur	1905
Luis Lobo Guerrero	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
	Ferrocarril de Buenaventura	1906-1915
Rafael Torres Mario	Ferrocarril Cúcuta-Frontera	1893-1897
	Ferrocarril de Antioquia	1895
	Ferrocarril del Sur (Chusacá-Salto)	1913
Bernardo Casas	Ferrocarril del Sur (Chusacá-El Salto)	1913
	Ferrocarril de Antioquia	1895
Fabriciano Botero	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
Alejandro González T.	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
Manuel Serrano	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
Segundo Gutiérrez	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
David Castro	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
Pompilio Beltrán	Ferrocarril Cúcuta-Táchira	1893-1897
Alejo Morales	Ferrocarril Cúcuta, Girardot, Cauca, Sur	1893-1915
Luis Arcila Vanegas	Trazado Cali-Popayán	1910
Martín Lleras	Ferrocarril del Sur	1913
Pedro Uribe Gauguin	Ferrocarril Girardot-Ibagué	1916
	Ambalema-Ibagué	1921

(Continúa página siguiente...)

Nombre	Actividad	Epoca
Rafael Alvarez Salas	Ferrocarril Buenaventura-Cali	1908-1912
F. F. Whitekin	Ferrocarril de Antioquia	1897
Tomás Arturo Acevedo	Ferrocarril de Antioquia	1897
Alejandro López	Ferrocarril de Antioquia	1897
Luciano Battle	Ferrocarril de Antioquia	1897
Jorge Páez	Ferrocarril de Antioquia	1897
	Ferrocarril de Caldas	1913
	Estudios Chusacá-Fusagasugá	1920
Juan de Dios Vásquez	Ferrocarril de Antioquia	1897
Luis A. Isaza	Ferrocarril de Antioquia	1897
Pablo E. Pérez	Ferrocarril de Antioquia	1897
José Domingo Paz	Anapoima-Facatativá	1906
Justino Garavito	Ferrocarril del Norte	1927
Pedro De Francisco	Ferrocarril de Puerto Wilches	1910
Julián Uribe Uribe	Ferrocarril del Pacífico	1910-1920
Felipe Zapata	Ferrocarril de Caldas	1919
Gabriel Garcés	Muelle de Buenaventura	1920-1922
Jorge Triana	Ferrocarril de Cundinamarca	1921
Mariano Rengifo	Ferrocarril de Cundinamarca	1890-1921
Carlos Almanzar	Ferrocarril de Cundinamarca	1921
Ruperto Ferreira	Ferrocarril de Girardot	1884
	Ferrocarril de la Sabana	1890
Carlos Cock	Ferrocarril de Antioquia	1909
	Ferrocarril Ambalema-Ibagué	1927
Germán Uribe Hoyos	Ferrocarril del Pacífico	1920
	Estudios Tumaco-Pasto	1923
Alberto Dupuy	Estudio Chusacá-Fusagasugá	1920
Juan de la Cruz Posada	Ferrocarril de Antioquia	1910-1913
Jorge Alvarez Lleras	Ferrocarril de Antioquia	1911
Marco Tulio Gómez	Proyecto Pasto-Popayán-Cali	1920
Enrique Bustamante	Ferrocarril de Cundinamarca	1921
Daniel E. Wright	Estudios Tumaco-Pasto	1922
Manuel Ma. de la Espriella	Estudios Tumaco-Pasto	1925
Florencio Mejía	Ferrocarril de Nariño	1926
Gabriel Agudelo	Ferrocarril de Nariño	1928
Pablo Lucio	Facatativá-La Tribuna	1925
	Trazado Ibagué-Armenia	1914
Aquilino Aparicio	Trazado Ibagué-Armenia	1914
Julian Villaveces	Ferrocarril Espinal-Neiva	1920-1935
Celiano Dussán	Ferrocarril Espinal-Neiva	1924
Abel Vargas	Ferrocarril Espinal-Neiva	1920
Jorge Quñones	Ferrocarril Espinal-Neiva	1920
Manuel Escallón	Ferrocarril Espinal-Neiva	1920
Laureano Gómez	Ambalema-Ibagué	1921
Carlos Arteaga	Ambalema-Ibagué	1921
Jesús Matallana	Ambalema-Ibagué	1921
Eugenio Ortega Díaz	Zarzal-Armenia	1925
	Armenia-Cordillera	1918
Francisco Rodríguez Moya	Trazado Ibagué-Armenia	1924
Pío B. Poveda	Villavieja-Neiva	1935
Neftalí Sierra	Construyó Chipchape	1930-1931

LA PRIMERA ACERIA NACIONAL

Cuando la ferrería de Amagá dejó de producir hierro en 1931, la industria metalmeccánica quedó reducida a las pocas fábricas de manufacturas que ya se habían establecido, a los talleres de ferrocarriles, a varias fundiciones y a algunos pequeños talleres para reparaciones en 3 ó 4 ciudades mayores. Cabe mencionar que fue en estos establecimientos donde comenzó a usarse, a mediados o a fines de los años treinta, el procedimiento de soldadura al arco eléctrico que hoy es de uso universal.

En el decidido proceso de industrialización que se dio en los años treinta, una vez superada la Gran Crisis financiera, se hizo notorio el interés por establecer nuevas empresas metalmeccánicas así como de otros varios tipos. En esta forma surgió en 1935 en Copacabana (Antioquia) la primera fábrica de artículos en lámina de aluminio que hubo en el país (Imusa). En ella se empleaban, por primera vez, las técnicas de repujado y troquelado de aluminio en discos y láminas. En 1925, los hermanos Jaramillo Rodríguez fundaron en Bogotá la empresa Talleres Centrales, una de las primeras que trabajó en el campo de la carpintería metálica pesada, empleando para ello máquinas que hasta entonces no se habían conocido en el país como las dobladoras y las roladoras para lámina de acero.

Pero la producción siderúrgica propiamente dicha había desaparecido con el alto horno de Amagá. En 1938, como resultado de los estudios y la iniciativa técnica del ingeniero Julián Cock y del espíritu empresarial del señor Jesús Mora, inició su producción en esa ciudad la empresa Siderúrgica de Medellín, primera fábrica de acero en el país. Ella retomó el hilo de la industria siderúrgica, pero ya con los productos y los procesos del siglo XX, para fabricar acero y no hierro. La empresa instaló, por primera vez en Colombia, un pequeño horno eléctrico trifásico para producir acero, un horno de carbón para recalentar lingotes, un pequeño tren de laminación para palanquilla y un laminador para elaborar barras redondas para refuerzo de concreto. Su capacidad inicial era de unas 1.000 ó 1.500 toneladas anuales de acero. Consumía chatarra de hierro y acero y electricidad. El *know-how* fue suministrado inicialmente por técnicos de las empresas extranjeras que fabricaron los equipos para la planta y fue asimilado pronto por los operarios, los supervisores y los ingenieros colombianos que, desde el principio, asumieron el manejo técnico de la empresa.

Con esta primera fábrica de acero, aún de tipo semiintegrado, el país entraba en una nueva forma de industrialización y de desarrollo siderúrgico, mucho más avanzada de lo que significaron las ferrerías en el siglo pasado. Esta importante innovación industrial y técnica fue el resultado de numerosas circuns-

tancias favorables que se conjugaron para producirla, entre las cuales se destacaron las siguientes:

1. El surgimiento de una importante demanda local de barras y varillas de acero para refuerzo de concreto, determinada por el auge de la construcción de edificios y de obras públicas en Antioquia en los años veinte y treinta.
2. La disponibilidad abundante y barata de energía eléctrica en Medellín desde cuando se inauguró, en 1932, la primera central hidroeléctrica de Guadalupe.
3. La aparición de un mercado local de chatarra de hierro y de acero originada en las industrias que ya se habían establecido desde principios de siglo, en los ferrocarriles y en los vehículos automotores.
4. La fuerte ventaja comparativa de la producción local ante la producción importada debido al alto peso del acero y a los altos fletes consiguientes.
5. La ventaja económica de ser, en ese momento, la primera y única fábrica del producto dentro del país.
6. Las políticas de protección y estímulo para el desarrollo industrial que caracterizaron a los gobiernos de los años treinta.
7. La capacidad y el vigor de la iniciativa empresarial privada en Antioquia, en esa época.
8. El tesón y el esfuerzo técnico del ingeniero Julián Cock, graduado con una tesis sobre fábricas siderúrgicas, y que con muchos problemas se empeñó en convertirla en realidad hasta crear esta nueva fábrica.
9. La disponibilidad de mano de obra calificada y semicalificada en los oficios de esta industria, formada en la escuela vocacional de los salesianos en Medellín y en los talleres del ferrocarril en la vecina población de Bello.

La Siderúrgica de Medellín fue la única en el país que produjo acero y, como tal, trabajó sola durante casi diez años hasta cuando se fundó en 1948 la empresa Siderúrgica del Muña, cerca a Bogotá.

Desde cuando se fundó la empresa de Medellín, la industria siderúrgica comenzó a ser un nuevo campo de trabajo para los ingenieros formados en las escuelas y universidades del país, quienes, aunque en realidad graduados como ingenieros civiles, demostraron una notable aptitud para desplegar y manejar los conocimientos y las técnicas que requería la nueva industria.

Los conocimientos y las técnicas de ingeniería, expresados en una terminología contemporánea, que requerían (y requieren) el manejo de una acería semiintegrada son los siguientes:

1. Mecánica de cuerpos rígidos: momento lineal, momento de inercia, rotación, energía cinética, energía potencial, rozamiento, potencia mecánica, resistencia de materiales, mecanismos y diseño de máquinas.
2. Termotecnia: termometría, pirómetros, gradientes térmicos, calor específico, calores de combustión, fusión, calor latente, conducción de calor y radiación.
3. Mecánica de gases: caudales de gases, presión y temperatura, conductos, energía e impulso, sopladores y ventiladores, compresores, enfriamiento y calentamiento de gases, intercambios de calor, convección, tiro térmico diferencial y chimeneas.
4. Metalurgia ferrosa: hierro, carbono y acero, fósforo, azufre, silicio y manganeso en el hierro, diagrama de fases, estructuras cristalinas de hierro, propiedades mecánicas del hierro y del acero, arrabio y hierro gris, hierro maleable o forjado, cementación, aceros corrientes, laminación, forjado, trafilación, fundición, soldadura y escorias del hierro.
5. Electrotecnia: energía y potencia eléctrica, circuitos monofásicos y trifásicos, transformadores, arco eléctrico, motores eléctricos y caldeo por inducción.
6. Materiales refractarios: arcillas, cuarzo y otros minerales refractarios, refractarios ácidos y básicos y aislamiento térmico de hornos.

LA METALURGIA EN LA ESCUELA DE MINAS EN LOS AÑOS TREINTA

Fue en los años treinta cuando los ingenieros profesionales "de escuela" comenzaron a vincularse como técnicos a la naciente industria metalúrgica y metalmeccánica en número apreciable. En el siglo pasado, en las ferrerías, los puestos técnicos habían sido desempeñados, como ya se dijo, por expertos más o menos empíricos, ingleses, franceses y norteamericanos. En las fundiciones que subsistieron los puestos habían sido desempeñados por técnicos-empresarios inmigrantes o nacionales, que las instalaban y las operaban porque conocían el oficio a través de la práctica.

Al margen de la actividad industrial, la tradición minera de Antioquia había inspirado en la Escuela de Minas de Medellín un decidido interés por la metalurgia y sus ciencias afines. Ciertamente este interés se dirigía de preferencia hacia los metales nobles y sus técnicas de explotación y beneficio; sin embargo, forzosamente tocaba también con dicha ciencia en sí misma y con sus aplicaciones en otras actividades industriales. En cambio, ni en la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá ni en la facultad de ingeniería de la Universidad del Cauca en Popayán se dedicaba mayor interés a estas disciplinas, porque tales institutos hacían mucho más énfasis en las ciencias teóricas básicas de la ingeniería (especialmente en matemáticas) y en los aspectos de la profesión referentes a la construcción de vías (cartografía, suelos, resistencia de materiales, diseño de vías).

Una buena muestra del interés que se daba en la Escuela de Minas de Medellín a este campo está constituida por las tesis de grado que se indican a continuación, señalando el año, el autor y el tema. Estas tesis fueron presentadas y aprobadas en ese instituto antes de 1939:

Año	Autor	Tema
1894	Sotero Peñuela	Bocartes
1914	Dario Botero Isaza	Cianuración
1916	Carlos Gutiérrez Bravo	Apartado y afinación de metales
1917	Alejandro Botero L.	Amonedación de oro y plata
1925	Francisco A. Vargas	Concentración mecánica de minerales
1925	Miguel Alvarez U.	Metalurgia de El Zancudo
1930	Víctor Camargo	Sistemas de cementación
1931	Jesús Londoño	Talleres para ferrocarriles
1932	José D. Moreno	Elaboración de hierro y producción de acero por horno eléctrico
1933	Julián Posada	Microscopio y rocas
1934	Roberto López	Frenos de locomotoras y de carros
1937	Gilberto Botero	Molinos para trituración de minerales

La preponderancia de los estudios metalúrgicos y mineros en la Escuela de Minas tuvo una clara expresión cuando esa institución suspendió en 1939 el título de ingeniero civil y de minas que antes concedía conjuntamente, separó la Escuela de Ingeniería Civil y creó la Escuela de Minas y Metalurgia, así como la de Geología y Petróleos.

LOS AÑOS CUARENTA

Al comenzar el nuevo decenio en 1940, el plantel industrial, siderúrgico y metalmeccánico estaba constituido por los siguientes integrantes:

1. La recién fundada empresa Siderúrgica de Medellín que fabricaba acero en barras.
2. Numerosas fundiciones de hierro que operaban en varias ciudades del país con cubilotes o con hornos de crisol.
3. Algunas pequeñas coquerías con hornos de colmena, sin recuperación de subproductos, que producían coque para las fundiciones.
4. Varios talleres que fabricaban máquinas agrícolas, como Apolo en Medellín, Penagos en Bucaramanga, Vigig en Armenia y otros.
5. Algunas fábricas pequeñas de muebles metálicos, como Elospina en Medellín e Industrias Metálicas en Palmira.
6. Los grandes talleres de los ferrocarriles nacionales y departamentales de Facatativá, Girardot, Chipichape, Bello, Manizales, Cúcuta y Barranquilla.
7. Numerosos talleres de metalistería en las ciudades principales, dedicados a la reparación de vehículos y de máquinas agrícolas e industriales.
8. Varios pequeños astilleros fluviales en Barranquilla.

Fue en algunos de estos establecimientos donde se implantó por primera vez en el país, a comienzos de los años cuarenta, el uso de la galvanoplastia electrolítica como tratamiento para el acabado de superficies metálicas.

Un paso de gran importancia para la futura industrialización del país lo dieron el gobierno del presidente Santos y su ministro de Hacienda, doctor Carlos Lleras Restrepo, en 1940, cuando se fundó el Instituto de Fomento Industrial, IFI, el cual ha tenido, desde entonces y hasta nuestros días, una gran influencia estimulante en el desarrollo, el avance y la diversificación de las industrias siderúrgicas y metalmeccánicas de todo el país, así como de muchas otras ramas fabriles. Con el paso de los años, el IFI se convertiría en un activo promotor y financiador de empresas siderúrgicas y metalmeccánicas que hoy son parte importante del inventario industrial con que cuenta el país.

En el año de 1942 comenzó sus operaciones la Siderúrgica Corradine, instalada por los hermanos de origen inglés que llevan este nombre, cerca a la población de Subachoque, no lejos de donde había estado, 40 años atrás, la ferrería de La Pradera. La nueva empresa (que aún existe hoy) se asemejaba en mucho a las antiguas ferrerías, aunque con una técnica bastante mejorada, y

procesaba el mineral de hierro con coque y caliza para producir hierro fundido con el cual fabricaba (y fabrica aún) numerosos artículos para acueductos, repuestos para máquinas y de otras clases. Esta empresa ha operado desde que nació un pequeño alto horno que ha sido ampliado y reconstruido en varias ocasiones, dispone de sus propios hornos de colmena para fabricar el coque y de instalaciones de moldeo y de colada para vaciar el hierro fundido. Su capacidad, inicialmente de unas 1.000 toneladas por año, hoy es tal vez de unas 3.000 toneladas por año. Los procesos que utiliza son, en esencia, los mismos que empleaban las ferrerías en el siglo XIX pero más refinados en sus técnicas y en sus instrumentos de trabajo. Esos procesos incluyen la coquización de la hulla, la reducción del mineral de hierro en el alto horno para obtener arrabio, la refinación del arrabio y su refundición para obtener artículos de hierro fundido. La tecnología inicial fue aportada por sus fundadores y con el paso de los años ha sido perfeccionada y modernizada por sus descendientes que se han capacitado para hacerlo y por los ingenieros que han pasado por la empresa.

La segunda acería que se estableció en el país fue la Empresa Siderúrgica del Muña, en 1948. Instaló un pequeño horno eléctrico y un tren de laminación al sur de Bogotá para producir varillas de acero y también para fundir hierro y hacer piezas vaciadas de metal fundido. Esta empresa, que aún existe, ha seguido siendo una de las principales siderúrgicas semiintegradas gracias a las condiciones de desarrollo que ha habido para esta industria y a la capacidad técnica de los ingenieros que la han manejado.

NUEVAS HERRAMIENTAS DE LA INGENIERIA EN LOS AÑOS TREINTA Y CUARENTA

El cemento y el concreto deben mencionarse como los recursos de construcción más importantes que se generalizaron en los años treinta. El contenido de la revista *Anales de Ingeniería* comprueba que después de 1930 los artículos sobre ferrocarriles y canales empiezan a ser menos frecuentes, mientras que aparecen y se hacen más y más abundantes los temas de la hidráulica y del concreto reforzado. Este último tema cobraba importancia cuanto más se intensificaba la industria de la construcción de edificios, puentes, pavimentos y otras obras públicas en Colombia. Poco después de 1940 se creó en la facultad de la Universidad Nacional el primer laboratorio de ensayo de materiales que hubo en el país y comenzó a enseñarse la teoría y la práctica del diseño del concreto reforzado.

Como herramientas de trabajo, la más útil que se incorporó a las de la ingeniería en esos años fue la calculadora mecánica manual, conocida en algunas empresas industriales y comerciales desde fines de los años veinte.

A finales de los años treinta, el ingeniero Luis Uribe Piedrahíta trazó y construyó el primer cable aéreo para uso industrial, el de La Siberia, para transportar roca caliza de la mina a la fábrica de Cementos Samper, en Bogotá. El mismo ingeniero, como socio de la firma constructora Uribe, García Alvarez y Cía., Urigar, construyó en los primeros años de la década de los años cuarenta el primer sistema de acondicionamiento de aire para un edificio y la primera escalera mecánica que se instalaron en el país.

Hacia 1940 comenzó a usarse el taladro neumático de operación manual para perforar suelos y rocas que aceleró notablemente todo trabajo de perforación. Por esos mismos años, se introdujeron las primeras grúas autopropulsadas como auxiliares para la construcción de edificios. Estas máquinas venían accionadas por motores diesel, los cuales comenzaban a aparecer en algunos camiones de transporte pesado como los que recorrían la carretera Ibagué-Armenia, administrada por los Ferrocarriles Nacionales.

NUEVAS INDUSTRIAS EN LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

El país salía con paso firme de la Gran Crisis cuando estalló, en 1939, la segunda guerra mundial. Había en ese momento una gran actividad en la construcción de carreteras, redes eléctricas urbanas, edificios, telégrafos y acueductos, que mantenían plenamente ocupados a los seiscientos u ochocientos ingenieros civiles y de minas colombianos que había en ese momento. Ya existían cuatro facultades de ingeniería civil: la de la Universidad Nacional en Bogotá, la Escuela de Minas en Medellín, la de la Universidad del Cauca en Popayán y la de la Universidad de Cartagena, con notoria preponderancia de las dos primeras. Pero no se enseñaba ninguna otra ingeniería y por eso, prácticamente, no había ingenieros electricistas ni mecánicos ni químicos ni industriales, fuera de un puñado que había estudiado en el exterior.

La época de la guerra mundial mantuvo la actividad constructora de carreteras, puentes, edificios y otras obras públicas. Esta fue una de las pocas épocas del país en que la demanda de servicios y conocimientos de ingeniería equilibró la oferta existente, lo cual ha sido poco frecuente en nuestra historia. Desde el siglo pasado hasta hoy, lo más frecuente ha sido que la economía nacional no

ocupe suficiente y adecuadamente a la totalidad de los ingenieros existentes, sino sólo a una parte de ellos.

La guerra mundial propició un nuevo impulso a la industrialización del país. Ya existía una importante red fabril en Colombia constituida por textiles, cervecerías, ingenios azucareros, fundiciones, curtimbres, molinos harineros, fábricas de grasas, imprentas, cementos, locería, vidriería, siderúrgica, metalmecánica liviana, refinería en Barrancabermeja, licoreras departamentales, camiserías y otras. El sector industrial ya ofrecía importantes oportunidades de empleo con mejores salarios a los ingenieros. Así ocurría en las cervecerías, los ingenios azucareros, siderurgia, cementos, vidriería y en textiles, ramas en las cuales los requisitos de tecnología eran más altos y el mayor tamaño de las empresas exigía (y permitía) vincular ingenieros para operarlas. Nuevas tecnologías aparecían con nuevas empresas y nuevos productos.

En 1939 se comenzó a trabajar en Medellín el repujado y troquelado de aluminio en lámina y discos para elaborar artículos de ese metal para uso doméstico. En 1940 se inició la fabricación de rayón viscosa en Barranquilla y Medellín, producto inventado en Francia en 1884 por el químico Henri de Chardonnet e industrializado en los Estados Unidos desde 1892 por Cross, Bevan y Beadle.

También en 1940 se inició una rápida expansión de la capacidad productiva textil. Ingenieros civiles colombianos en esa industria vieron la necesidad de equiparla con telares automáticos para remplazar y complementar el viejo parque de telares mecánicos. El telar automático, inventado en 1895 en los Estados Unidos por Northrop, era en Colombia una verdadera e importante innovación tecnológica cuando se trajeron los primeros.

Otra innovación fue la instalación en Medellín de la primera planta perdurable para ácido sulfúrico, pues durante el siglo pasado se intentó hacerlo unas tres veces, sin éxito, en Bogotá y Medellín. Además, en esta ocasión se adoptó el método llamado "de contacto", descubierto en laboratorio desde 1831 por la Philips en Inglaterra y aplicado industrialmente desde 1876 en Silvertown en dicho país.

En 1942, se aplicó por primera vez en Bogotá la evaporación al vacío para preparar leche en polvo, con ayuda de técnicos extranjeros. Simultáneamente, se comenzaba a producir cloro por electrólisis en Bogotá y se iniciaba la hilatura de hilazas de lana en Medellín.

Consciente de la importancia que estaba adquiriendo y que habría de tener en el futuro la industria en el país, el gobierno creó en 1940 el Instituto de Fomento Industrial, IFI, que ha sido desde entonces un semillero de empresas industriales importantes e innovadoras que han abierto multitud de oportunidades de trabajo y grandes desafíos técnicos a ingenieros colombianos de todas las especialidades.

■ Todos estos desarrollos industriales condujeron a la creación de las primeras escuelas de ingeniería distintas de la civil y de la de minas, tales como las escuelas de ingeniería química en la Universidad Bolivariana en 1938, la de la Universidad del Atlántico en 1941 y la de la Universidad de Antioquia en 1943.

■ Las escuelas de la nueva ingeniería estructuraban sus pênsumes alrededor de las matemáticas, la física y la química como ciencias básicas, de materias técnicas como mecánica, electricidad y termodinámica y de materias específicas de la nueva carrera como análisis químico, tecnología de operaciones, metalurgia, procesos químicos industriales y diseño de plantas. En las primeras épocas, los pênsumes incluían otras asignaturas que trataban de adherirse a la concepción tradicional de la ingeniería como equivalente de la ingeniería civil. Pero después de algunos años de docencia y de ejercicio de sus primeros graduados, la profesión de ingeniero químico adquirió un perfil propio y se incorporó definitivamente al acervo cultural y tecnológico del país, como lo harían posteriormente otras nuevas especialidades que surgirían después. Además de las ciencias básicas (matemática, química y física), la enseñanza de la ingeniería química comparte con la de la ingeniería civil otras áreas científicas comunes a varias ramas de la ingeniería: la mecánica, la resistencia de materiales, la hidráulica, la teoría del calor, la termodinámica, la metalurgia y la electrotecnia, que pueden ser consideradas como las ciencias de la ingeniería por antonomasia.

Entre 1930 y 1940 se construyeron casi 10.000 kilómetros de carreteras nacionales y departamentales. El número de automóviles y de camiones en circulación había crecido a lo largo de todos esos años, y en los primeros años de la década de 1940 vinieron los primeros vehículos de motor diesel. La red de carreteras nacionales alcanzaba en 1945 unos 10.000 kilómetros, mientras las departamentales y otras sumaban una longitud similar. Por todo ello, la demanda nacional de llantas y neumáticos de caucho había aumentado rápidamente. En 1839 Goodyear había inventado la vulcanización en caliente del caucho en Estados Unidos, y en 1888 Dunlop inventó la llanta neumática en Inglaterra. En 1944 se inició en nuestro país la fabricación de llantas neumáticas, como otra manifestación de industrias nuevas.

AVANCES EN TELECOMUNICACIONES

Después que el gobierno nacionalizó las radiocomunicaciones (Ley 6a. de 1943) y fundó la Empresa Nacional de Radiocomunicaciones en 1945, ésta amplió sus servicios a otras numerosas poblaciones del país. En 1950 absorbió

también el servicio de teléfonos de larga distancia y se transformó en la Empresa Nacional de Telecomunicaciones, Telecom. En el mismo año se estableció el radioenlace de VHF 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 un campo de trabajo que iría a generar una demanda de ingenieros electrónicos en el país.

Capítulo 7

LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX

NUEVAS INDUSTRIAS Y NUEVOS PROCESOS METALURGICOS

Al comenzar la segunda mitad del siglo XX había un buen grupo de empresas siderúrgicas y metalmecánicas en donde trabajaban numerosos ingenieros civiles, que, aprendiendo en el oficio, se habían adaptado para desempeñar idóneamente las tareas metalúrgicas propias de estas empresas.

El plantel industrial incluía un buen número de fábricas de tamaño considerable: Siderúrgica de Medellín, Siderúrgica del Muña, Siderúrgica Corradine, unas treinta o más fundiciones de hierro, Talleres Centrales, Taller Apolo, los talleres de los ferrocarriles, Penagos Hermanos, Famagrín, Industrias Metálicas de Palmira, Elospina, Talleres Delta, Taller de Occidente, Imusa y otras menores. Como productoras de acero, la capacidad de producción de la Siderúrgica de Medellín era de 3.000 a 4.000 toneladas por año y la de la Siderúrgica del Muña era de 2.000 a 2.500 toneladas por año.

El tratado diplomático y de comercio firmado con los Estados Unidos en 1922 por el gobierno del general Ospina había bloqueado la mitad del arancel aduanero y restringido la posibilidad de producir bienes intermedios y de capital en nuestro país debido a la cláusula de más favor que se le otorgó a dicha potencia sin compensación adecuada ni reciprocidad para nosotros. En consecuencia, de modo indirecto pero efectivo, el tratado retrasó la aparición de industrias fabricantes de maquinaria y de equipo en Colombia hasta cuando fue terminado bilateralmente en 1950.

A no ser por este tratado, el país hubiera podido comenzar mucho antes a fabricar algunos bienes de capital. Ahora, al ser rescindido, permitió hacer una

reforma arancelaria que dio mayor protección para comenzar a producir un buen número de manufacturas metálicas. Fue así como nacieron entonces nuevas empresas: Landers Mora, en Medellín, en 1950, con una gran fundición de cubilote; Distral, en Bogotá, empezó a construir las primeras calderas acuatubulares que se ensamblaron en el país; Estructuras H. B., en Bogotá, dirigida por el ingeniero César García Álvarez, inició el diseño y la construcción de estructuras pesadas y puentes de acero. Además, los nuevos productos que comenzaron a fabricarse dieron lugar, en la misma época, a que varias pequeñas y medianas fábricas adoptaran nuevos procesos metalmecánicos, como el troquelado liviano, con corte y sin corte, así como la instalación de las primeras prensas mecánicas de fricción para el embutido de lámina metálica.

PAZ DEL RIO

Desde los primeros años de los años cuarenta se habían descubierto en la región entre Sogamoso y Paz del Río, en Boyacá, grandes yacimientos de mineral de hierro (hematita) junto a grandes yacimientos de hulla y de caliza. El ingeniero boyacense Olimpo Gallo estudió la calidad de estas reservas y comenzó a propugnar por su beneficio para producir acero. En consecuencia, en 1948, el gobierno del ingeniero Mariano Ospina Pérez le encargó al Instituto de Fomento Industrial hacer los estudios correspondientes y dispuso una contribución forzosa de los contribuyentes para financiar la nueva empresa. Los estudios geologicomineros fueron hechos por los ingenieros Benjamín Alvarado y Vicente Suárez Hoyos. El proyecto industrial fue encomendado a un consorcio franco-belga que hizo el diseño de la planta y suministró los equipos. Después de seis años de trabajos, la siderúrgica de Paz del Río fue inaugurada en junio de 1954.

Son varios los factores a los que puede atribuirse la realización de esta obra, en su tiempo la más ambiciosa y la de más aliento que se hubiera construido en Colombia. El primero de esos factores fue el descubrimiento de los recursos de hierro, caliza y carbón en esa zona y la persistente labor de estudio del ingeniero Olimpo Gallo, infatigable promotor del proyecto. Intervino también una decisión política del gobierno central inspirada por el deseo de equilibrar geográficamente el desarrollo de la industria fabril en el país, que hasta entonces se concentraba exclusivamente en Medellín, Bogotá y Cali. Es indudable también que en esa decisión pesó la influencia de fuerzas políticas partidistas, muy importantes en Boyacá, sobre el gobierno nacional y sobre el parlamento, las cuales lograron, inclusive, derrotar las enfáticas recomendaciones de la Misión Currie del Banco Mundial que se había opuesto a la obra de Paz

del Río por razones económicas y técnicas y que había recomendado en su lugar establecer nuevas siderúrgicas semiintegradas a partir de la chatarra. El apoyo institucional y financiero que el IFI le dio al proyecto fue, sin duda, otro de los factores claves para que se ejecutara.

La nueva empresa inauguró en el país muchos nuevos procesos técnicos hasta entonces desconocidos entre nosotros: la minería pesada de hierro, la preparación de minerales en gran escala, la coquería de hulla en retorta con recuperación de subproductos, el gran alto horno, el convertidor Thomas con soplado de aire para descarburizar el hierro, la molienda de escorias fosfóricas para emplearlas como fertilizantes, etcétera.

Allí también se cumplían en menor escala otros procesos ya realizados en Colombia, en las ferrerías del siglo XIX y en las dos pequeñas acerías semiintegradas del siglo XX. Tal era el caso de la minería subterránea del carbón, la calcinación de calizas, la colada del hierro fundido, la refundición del hierro crudo gris, el lingoteado de acero en lingoteras de hierro, la laminación de palanquilla de acero, la laminación de productos no planos de acero, el horno eléctrico y otros.

La empresa aparecía con una dotación de equipos cuya magnitud y complejidad técnica eran desconocidas hasta entonces. En efecto, para cumplir sus funciones, instaló equipos de minas, molinos de mineral, vehículos pesados, hornos para calizas, un gran alto horno, retortas de coquería, equipo para recuperar subproductos de coque, fundición de lingoteras, convertidores Thomas, horno de recalentamiento para lingotes, tren laminador de palanquilla de acero, trenes laminadores de barras y perfiles, trefilería para acero, planta de vapor y planta eléctrica, además de todas las instalaciones periféricas, logísticas y de servicio.

La construcción de esta gran planta requirió un gran número de ingenieros, especialmente civiles. Muchos de ellos fueron franceses y belgas que hicieron los diseños básicos y dirigieron las construcciones más especializadas. Otros, en buen número, fueron ingenieros civiles colombianos, de los cuales cabe recordar al ingeniero Daniel Jaramillo Ferro, quien fue también el primer director general de la planta cuando ésta comenzó a producir en 1954. El origen de la ingeniería y de la tecnología de esta planta en aquellos aspectos específicamente siderúrgicos provino de la empresa francesa que la construyó y de sus ingenieros: la minería pesada de hierro, la coquería, el alto horno, los convertidores de acero, la laminación de palanquilla, la laminación de barras y perfiles, el sistema eléctrico, etc. Los ingenieros colombianos aportaron sus conocimientos en aquellos frentes en donde ya tenían formación y experiencia, como la minería de carbón, las canteras de caliza, la construcción de edificios, la

construcción del ferrocarril, el manejo de minerales, el transporte de materiales y la administración técnica de estas operaciones.

En Paz del Río se instaló la mejor tecnología que se conocía en su tiempo para producir arrabio y acero. El arrabio se obtenía en el alto horno por el procedimiento conocido secularmente y perfeccionado en Inglaterra por William Darby en 1750, utilizando carbón coque como fuente de energía y como reductor químico para el mineral de hierro. En este horno, la escoria reducida era utilizable, además, como fertilizante fosfórico, debido al alto contenido de este elemento en los minerales empleados. En aquel momento se utilizaban en el mundo tres procedimientos pirometalúrgicos para convertir el arrabio en acero: el de Bessemer (inventado en 1856); el de Siemens-Martin (inventado en 1863) y el de Gilchrist-Thomas (inventado en 1879). En Paz del Río se adoptó el convertidor de Gilchrist-Thomas, con soplado al aire, que se adaptaba mejor al tamaño de la producción de la empresa y las características químicas del arrabio.

Los conocimientos empíricos y las técnicas de ingeniería que se requirieron (y aún hoy se requieren) para operar la siderúrgica integrada de Paz del Río fueron los siguientes:

1. Mecánica de cuerpos rígidos: momentos lineales, momentos de inercia, rotación, energía cinética, energía potencial, rozamiento, potencia mecánica, mecanismos y diseño de máquinas.
2. Termotecnia: termometría, gradientes térmicos, pirómetros, calor específico, calor de combustión, cambios de estado (fusión), calor latente, conducción de calor y radiación.
3. Mecánica de gases: caudales de gases, presión, conductos, energía e impulso, sopladores y ventiladores, compresores, enfriamiento y calentamiento de gases, intercambiadores de calor, convección, tiro térmico diferencial y chimeneas.
4. Fisicoquímica: propiedades fisicoquímicas de los gases, combustión y combustibles, oxidación y oxidantes, reducción y reductores, carbonización, pirólisis, acidez y basicidad, reglas de fases y diagramas de fases, óxidos y anhídrido y corrosión.
5. Minerales y minería: mineralogía de carbón, calizas y ferrominerales, geología de yacimientos, técnicas de explotación de minas y equipos de extracción y transporte.
6. Manejo de sólidos: molienda, cribado, granulometría, motores de potencia, bandas transportadoras y cadenas de canjilones.
7. Metalurgia ferrosa: hierro, carbono y acero, fósforo, azufre y silicio en el hierro, diagrama de fases, estructuras cristalinas del hierro, propiedades

- mecánicas del hierro, arrabio y hierro gris, hierro maleable o forjado, aceros corrientes, cementación, laminación, forjado, trefilación, fundición y escorias del hierro.
8. Materiales refractarios: arcillas y otros refractarios, aislamientos térmicos, pirorresistencia, reacciones cerámicas y diseño de hornos.
 9. Construcción: fundiciones, mampostería, estructuras de soportes y materiales de construcción.
 10. Hornos: diseño, temperatura de operación, caldeo, pirometría y recuperación de calor.

El decenio de los años cincuenta fue particularmente activo en la apertura de nuevas fábricas metalmeccánicas y en la diversificación de productos en las ya existentes. Entre 1950 y 1957 se abrió un buen número de fábricas medianas y pequeñas de muebles metálicos, cables de acero (Emcocables), alambres conductores de cobre (Facomec y CEAT), calderas (Distral), tubería galvanizada (Simesa), neveras (Icasa), herramientas agrícolas (Herragro), machetes (Collins en Palmira e Incolma en Manizales), estructuras pesadas de acero (Estructuras H. B.), aparatos pequeños, grandes tanques en lámina (Talleres Centrales), tornillos y tuercas, tubos y válvulas de hierro fundido (Apolo), numerosas fundiciones medianas y pequeñas, etc. Pero entre todas estas iniciativas, la inauguración de la siderúrgica de Paz del Río fue el hecho más importante y, gracias a él, en gran medida se pudo realizar el proceso de avance y diversificación en la producción de artículos siderúrgicos y metalmeccánicos.

Una buena indicación del gran impulso de la siderurgia en aquellos años la dan las cifras sobre producción de acero colombiano en sus distintas formas, que son las siguientes:

PRODUCCION DE ACERO 1950 - 1960	
Año	Miles de tons.
1950	9.5
1952	9.5
1954	10.5
1955	77.5
1956	90.1
1958	121.0
1960	144.5

Fuente: Distintas publicaciones y documentos del autor.

Además, la importación de hierro creció de 39.600 toneladas en 1952 a 94.000 toneladas en 1956, mientras que el consumo total de acero subió de 108.000 toneladas en 1952 a 277.400 toneladas en 1956 y a 278.100 toneladas en 1960.

Las nuevas empresas y los nuevos productos necesitaron que se introdujeran al país, y que los ingenieros aprendieran, nuevas técnicas de manufactura como las siguientes:

1. La trefilación de alambre de cobre para producir conductores eléctricos, en Facomec (Cali, 1954).
2. El entallado de barras y tubos de hierro y de acero con dados, a presión y en frío, para fabricar tornillos y tuercas, en pequeñas fábricas (Bogotá, 1956).
3. La fundición en serie de accesorios para tubería, en hierro maleable, galvanizado, en Simesa (Medellín, 1955).
4. La fundición de piezas de hierro aleado y de acero de gran tamaño para uso en equipos industriales, en Futec (Medellín, 1955).
5. El uso de prensas mecánicas de fricción, para hacer artículos y objetos embutidos, en varias fábricas y talleres medianos de Bogotá, Medellín y Cali, a mediados de los años cincuenta.
6. El troquelado y embutido pesado en lámina de acero estirado en frío en Icasa y en otras fábricas de aparatos electrodomésticos y de muebles metálicos (Bogotá y Medellín, 1956).
7. La forja liviana para trabajar el acero en caliente y para hacer herramientas agrícolas, en Herragro (Manizales, 1956). Algunos años después se realizó en la Siderúrgica de Medellín para fabricar bolas para molinos de caliza para cemento.
8. La fundición y construcción de algunas máquinas industriales (especialmente para industria textil), en Furesa (Medellín, 1957).
9. La trefilación y el retorcido de alambre de acero de bajo carbono y de cables de acero trefilado, en Emcocables (Bogotá, 1957).
10. La laminación en caliente de rieles y perfiles pesados de acero en Paz del Río, en los últimos años de los años cincuenta.
11. La laminación de alambón de acero de alta resistencia para trefilar alambre (Paz del Río, 1954), y la trefilación de alambres de acero (Paz del Río, 1954; Trefilco en Bucaramanga, 1961 y otras posteriormente).
12. La producción de tubos con costura eléctrica continua por alta corriente, en Simesa (Medellín, 1958) y Colmena (Bogotá, 1959).

13. La laminación en caliente de palanquilla de acero corriente comenzada en 1960 en un laminador que la empresa Paz del Río compró en Chile, con 30.000 toneladas anuales de capacidad.

Esta expansión de la industria metalmecánica durante los años cincuenta abrió un gran número de puestos de trabajo y de vocaciones de ejercicio profesional de los ingenieros del país de diversas especialidades: civiles, de minas, químicos, mecánicos, electricistas, industriales y metalúrgicos.

LAS PRIMERAS FACULTADES DE INGENIERIA METALURGICA

El grande interés nacional que despertó la construcción de Paz del Río, y que se intensificó cuando la empresa comenzó a producir, llevó a algunas universidades vecinas a esa región a establecer los primeros programas para la formación académica de ingenieros metalúrgicos. Así lo hicieron en 1955 la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja y, en 1956, la Universidad Industrial de Santander. Pocos años después se establecieron estas carreras en la Universidad Libre (1960) y en la Universidad de Antioquia (1963).

Desde sus comienzos, el contenido de los pñsumes de estas carreras fue similar de una universidad a otra y así se ha conservado a lo largo del tiempo sin grandes modificaciones. Dicho contenido parte de las ciencias básicas de la ingeniería (matemáticas, física, química y economía), compartidas con las otras ingenierías, y prosigue luego con materias profesionales: fisicoquímica, metalurgia física, metalurgia química, procesos metalúrgicos, diseño de máquinas, construcción de máquinas, etc. Puede decirse que la ingeniería metalúrgica, como enseñanza académica, se sitúa en la interfase entre la ingeniería química y la ingeniería mecánica y que cualquiera de estos dos tipos de ingeniería puede ser fácilmente especializada y ampliada para cumplir con competencia las funciones profesionales de un ingeniero metalúrgico.

AÑOS SESENTA

Al comenzar el nuevo decenio, Colombia contaba ya con una dotación bastante variada de empresas siderúrgicas y metalmecánicas que, con equipos diversos, elaboraban un buen número de productos siderúrgicos usados en distintos procesos metalúrgicos.

En Paz del Río se producía acero por la vía integrada de alto horno en forma de barras, rieles, perfiles medianos, perfiles livianos, alambón de acero, alambres galvanizados, etc. En Medellín y Bogotá, sendas acerías semiintegradas producían acero corriente en horno eléctrico a partir de chatarra. En varias ciudades, numerosos talleres de fundición y los grandes talleres de los ferrocarriles fabricaban piezas fundidas de hierro y acero corriente y aleado. Había varios talleres de carpintería metálica, muebles metálicos, ductos, calderas u otras construcciones, se producían accesorios para tubería fundidos en hierro maleable y galvanizados, al igual que puntillas, grapas y tornillería por los procesos de corte, estampación, doblado, galvanización y entallado. Se fabricaban recipientes de aluminio por el proceso de repujado, se trefilaba alambón de cobre y aluminio para hacer conductores eléctricos y telefónicos, se hacían tubos de acero con costura por corte de lámina en frío y soldadura eléctrica continua, se trefilaba y se galvanizaba alambre liso y alambre de púas en Paz del Río y otras fábricas menores y se producían artículos trabajados en forja liviana en caliente. En general, se habían echado las bases con una buena expansión de la siderurgia y la industria metalmeccánica.

Fue por aquella época cuando se creó la Siderúrgica del Valle de Tenza, cerca a Garagoa (Boyacá), con un pequeño alto horno para producir hierro gris y con un cubilote para fundir piezas de este metal. Fue fundada por un antiguo oficial naval (formado como ingeniero en la Armada) y un empresario de la región, interesados en el crecimiento de la demanda nacional de hierro fundido que se señaló más arriba. Su capacidad inicial fue de unas 5.000 toneladas por año, que han crecido hasta unas 10.000 toneladas anuales hoy en día.

Los esfuerzos empeñados desde 1955 por establecer las primeras fábricas de automotores en el país lograron sus primeros resultados en 1961, cuando la empresa Colmotores de Bogotá ensambló los primeros camiones que se construyeron en Colombia. Se iniciaba así la industria automotriz que a lo largo de los años, a pesar de sus muchos y complejos problemas, ha sido un estímulo importante al desarrollo siderúrgico y metalmeccánico en Colombia.

En el mismo año, el Instituto de Fomento Industrial y tres corporaciones financieras privadas promovieron y financiaron la primera planta de forja-estampa pesada que se construyó en el país: Forjas de Colombia, en Bucaramanga. Esta iniciativa se inspiró en la creencia equivocada de que los aceros de la cercana planta de Paz del Río podrían ser fácilmente forjados para atender una demanda nacional de partes y piezas hechas por este procedimiento. El diseño de la planta y la ingeniería del proceso fue suministrada por la empresa alemana Didier Werke (Krupp). Se trataba de un proceso metalúrgico nuevo en el que

no había experiencia en el país, como es el de la forja pesada para trabajar en frío y en caliente. Otros procesos que requería la empresa como maquinado, procesos térmicos y galvanización, ya eran familiares a los técnicos en el país. Se esperaba que la forja lograra producir 20.000 toneladas anuales en piezas trabajadas, pero a lo largo del tiempo esta capacidad nunca se ha alcanzado del todo. El caso de Forjas de Colombia recuerda al de las ferrerías del siglo pasado en el sentido de que ha padecido una serie de problemas financieros, económicos y técnicos crónicos pero que a pesar de todo ha existido por largo tiempo, 25 años, y ha tenido el mérito de familiarizar a los técnicos del país con un nuevo proceso siderúrgico de indudable importancia.

Conscientes el gobierno del presidente Lleras Camargo y su ministro Agudelo Villa de la importancia y la conveniencia de fomentar ciertas industrias para el país, esa administración propuso al Congreso una reforma tributaria que se convirtió en la Ley 81 de 1960, que consagraba importantes estímulos fiscales a varios renglones industriales nuevos y establecía exenciones tributarias por diez años para empresas industriales específicas, que de esta manera pudieron surgir o pudieron ampliarse considerablemente en la época de los años sesenta y los primeros de los setenta. Entre las industrias así beneficiadas estuvieron las industrias siderúrgicas y las "industrias complementarias de Paz del Río", gracias a lo cual la producción nacional de acero creció rápidamente en esos años como lo indican la siguientes cifras:

PRODUCCION DE ACERO 1960-1970

Año	Miles de tons.
1960	145.5
1962	186.9
1964	247.0
1965	202.4
1968	210.6
1970	264.1

Fuente: Documentos del autor.

La activa proliferación de fábricas siderúrgicas y metalmecánicas que propició la Ley 81 de 1960 trajo consigo lo que, quizá, ha sido el proceso más activo de innovación tecnológica y de divulgación de tecnologías en este sector industrial en toda su historia. En efecto, desde el punto de vista de nuevos procesos y nuevos productos, el desarrollo de aquellos años pue-

de marcarse por la adopción de muchos nuevos tipos, operaciones, procesos y productos, como son:

1. La creación de la Empresa Siderúrgica del Pacífico en Cali, en 1961, siderúrgica semiintegrada por el proceso de horno eléctrico que trabaja con chatarra.
2. La primera producción de aceros aleados y laminados en caliente (aceros especiales) en la misma siderúrgica mencionada. Años después, en 1975, estos aceros se hicieron también en Simesa.
3. El comienzo de la construcción de recipientes en lámina de acero y soldados para gases a presión, en la empresa Penagos Hermanos de Bucaramanga, hacia 1962.
4. La creación de la empresa siderúrgica semiintegrada Metalúrgicas Boyacá, cerca a Paipa, en 1963, que se proponía procesar la chatarra generada en Paz del Río.
5. El desarrollo autóctono y el dominio de las técnicas para fundir hierro nodular en Apolo (Medellín) y otras fundiciones mayores, en los primeros años de los años sesenta. Este paso se logró gracias a las crecientes demandas de piezas fundidas en hierro nodular, de mayor resistencia para la industria automotriz, al buen nivel técnico y a la iniciativa innovadora de los ingenieros que lo lograron en las empresas metalúrgicas.
6. La adopción del horno electromagnético de inducción de alta frecuencia en varias pequeñas y medianas fundiciones, a mediados de los años sesenta, lo que permitió obtener fundiciones mejor dosificadas metalúrgicamente.
7. La generalización del trabajo de la lámina de acero inoxidable para obras de carpintería pesada, iniciada en Bogotá a mediados de los años sesenta (Johnsson y Distral) y propagada después a otras empresas y ciudades (por ejemplo, Unial en Barranquilla).
8. El aprendizaje del diseño y de la construcción de torres pesadas en acero galvanizado para líneas de transmisión eléctrica, en los mismos años (CE-NO en Medellín, Estructuras H. B. en Bogotá, etc.).
9. La instalación en la Siderúrgica de Medellín de un horno eléctrico para cargas de 30 toneladas para fabricar acero, de 17.000 KW de potencia, el mayor que hasta hoy existe en el país, también a mediados de los años sesenta.
10. La asimilación de las técnicas de diseño y construcción de taladros y tornos para metales, a mediados y a fines de los años sesenta, en empresas como Funymac en Bucaramanga y Prominsa en Medellín.

Todos estos avances requirieron la incorporación de muchísimos ingenieros a las empresas que los realizaron. Ellos eran ingenieros mecánicos, electricistas, industriales y metalúrgicos, casi en su totalidad. Para esa época, ya habían egresado las primeras promociones de las cuatro facultades de ingeniería metalúrgica. Algunos de los graduados en el país habían podido hacer estudios de posgrado en el exterior, tales como los que por aquellos años ofrecía en la Argentina la Comisión Nacional de Energía Atómica para estudios avanzados de metalurgia.

ALGUNOS AVANCES EN LOS AÑOS SETENTA

En 1972 comenzó a producir cerca a Cajicá la Empresa Colombiana de Arrabio, Colar, promovida y financiada totalmente por el Instituto de Fomento Industrial. Esta empresa se proponía producir arrabio bien dosificado y destinado a todas las fundiciones ferrosas, que tradicionalmente habían tenido dificultad con las chatarras heterogéneas y contaminadas que se consiguen en el país. Colar instaló un alto horno con capacidad de 30.000 toneladas anuales de arrabio, con la tecnología convencional de este proceso. Instaló también equipos para defosforación del arrabio y servicios industriales auxiliares bastante completos. Es lamentable que esta empresa solamente hubiera subsistido en producción durante siete años, porque en 1979 hubo de cerrar sus instalaciones ante la imposibilidad de conseguir minerales de hierro adecuados, y ahogada también por los altísimos costos de inversión con que se instaló.

En el decenio mencionado pueden señalarse dos innovaciones tecnológicas de importancia que han aumentado considerablemente la capacidad de producción de acero en el país. La primera es la inyección de oxígeno a los convertidores Thomas de Paz del Río y a los hornos eléctricos de las siderúrgicas semiintegradas, hacia 1976, lo cual ha permitido una mayor eficiencia y rapidez en el proceso metalúrgico y una mejor calidad de los productos. La segunda es la adopción del proceso de colada continua en las siderúrgicas semiintegradas, entre 1977 y 1978, el cual ha aumentado también las ratas de producción de estas empresas.

De 1970 a hoy, la producción de acero en todas sus formas ha crecido con rapidez, como lo indican las siguientes cifras:

PRODUCCION DE ACERO, 1970-1985

Año	Miles de tons.
1970	264.1
1972	288.1
1974	264.2
1976	342.4
1978	380.0
1980	420.2
1982	421.7
1984	461.2

Fuente: Varios documentos del autor.

ALGUNOS TECNICOS E INGENIEROS DISTINGUIDOS EN SIDERURGIA Y METALURGIA

Sería imposible hacer una relación completa de todos los ingenieros y técnicos que han hecho en Colombia las ferrerías, las siderúrgicas y las empresas metalmeccánicas importantes. Entre ellos ha habido extranjeros y colombianos de distintas especialidades y con muy variadas aptitudes y funciones. Pero no puede terminarse este repaso de la evolución siderúrgica sin recordar el nombre de los que más se han distinguido por su trabajo profesional en este frente.

Esta nómina debe empezar con don Jacobo Wiesner, el creador de la ferrería de Pacho. Deben mencionarse también los nombres de Martín Perry y Santiago Bruce, creadores de la ferrería de Samacá, y de los franceses Eugène Bonnet y Eugène Lutz, los primeros ingenieros de la ferrería de Amagá. Junto a ellos hay que citar a John James y Rafael Forest, los creadores y constructores de la ferrería de La Pradera, y a Roberto Bunch, quien le dio a la ferrería de Pacho sus mejores años gracias a la idoneidad técnica y administrativa con que la dirigió.

Don Vicente Restrepo, graduado en París en química y metalurgia, asesoró aquellas ferrerías y sobre ellas envió conceptos técnicos al gobierno, tal como lo hizo también don Nepomuceno Rodríguez, quien fue un inteligente autodidacto en conocimientos siderúrgicos.

Como creadores de las primeras fundiciones de maquinaria en el siglo pasado tienen lugar especial el alemán William Wolff, en Antioquia, y los hermanos españoles Mariano y Eugenio Penagos, en Bucaramanga. Es imperativo

mencionar en este contexto la valiosísima labor anónima y colectiva de los padres salesianos en sus talleres-escuelas, donde prepararon los primeros mecánicos y fundidores formalmente entrenados en el país y que prestaron sus servicios con gran utilidad en las fundiciones antioqueñas, santandereanas y bogotanas y en los talleres de los ferrocarriles.

Ya en pleno siglo XX, el ingeniero Julián Cock fue el creador técnico de la Siderúrgica de Medellín. A comienzos del siglo XX, el ingeniero Olimpo Gallo descubrió cerca a Sogamoso varios ricos yacimientos de mineral de hierro, carbón coquizable y caliza, y él mismo propuso que allí debería construirse una siderúrgica. Pero sólo en 1947, el presidente-ingeniero Ospina Pérez decidió realizar la idea. Los ingenieros Daniel Jaramillo Ferro (como primer gerente de la empresa) y Gabriel Agudelo (como primer director técnico) tienen el gran mérito de haber puesto en marcha la siderúrgica de Paz del Río. A su lado, los ingenieros Benjamín Alvarado y Vicente Suárez Hoyos, autores de los estudios geologicomineros, y los ingenieros Joaquín Prieto Isaza y Jaime Rudas, especialistas en el proceso metalúrgico, merecen mención especial como cerebros técnicos de esa gran empresa siderúrgica. En ella misma debe señalarse el nombre de Francisco Triana, quien por muchos años ha sido su director técnico, así como el de Alvaro Hernán Mejía, quien por largo tiempo sirvió a esa empresa.

Como fundadores y directores técnicos de la Siderúrgica de Medellín hay que recordar en los primeros años a Julio Martín Restrepo y Francisco Eladio Restrepo y, más recientemente, al ingeniero austriaco Josep Vollmost.

También en Antioquia se han destacado en los últimos 50 años por sus estudios siderúrgicos y metalúrgicos y por sus aportes técnicos a la industria nombres como Antonio Durán, Hernán Garcés, Raúl Mejía, Mario Botero y Hugo Ruiz.

ALGUNOS FUNDADORES DE EMPRESAS

Es también indispensable recordar los nombres de personajes que, si bien no han aportado conocimientos técnicos directamente, sí han puesto su capacidad empresarial (y a veces también su capacidad técnica) al servicio del desarrollo siderúrgico del país, asumiendo los esfuerzos y los riesgos de crear nuevas empresas.

Las ferrerías de Pacho, Samacá y La Pradera fueron fundadas, como ya se dijo, por las personas que aportaron el conocimiento técnico inicial para operarlas: los señores Wiesner, Perry, Bruce, James y Forest. En cambio, la ferrería

de Amagá fue emprendida como obra industrial por don Pascasio Uribe y don Francisco Antonio Alvarez.

La gran fundición y el taller para construcción de máquinas de la empresa El Zancudo fue creado hacia 1870 por el ingeniero alemán Reinholdt Paschke. Sus paisanos, William Wolff y Augusto Freydel, establecieron hacia fines del siglo las fundiciones de la Estrella y Caldas, cerca a Medellín, y este ejemplo fue seguido por empresarios antioqueños como Antonio Quintana y Luis Villa.

Los nombres de Lorenzo Codazzi, Joaquín D. Barriga y Tomás Agnew están ligados a los esfuerzos de mediados y finales del siglo XIX para mantener en operación la ferrería de La Pradera.

En el siglo XX merece recordarse a don Jesús Mora, empresario fundador de la Siderúrgica de Medellín, de Imusa y de la Fundición Landers Mora, así como a los hermanos Jaramillo, creadores de Talleres Centrales en Bogotá.

El nombre del ingeniero César García Alvarez está vinculado a la creación de Estructuras H. B., hacia 1950, y el de don José Gómez Pinzón, a la empresa Emcocables, en 1956. En Manizales, el empresario Gabriel Arango Restrepo, participó en la fundación de fábricas de herramientas agrícolas, machetes, fundiciones y máquinas, hacia mediados de los años cincuenta.

La creación de Forjas de Colombia, hacia 1961, se debió, en buena parte, al tesón del empresario bumangués Pedro Buitrago. En el mismo año, la creación de la Siderúrgica del Pacífico se debió al empeño del empresario Carlos Calderón.

El Instituto de Fomento Industrial ha sido un activo fundador y creador de muchas nuevas industrias metalúrgicas y metalmecánicas en su 47 años de existencia. En forma total, o asociado a particulares, el IFI ha sido fundador de empresas tan importantes como Unial, Paz del Río, Siderúrgica de Medellín, Emcocables, Forjas de Colombia y Colar.

CONOCIMIENTOS ACADEMICOS Y TECNICAS DE INGENIERIA EN SIDERURGIA Y METALMECANICA

Desde cuando empezó a existir, en el primer tercio del siglo XIX, la industria siderúrgica ha exigido la aplicación de los mejores conocimientos técnicos disponibles en su tiempo. En aquella época, tales conocimientos no se adquirían en nuestro país por no existir centros de formación en estas materias y era necesario traer operarios y técnicos calificados de los Estados Unidos o de Europa, donde generalmente se habían formado en la práctica industrial más

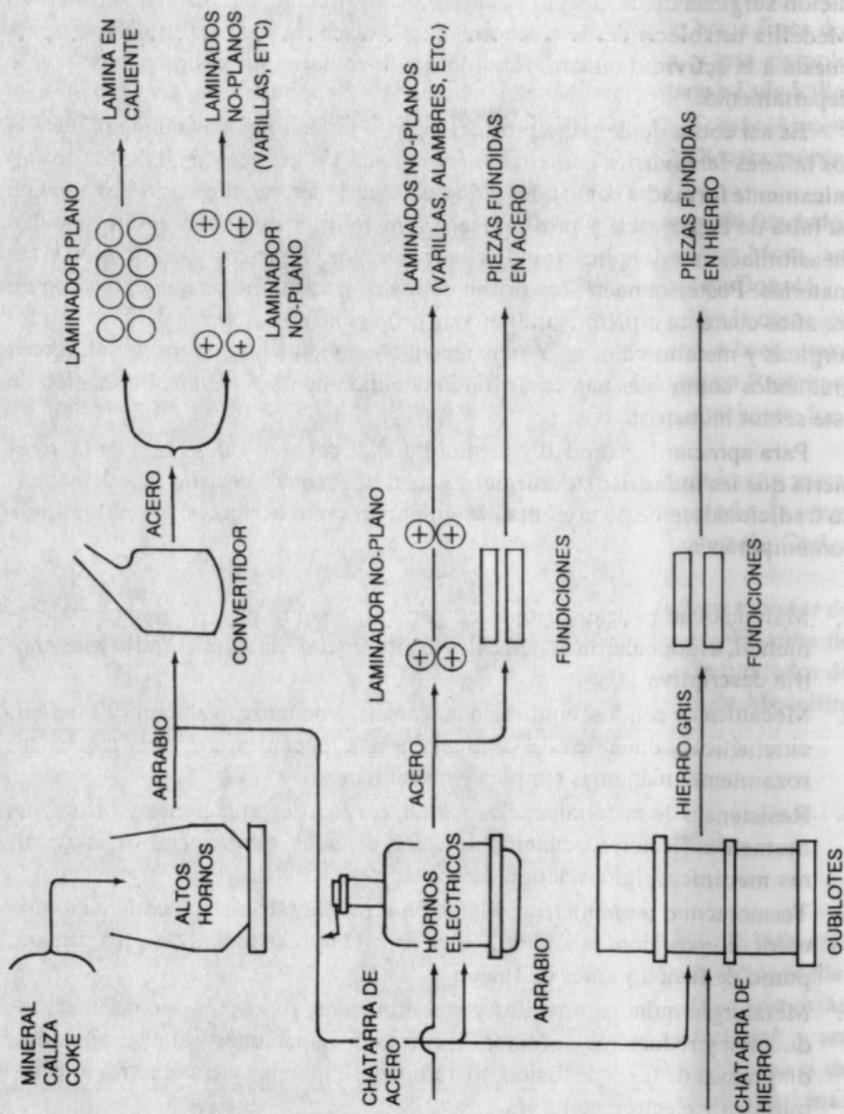
que en escuelas académicas. La Escuela de Artes y Oficios en Antioquia, la Escuela Vocacional en Bogotá y las escuelas de los salesianos fueron las primeras que capacitaron operarios y técnicos medios para las industrias de fundición surgidas desde el siglo pasado. Posteriormente, la Escuela de Minas en Medellín estableció desde sus comienzos la cátedra de metalurgia como respuesta a la actividad minera, fundidora y ferroviaria que cobraba auge en ese departamento.

Es así como desde principios del siglo, a las fundiciones de máquinas y a los talleres ferroviarios comenzaron a ingresar los primeros ingenieros académicamente formados como tales y que, a pesar de ser ingenieros civiles, suplían su falta de experiencia y profundización metalúrgica con una gran capacidad de asimilación y de aplicación de conocimientos empíricos y técnicos en estas materias. Posteriormente, los primeros ingenieros químicos que egresaron en los años cuarenta actuaron también con propiedad en empresas y fábricas siderúrgicas y metalmeccánicas. Y más recientemente, los ingenieros metalúrgicos graduados como tales han contribuido decididamente al desarrollo técnico de este sector industrial.

Para apreciar la variedad y profundidad de saberes y destrezas de la ingeniería que las industrias siderúrgicas y metalmeccánicas pesadas han demandado tradicionalmente, se presenta la siguiente reseña escrita con la terminología contemporánea:

1. Matemáticas básicas: aritmética general, álgebra clásica, geometría elemental, trigonometría plana, cálculo diferencial e integral, dibujo y geometría descriptiva.
2. Mecánica de sólidos: equilibrio mecánico, cinemática y dinámica puntual, cinemática y dinámica de sólidos, energía mecánica, potencia mecánica, rozamiento, máquinas simples y mecanismos.
3. Resistencia de materiales: elasticidad, cargas, deformaciones y esfuerzos, momentos flectores, ecuación de Euler, pandeos, estática gráfica, estructuras mecánicas rígidas, lengüetas y resortes.
4. Termotecnia: termometría, dilatación térmica, pirometría, conducción de calor, convección, radiación, calor sensible y capacidad térmica, fusión, punto de fusión y calor de fusión.
5. Metalurgia química: metales y sus minerales, oxidación y oxidantes, reducción y reductores, soluciones, corrosión, aleaciones y sus propiedades, diagramas de fases de fusión, metaloides en metales y sus efectos, electroquímica y electrometalurgia.

GRAFICO 3
ACTIVIDADES SIDERURGICAS DE COLOMBIA



6. Metalurgia física: metalografía, propiedades mecánicas de los metales, fusión, deformación: doblado, forjado, troquelado y embutido, trefilación, soldadura, propiedades eléctricas, ferromagnetismo, propiedades térmicas de los metales, trabajo mecánico de metales en frío y en caliente, tratamientos térmicos, hornos de tratamiento y propiedades físicas de aditivos del hierro.
7. Máquinas herramientas: doblado de lámina, doblado de tubos, cizallas, prensas hidráulicas y de fricción, torno paralelo, torno revólver, fresadoras, taladros, punzadoras, cepillos y rectificadoras.
8. Hornos y hogares: combustión y combustibles, aislamientos térmicos, quemadores, flujo de gases, intercambio de calor, chimeneas y hornos de inducción eléctrica.
9. Metrología: unidades de longitud, unidades de masa, unidades de fuerza, aparatos e instrumentos de medición, precisión y exactitud.

Esta apresurada relación quiere dar cuenta del papel que la actividad siderúrgica y metalmecánica ha tenido en Colombia como factor de impulso al desarrollo de la ingeniería nacional. La relación entre estos dos fenómenos, que en el siglo pasado fue más bien laxa, se ha estrechado fuertemente durante el siglo XX, especialmente desde la construcción de las primeras acerías (Simesa y Paz del Río). Sin una ingeniería nacional académica bien preparada en las especialidades de minas, civil, química, mecánica y metalurgia, no hubiera sido posible llegar, ni siquiera remotamente, al grado de desarrollo técnico y económico que hoy tienen estos renglones industriales en Colombia. Hacia el futuro, es de esperar que el enlace entre estas dos corrientes de progreso (la industria y la ingeniería) se profundice y adopte nuevas formas más avanzadas a medida que el país progresa en la creación de una industria que fabrique maquinaria y otros bienes de capital más fuerte.

Capítulo 8

INDUSTRIAS QUIMICAS E INGENIERIA QUIMICA

INTRODUCCION

La ingeniería química, como campo especializado de la ingeniería en general, tiene en Colombia una historia reciente que data de los últimos años de los años treinta del presente siglo.

Es cierto que desde el siglo pasado existieron en Bogotá y en Medellín algunas fábricas de productos químicos. En rigor, las pequeñas y rudimentarias fábricas de jabón que hubo desde el último tercio del siglo podrían calificarse como industrias químicas en la medida en que, para fabricar este producto, se lleva a cabo un proceso químico que consiste en la saponificación de grasas naturales con soda cáustica. Más aún, a partir de 1870 se intentó establecer en Bogotá (en dos o tres ocasiones) y en Medellín (en una ocasión) la producción de ácido sulfúrico por el método de cámaras de plomo, destinado a ser usado en las pilas eléctricas de Leclanché con que trabajaban los sistemas telegráficos, y en ensayos metalúrgicos en las casas de la moneda de las dos ciudades. Pero estos ensayos industriales fracasaron muy pronto o tuvieron una vida inestable y breve debido, esencialmente, a la falta de un mercado para estos productos que en ese tiempo eran relativamente exóticos en nuestro medio.

LOS COMIENZOS DEL SIGLO XX

En 1901 se formó en Bogotá la Compañía Colombiana de Productos Químicos para fabricar velas, colores, aceites, barnices, tintas, ácido sulfúrico, soda, abonos químicos, etc. Para este ambicioso programa de producción, la compañía trajo dos

técnicos franceses que, probablemente, eran químicos prácticos formados en empresas análogas de su país de origen. La estrechez del mercado y las dificultades técnicas obligaron a sus dueños a desistir de esta empresa en 1906.

Debe tenerse en cuenta que a partir de 1880, la industria química alemana había emprendido un vigoroso y exitoso desarrollo de avances técnicos y económicos, a lo largo del cual se perfeccionaron los procesos de elaboración de muchos productos químicos inorgánicos, se descubrieron muchos nuevos productos orgánicos, se inventaron los colorantes y fertilizantes químicos, se desarrolló a fondo la industria carboquímica, se inventaron explosivos y nuevos productos sintéticos, se inició la fabricación de productos farmacéuticos sintéticos y, en general, toda la industria química creció y se diversificó espectacularmente. Esa fue la época asociada a los nombres de Haber en la fijación del nitrógeno, Solvay en la producción de soda, Liebig en la fabricación de abonos nitrogenados, Wöhler en la síntesis de la urea, Perkins en el descubrimiento de colorantes orgánicos y Ehrlick en el descubrimiento del salvarsán.

Pero todavía en los primeros años del siglo, ni en Alemania ni en otros países desarrollados se había configurado definitivamente la profesión de ingeniero químico, al menos con este nombre. Ciertamente, existían en esas fábricas químicos formados académicamente (más como hombres de laboratorio que como hombres de producción) y unos pocos ingenieros mecánicos y metalúrgicos (ellos sí, formados con este título) que diseñaban plantas, construían reactores y otros equipos, analizaban materias primas, calculaban materiales y productos, perfeccionaban procesos y desempeñaban muchas de las funciones que hoy son típicas de los actuales ingenieros químicos.

Fue sólo después de terminada la primera guerra mundial, con el auge industrial de los finales de los años veinte, cuando en algunas grandes industrias químicas en los Estados Unidos comenzó a designarse a sus especialistas con el nombre de *chemical engineer* y a sus conocimientos y su experiencia profesional con el nombre de *chemical engineering*. Dicha denominación para estos profesionales y para su disciplina técnica fue, pues, una innovación surgida en los Estados Unidos que, inclusive en Europa, solamente comenzó a generalizarse a principios de los años treinta.

LOS COMIENZOS DE LA PROFESION

Algunos químicos y expertos extranjeros y unos pocos colombianos, formados alrededor de los primeros o educados en los Estados Unidos o en Europa, tra-

bajaron por aquellos tiempos en varios tipos de fábricas que ya existían en nuestro país en el primer tercio del presente siglo y que usaban tecnologías y procesos químicos y fisicoquímicos. Ese fue el caso en las fábricas de cerveza, en las destilerías de licores, en las fábricas de jabón, en las primeras curtidorías, en las fábricas de vidrio, en industrias cerámicas, en los procesos textiles, en las fábricas de cemento y en las minas de oro.

Ya a mediados de los años treinta, entre los empresarios industriales se había generalizado la noción clara de que el montaje y la operación de numerosas industrias exigían conocimientos especializados en el campo de la química, adaptados y complementados para el manejo de procesos de manufactura y aplicación de diversos materiales. De España y de Argentina llegó en esa época la denominación "química industrial" para designar este campo profesional.

Es interesante y notable que en 1939, la Universidad Nacional de Bogotá creara su facultad de química, movida en gran medida por el convencimiento de que era necesario preparar en Colombia profesionales en la materia con el fin de atender las necesidades de un proceso de industrialización que, en ese momento, se veía progresar con celeridad una vez superada la Gran Crisis de los primeros años treinta y gracias al apoyo decidido de los gobiernos liberales reformistas del momento.

En el mismo año de 1939 se fundó en Bogotá la que fue la primera industria química propiamente dicha, en el sentido moderno de este concepto. Fue la Fábrica Nacional de Oxígeno, constituida para producir oxígeno por destilación fraccionada del aire producido en una máquina de Linde, y también acetileno, por hidratación de carburo de calcio importado. La empresa surgía a favor de la demanda creciente de estos gases para uso en soldadura autógena, por las ventajas de tener una alta protección, por los fletes desde el exterior frente al producto importado y por requerir una inversión relativamente pequeña.

Al año siguiente se fundó en Medellín la que puede calificarse como la primera gran industria química orgánica. Ella fue la Industria Colombiana de Rayón, Indurrayón, dedicada a fabricar hilaza de rayón-viscosa por el procedimiento convencional de coagulación y filatura de alfa celulosa. Se trataba de una importante fábrica química para su tiempo, con equipos comparativamente complejos como tanque de dilución, compresores, boquillas de hilatura y otros que, hasta entonces, no se conocían en el país. Los principales factores determinantes para el establecimiento de esta fábrica fueron los siguientes: la demanda en ascenso de la industria textil por fibras artificiales; las dificultades de importación debidas a la segunda guerra mundial que acababa de estallar; la

insuficiencia de la producción del algodón y la aptitud empresarial de industriales antioqueños con acendrado espíritu shumpeteriano.

La necesidad de responder a la demanda de profesionales capacitados en el manejo fabril de procesos y productos industriales determinó que la recién fundada Universidad Católica Bolivariana abriera, en 1938 su facultad de química industrial que, pese a su nombre de inspiración europea, fue en realidad una facultad de ingeniería química desde sus comienzos, dentro de la acepción que hoy se le atribuye a esta carrera. De hecho, fue la primera facultad de dicha profesión que existió en Colombia. La primera promoción terminó sus estudios en 1943 y la prontitud con que los egresados fueron vinculados por las industrias de Medellín mostró claramente la necesidad real que ya existía de estos profesionales. Dos años antes, en Barranquilla, la muy joven Universidad del Atlántico había iniciado la segunda facultad que hubo en el país de esa carrera. En el mismo año de 1943 abrió sus puertas la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia, en Medellín.

LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL Y LA POSGUERRA

Al repasar el desarrollo de la ingeniería química en Colombia, es indispensable registrar la fundación del Instituto de Fomento Industrial creado, como ya se dijo, por el Decreto Ley 1157 de 1940 durante el gobierno del presidente Eduardo Santos y su ministro de Hacienda, Carlos Lleras Restrepo. Esta iniciativa surgió de una inteligente percepción del rápido avance industrial y del convencimiento de ese gobierno de que el Estado debía intervenir en la expansión fabril como activo promotor de nuevos renglones y empresas industriales. En años posteriores, y hasta la fecha, la gestión del IFI ha sido uno de los factores que, tomado por sí solo, más ha contribuido a establecer industrias y tecnologías nuevas dentro del país. En sus 45 años de labores, el IFI ha participado decisivamente en el establecimiento de fábricas y procesos de muchos tipos que han sido un activo campo de desempeño y desarrollo de la ingeniería química.

Una de las primeras empresas químicas que fundó el IFI fue Industrias del Mangle, en Buenaventura, que durante 20 años trabajó produciendo taninos vegetales para curtición de cueros. Esencialmente, era un proceso sencillo de extracción de agua a presión y a alta temperatura, en digestores cerrados, de los taninos de la corteza del mangle. Esta iniciativa surgió de las crecientes necesidades de curtientes por la industria del cuero y de las dificultades para impor-

tar impuestas por la guerra mundial. Se trataba también de aprovechar la gran abundancia de mangle que aún existía en las costas del Pacífico, cerca a Buenaventura, y que con el correr del tiempo se fue agotando.

En 1941 surgió en Medellín la empresa Sulfácidos para producir ácido sulfúrico a partir del azufre por el método llamado de contacto catalítico y por absorción en agua. Su equipo incluía quemadores de azufre, cámaras de oxidación y tanques de hidratación del anhídrido sulfúrico en agua. Los altos fletes, las dificultades para importar este producto debido a la guerra y el considerable aumento de la demanda de ácido sulfúrico por la industria textil, fueron los principales determinantes de esta iniciativa.

En su propósito de industrializar los recursos naturales, el IFI instaló en 1943, en Paipa, una pequeña planta para obtener sulfato de sodio por evaporación de las aguas madres naturales de esa localidad, combinado con la cristalización diferencial de los materiales disueltos. De esa manera, el IFI aspiraba también a abastecer el mercado que ese producto tenía como auxiliar en la tintorería de textiles. Desafortunadamente, la pequeña escala de la planta y la irregularidad de la composición de las aguas termales hicieron de este ensayo una experiencia de muy pocos años.

Ya en los primeros años de la década de los cuarenta, operaba en Bogotá la Fábrica Nacional de Cloro, que producía dicho gas por electrólisis de salmueras. Había sido también impulsada por el IFI ante la creciente demanda de cloro gaseoso para acueductos y ante las dificultades técnicas y los riesgos para importar dicho producto desde el exterior. Esta fábrica operaba con tanques de dilución y celdas electrolíticas, pero sufrió desde el comienzo muchas dificultades técnicas y económicas que sólo le permitieron vivir unos pocos años.

La primera fábrica de ácido sulfúrico (Acider) fue fundada en Bogotá, en 1943, por un emprendedor inmigrante técnico italiano, don Emilio Serventi, con la intención de atender la creciente demanda que existía de ese producto como material indispensable para soldar metales con el método de plomo y estaño, que entonces predominaba. El procedimiento de producción consistía en la acidulación de sal común de ácido sulfúrico y en la absorción del gas así resultante de agua.

A mediados del decenio de los cuarenta, surgieron en Medellín dos o tres empresas medianas para fabricar aceites sulfonados, materiales auxiliares de gran consumo en la industria textil. Estas iniciativas aprovechaban las favorables circunstancias del mercado creciente, las dificultades para importar oca-

sionadas por la guerra mundial, la sencillez tecnológica de los procesos y la economía que implicaba una moderada inversión en tales plantas.

El año de 1945 fue muy activo en la constitución de nuevas empresas. En esa fecha empezó a producir gas carbónico en Medellín la fábrica Líquido Carbónico Colombiano, que desde entonces ha estado produciendo hielo seco. Su proceso ha consistido en quemar *fuel-oil* en calderas, comprimir el gas carbónico resultante en compresores de alta potencia y enfriar el gas a temperatura de solidificación. Esta industria siempre ha tenido su apoyo en la demanda de gas carbónico por las industrias de gaseosas, cervezas y alimentos, en la simplicidad de la tecnología que requiere y en la protección natural que le confieren los altos fletes y las dificultades para transportar gases.

También en 1945 se fundó en Medellín la empresa Pintuco, primera fábrica de pinturas, lacas y barnices en el país. Su tecnología ha consistido siempre, esencialmente, en los mismos procesos de mezcla, molienda, dispersión, empaque de pigmentos y rellenos en solventes y resinas líquidas y aceites vegetales. El mercado interno en crecimiento, la simplicidad tecnológica y la baja inversión requerida fueron también los respaldos económicos esenciales de esta iniciativa.

En el mismo momento comenzó en Barranquilla, en la fábrica de Indurayón (ya entonces adquirida por la empresa extranjera Celanese), la fabricación de fibras de rayón acetato para uso textil. Las dificultades de importación creadas por la guerra y la creciente demanda de fibras artificiales para tejidos finos en la próspera industria textil, incitaron a esa compañía extranjera a producir en el país con la tecnología usada entonces. El proceso consistía en importar alfacelulosa, tratarla con anhídrido acético y coagular el acetato de celulosa en forma de hilos, en medio de bisulfuro de carbón.

Estas nuevas fábricas, así como las tradicionales que ya existían (textileras, fosforerías, gaseosas, cervecerías, ingenios azucareros, refinerías de petróleo, curtimbres, cementos), ocupaban rápidamente a las primeras promociones de ingenieros químicos cuya preparación, a pesar de las limitaciones técnicas de las universidades, los habilitaba para manejar una gran diversidad de equipos, procesos, materiales y procedimientos que entraban al país y se generalizaban en aquellos años, cuando se presenció un considerable desarrollo de la industria mundial. Una resumida pero elocuente idea sobre esa expansión industrial la dan las cifras que se presentan a continuación sobre crecimiento de consumo de electricidad en fábricas, de producción de cerveza, de fabricación de telas de algodón y de elaboración de azúcar entre 1940 y 1950:

ALGUNOS PRODUCTOS INDUSTRIALES 1940-1950

Año	Electricidad industrial (Gwh)	Cerveza (l)	Telas de algodón (m ²)	Azúcar (t)	Fibras celulósicas (t)
1940	74.1	64.5x10 ³	80.2x10 ⁶	51.9x10 ³	87
1941	81.0	75.0	156.0	57.9	773
1942	81.1	84.4	174.3	65.4	734
1943	94.5	79.2	156.6	69.1	813
1944	107.7	95.3	170.5	73.8	652
1945	121.4	115.9	143.6	80.9	1.213
1946	138.1	131.7	185.6	76.4	1.535
1947	146.3	135.0	160.4	83.2	1.617
1948	166.3	170.7	158.1	108.6	1.716
1949	193.2	244.9	165.4	138.4	1.315
1950	219.2	279.5	196.7	146.4	1.550

Fuente: Gabriel Poveda R., *Políticas económicas. Desarrollo industrial y tecnología en Colombia, 1925-1975*. Bogotá, Colciencias, 1976.

La expansión industrial demandaba y ocupaba a todos los ingenieros químicos que ya por entonces salían de las primeras facultades de esa profesión. Ellos se ocupaban en industrias de muy variada naturaleza y participaban no sólo en la ampliación y expansión de esas industrias, sino en la implantación de los cambios técnicos necesarios para modernizar y poner al día aquellos que ya entonces necesitaban tecnificarse.

Cabe señalar, a propósito, que en 1947 se fundaron la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga y, en 1945, la Universidad del Valle en Cali y que cada una estableció desde sus comienzos la respectiva facultad de ingeniería química, lo cual elevaba a cinco el número de dichas escuelas. Buen número de profesores en las facultades existentes eran españoles, franceses y alemanes que habían venido a trabajar en algunas industrias o que venían invitados por las recién creadas universidades.

Los primeros fertilizantes químicos fosfóricos comenzaron a producirse en 1950 en la fábrica de Sulfácidos en Medellín. El proceso industrial consistía en importar roca fosfórica, triturarla en molinos, acidularla con ácido sulfúrico en tanques cerrados, lavar el producto y secarlo. La sencillez de la tecnología y la módica inversión necesaria facilitaron esta innovación, que también respondía al surgimiento intenso de una demanda de fertilizantes para cultivos que entonces cobraban auge, como el algodón, el arroz y la caña.

Al revertir al Estado la concesión de De Mares y la refinería de Barranca-bermeja, y al fundarse Ecopetrol en 1950, los primeros ingenieros químicos colombianos graduados en el país comenzaron a intervenir en el manejo técnico de las refinerías y de los campos petroleros. Desde entonces, éste es uno de los sectores que más activa participación ha dado a estos profesionales.

Por iniciativa del Banco de la República, que entonces operaba la concesión de Salinas, en 1951 entró en producción la planta de soda de Zipaquirá, que en su momento fue la más grande y compleja empresa química del país. Producía cloro, soda cáustica por el proceso Solvay, carbonato de sodio, denso y liviano, y bicarbonato de sodio, producidos a partir de sal común tratada con cal viva en reactores cerrados y en columnas de absorción. Esta nueva gran empresa, que desde el principio fue activa empleadora y gran escuela para los ingenieros químicos, se constituyó gracias al crecimiento de la demanda de sus productos en muchas industrias. La favorecieron también la existencia del monopolio estatal de la sal, el previo desarrollo y tecnificación de la minería de este producto y la protección arancelaria consagrada para el cloro y los productos alcalinos en el arancel de 1951. A su existencia contribuyó decisivamente el empeño promocional del ingeniero Hernando de la Calle, funcionario del Banco de la República, el apoyo institucional y financiero que dio el IFI, así como las ventajas derivadas del monopolio del mercado con que nació esta empresa. La planta de soda (primero en Zipaquirá y después en Cartagena) ha sido siempre un excelente prototipo del nivel tecnológico y de las modalidades industriales a los cuales ha tenido que responder la preparación y el desempeño de los ingenieros químicos en Colombia.

Muchas nuevas fábricas, medianas y pequeñas, de productos químicos y materiales derivados se abrieron en el país durante los años cincuenta. En 1952, las empresas Quin de Cali e Inquinal de Medellín comenzaron a producir sulfato de aluminio para el mercado nacional. Lo hacían tratando alúmina o bauxita (hidróxido de aluminio) con ácido sulfúrico en reactor cerrado de diseño sencillo. Con este producto se respondía a la creciente demanda que planteaban los acueductos en la etapa de floculación, como parte del tratamiento de las aguas para consumo humano, y su implantación industrial se veía facilitada por la relativa sencillez de la tecnología y por la moderada cuantía de las inversiones necesarias.

Cuando entró en producción en 1954 la Siderúrgica de Paz del Río, comenzó en su coquería la recuperación de alquitrán, benzol y naftaleno como subproductos de la destilación del carbón en las retortas para elaborar coque. Paz del Río fue el resultado de un gran esfuerzo nacional alentado por los gobiernos

de su tiempo (que presidieron los ingenieros Mariano Ospina Pérez y Laureano Gómez Castro) y que aprovechó la gran ventaja representada por el descubrimiento del ingeniero Olimpo Gallo, en 1942, de los yacimientos de hierro, carbón y caliza que alimentan su alto horno. Debe también recordarse el enorme empeño profesional de su primer gerente, el ingeniero Daniel Jaramillo Ferro, y de su primer director de fábrica, el ingeniero Gabriel Agudelo. Es apenas natural que Paz del Río fuera, desde su nacimiento, un amplio campo de trabajo para los ingenieros químicos.

En 1955, la empresa Sulfácidos trasladó a Barrancabermeja su planta de fertilizantes fosfóricos para aprovechar la producción residual de ácido sulfúrico que había comenzado a obtener poco antes la refinería de petróleo de esa localidad.

En 1956, en Barranquilla, la empresa Celanese inició la producción de bisulfuro de carbono, que ella misma utilizaba en gran cantidad para fabricar filamento textil de rayón-acetato. El proceso industrial, que Celanese conocía muy bien, consistía en la reacción directa de vapor de azufre con carbón al rojo, utilizando un catalizador en reactor cerrado. La presión del mercado por una mayor producción de fibras celulósicas y la necesidad de sustituir importaciones fueron los apoyos económicos esenciales para esta nueva industria química.

La fabricación de silicato de sodio (líquido y sólido) comenzó en 1957 en Medellín, en la pequeña planta de Productos Alkalinos Alkón. El proceso de fabricación era el que siempre se ha usado y que consiste en la reacción de arena cuarcífera y soda cáustica fundidas, en retorta cerrada. Como en muchos otros ejemplos, la fabricación de silicato de sodio fue impulsada por la demanda del producto en el mercado (para industrias de textiles, jabones y otras manufacturas), a más de la necesidad de sustituir importaciones para economizar divisas.

La primera industria de tipo agroquímico fue la empresa Invequímica, iniciada en Medellín en 1957, para producir ácido 2,4 difenoxiacético y ácido 2,2,4 trifenoxiacético, que en aquella época tenían una demanda en crecimiento como matamalezas agrícolas. Se partía de ácido, fenol y alcohol etílico y el proceso consistía en hacerlos reaccionar en forma controlada en reactor autoclave, a presión, en condiciones muy precisas de temperatura, presión y catalizador. Factores cruciales que alentaron esta nueva producción fueron la protección arancelaria recibida en 1951, así como el crecimiento de la demanda de matamalezas para cultivos en expansión y tecnificados como eran entonces el algodón, el arroz y el maíz.

En 1957 entró en producción la nueva refinería de petróleo en Cartagena que también fue, desde entonces, un amplio campo de aplicación para los in-

genieros químicos, que ya eran en su gran mayoría colombianos preparados en las universidades del país.

En la misma industria del petróleo se dio otro avance favorable a los profesionales colombianos al asumir Ecopetrol, en 1959, el manejo total de su refinería en Barrancabermeja con ingenieros en su mayoría colombianos.

La fabricación de detergentes para uso doméstico fue iniciada en Cali en 1958 por la empresa extranjera Colgate-Palmolive. Como materias primas usaba ácido sulfúrico, derivados alquil-bencénicos y tripolifosfato de sodio. El proceso consistía en la sulfonación en reactor cerrado del material bencénico y en la posterior adición de tripolifosfato de sodio, seguido de secamento por aspersión. El consumo creciente de detergentes en polvo, la necesidad de sustituir importaciones y la elevada protección arancelaria dieron un amplio respaldo económico a esta innovación industrial.

Tradicionalmente, las jabonerías habían descartado las aguas glicerinosas que se producen al saponificar las grasas. En 1958, las empresas Dersa, en Bogotá, y Varela, en Cali, instalaron los equipos de evaporación y destilación para recuperar y refinar la glicerina, la cual se convirtió así en un nuevo producto de la industria química nacional. Los factores externos que llevaron a dar este nuevo paso a las jabonerías fueron la necesidad de mejorar su eficiencia económica para competir con la nueva línea de los detergentes y la necesidad de sustituir importaciones para economizar divisas.

En aquellos años se vivía un crecimiento rápido de la demanda nacional de toda clase de productos industriales, así como una severa escasez de divisas. Estas razones determinaron la iniciación, en 1958, de la empresa Colresín, en Medellín, que producía resinas sólidas de fenol-formaldehído, para abastecer las fábricas elaboradas de artículos plásticos. Su proceso químico era, en esencia, análogo al que se usaba desde 1932 en los países avanzados para producir la bakelita cuando ésta fue inventada y que consiste en la oxidación de metanol a formaldehído, seguido de copolimerización de éste con el fenol.

En 1960, la industria de fabricación de productos químicos, farmacéuticos y otros paraquímicos constituía ya un sector de considerable importancia en el conjunto industrial del país y era una de las de más rápida expansión por aquellos años. De los cuatrocientos ingenieros químicos, o poco menos, que entonces actuaban, posiblemente unos cien o ciento cincuenta estaban en fábricas de productos químicos, mientras que los restantes trabajaban en otros sectores, grandes y medianos, que crecían con rapidez como textiles, ingenios, refinerías de petróleo, curtimbres, gaseosas, papel, alimentos, vidrio, cementos, etc.

En ese momento existían facultades de ingeniería química en las universidades del Valle, Nacional (en Bogotá), de América, Industrial de Santander, del Atlántico, de Antioquia y Bolívariana. La profesión se había consolidado definitivamente y comenzaba a ganar una imagen propia a nivel nacional. El factor determinante para el auge de esta rama de la ingeniería fue el muy acelerado proceso de desarrollo industrial que Colombia había seguido desde 1940, así como la iniciativa de las universidades mencionadas de las cuales había egresado ya la mayoría de quienes ejercían la profesión por aquellos años. Eran muy pocos los ingenieros químicos graduados en el exterior.

LOS AÑOS SESENTA

El decenio de los años sesenta fue sin duda el período de más vigoroso surgimiento y expansión de las industrias químicas y petroquímicas en el país. A ello contribuyeron en forma decisiva los estímulos tributarios que consagró la Ley 81 de 1960, estímulos que se concedieron con el ánimo de impulsar las nuevas industrias que sustituyeran importaciones, entre las cuales muchas correspondían al sector químico.

Para responder al consumo creciente de fertilizantes nitrogenados en cultivos como el café, el arroz y otros, Ecopetrol y la Caja Agraria montaron en 1960 en Barrancabermeja la planta de Ferticol, destinada a producir urea y nitrato de amonio. El diseño y la tecnología de esta planta fueron suministrados por la firma italiana Montecatini y se basaban en la aplicación del método de Haber para la fijación del nitrógeno atmosférico y su combinación con el hidrógeno resultante del *cracking* del gas residual de la refinería con alto contenido de metano. El proceso consistía en la deshidrogenación catalítica del metano y en la posterior síntesis de hidrógeno con amoníaco. El proceso se realizaba en sucesivas secciones de torres de reacción, equipos de absorción, cámaras de fraccionamiento catalítico del gas y reactor cerrado para síntesis de urea. En su momento fue la más grande planta química que se conociera en el país.

Muy poco después, en el mismo año, la empresa extranjera Intercol inició en Cartagena el montaje de una planta similar, pero aún mayor, para producir amoníaco, ácido nítrico, urea y nitrato de amonio, aprovechando las grandes reservas de gas natural (metano) asociado a los crudos del campo petrolífero de Cicuco. Para producir el amoníaco se seguía el método de Haber: se oxidaba el amoníaco para obtener el ácido nítrico; por reacción del bióxido de carbón y el amoníaco se obtenía la urea y por neutralización del amoníaco con ácido

nitrico, el nitrato de amonio. Estos procesos se realizaban (y aún se hacen hoy así) en una compleja instalación petroquímica con cámaras para fraccionamiento catalítico del gas, reactor de síntesis de amoníaco, torres de nitrificación, reactor para síntesis catalítica de la urea, torres de neutralización del amoníaco con ácido nítrico, torres de absorción, evaporadores, cristalizadores y equipo de dilución. Esta fue una de las industrias químicas que surgieron gracias a los estímulos tributarios de la Ley 81 de 1960, a la protección arancelaria que se le dio en la reforma de 1959 y al financiamiento mixto de la empresa extranjera Intercol y la Corporación Financiera Colombiana.

En 1961 se montó en Cali la fábrica de papel Propal, producto que se obtenía a partir del bagazo de caña. En ella se instaló la primera planta química en Colombia para producir pulpa de celulosa para papel que trataba el bagazo de caña con soda cáustica en digestores a alta presión y temperatura. Al año siguiente, en la misma ciudad, el IFI y Cartón de Colombia construyeron la planta de Pulpapel donde, por primera vez, se fabricaba pulpa química de celulosa para papel por el método kraft, aplicado a maderas tropicales, mediante la acción de soda cáustica y sulfito de sodio. Aunque, en rigor, estas empresas no clasifican como industrias químicas, sino en el sector del papel, ellas emplearon desde sus comienzos ingenieros químicos, no sólo por la preparación específica de éstos para operar el proceso de la pulpa, sino por sus otras capacidades técnicas que les permitían manejar competentemente las máquinas Fourdrinier para elaborar papel, las plantas de reciclaje y recuperación de productos químicos y otras dependencias fabriles de estas grandes empresas papeleras.

En Barranquilla la empresa Celanese montó en 1962 una pequeña planta para producir tetracloruro de carbono mediante la reacción directa de bisulfuro de carbono y cloro, ambos en fase gaseosa, en reactor cerrado y con catalizador. El propósito era suplir las necesidades de la mencionada empresa, que requería el tetracloruro de carbono para su proceso de fabricación del rayón y que, hasta entonces, lo obtenía por importación.

En el mismo año, en Medellín, la empresa Pintuco comenzó a producir resinas alquídicas líquidas, para utilizarlas en la fabricación de sus pinturas y barnices. Su tecnología consistía en la esterificación de glicerina o pentae-ritritol con anhídrido itálico en un reactor cerrado (autoclave). Esta innovación hubo de adoptarse para responder a los cambios técnicos que se habían dado en años anteriores en la tecnología internacional de las pinturas, así como para atender el gran aumento del consumo de estos productos y para sustituir importaciones.

Del mismo año y de la misma ciudad data el comienzo de la fabricación de agua oxigenada por electrólisis de agua, en la fábrica Electroquímica Colombiana, y la fabricación de ácidos grasos por acidificación y fraccionamiento líquido de aceites vegetales y sebo, en la empresa Incolgrasos. También entonces, la empresa Penwalt inició en Betania (Zipaquirá) la fabricación de cloruro férrico para el tratamiento de aguas en acueductos y de hipoclorito de sodio para la industria textil, el tratamiento de aguas y demás usos de este reactivo industrial.

En Cali comenzó, en 1962, la fabricación de formaldehído por oxidación del metano, complementado con su transformación de resinas sólidas de fenol-formaldehído, en la fábrica de Química Borden. El formaldehído se convertía así en uno de los principales productos químicos, fundamental en la moderna industria química que se desarrollaba en Colombia. A ello contribuyó muy eficazmente la escasez de divisas que se vivía y que indujo a sustituir la importación de este producto por su producción nacional.

Poco después, en Medellín (1963), la empresa Pintuco inició la fabricación de resinas poliestéricas no saturadas a partir de anhídrido ftálico. En 1964, Cabott Colombiana comenzó a operar en Cartagena su planta de negro de humo, tanto para atender el consumo creciente de este producto, como para sustituir importaciones y aprovechar las ventajas tributarias que le daba la Ley 81 de 1960. Al mismo tiempo, también en Cartagena, Cyanamid de Colombia comenzó a producir resinas de melamina-formaldehído y resinas de urea-formaldehído, orientadas a atender el mercado nacional en expansión de tales materias primas plásticas y a sustituir las costosas importaciones de las mismas.

Desde 1960 se fabricaba en el país fibra textil de nylon-6, en la empresa Vanylon, por el simple proceso físico de extracción y filatura de los *chips* de policaprolactamo. Pero los crecientes consumos de la industria textil obligaban a procurar un mayor grado de integración "vertical" de ese proceso industrial y a producir en el país la fibra textil de poliéster saturado. Esto último sucedió en 1964, cuando la empresa Enka de Colombia comenzó a fabricar la fibra de poliéster a partir del *chip* de poliéster importado, así como fibra de nylon textil y filamento de nylon para llantas. Al año siguiente, también en Medellín, dos empresas (Enka y Colnylon) comenzaron por separado la producción de *chips* de nylon-6 (policaprolactamo).

Aquellos años intermedios del decenio de los sesenta mostraron las más altas tasas de crecimiento en la producción de las industrias químicas, así como el más acelerado proceso de diversificación de productos químicos de la industria nacional. Un claro indicador de este fenómeno fue el ascenso de la produc-

ción y consumo del ácido sulfúrico que de 19.000 toneladas en 1960, pasó a 51.500 toneladas en 1970. Lo mismo se aprecia en la producción y consumo de soda cáustica que aumentó, de un año al otro, desde 19.000 toneladas hasta 42.000 toneladas. Otro indicador, el de la producción de fibras celulósicas, saltó en ese decenio de 9.000 toneladas a 23.500 toneladas.

En 1964, dos nuevos productos químicos se iniciaron en el país. La empresa Carboquímica en Bogotá comenzó la producción de acetato de polivinilo (PVA) en emulsión, para uso en pinturas, por el proceso de polimerización del acetato de vinilo monómero (MVA) seguido de la emulsificación en agua del PVA. Al año siguiente se terminó de construir la planta de Colcarburo en Puerto Nare (Antioquia) donde se fabricaría, para utilizarlo en la producción de acetileno y en la conversión de éste en cloruro de vinilo y en PVC, carburo de calcio a partir de caliza natural tratada en horno eléctrico, con el fin de atender los aumentos en la demanda de dicho material plástico por las industrias elaboradoras. También en 1965 comenzó en Manizales la producción de hidrosulfito de sodio y bióxido de zinc, en la nueva empresa Química Suramericana (hoy, Derivados del Azufre).

Dentro de un plan de ensanche y diversificación petroquímica, Ecopetrol instaló en Barrancabermeja, en 1966, la producción de dodecil-benceno y tridecil-benceno, para suministrarlos a las fábricas de detergentes que los necesitaban como materias primas y que, hasta entonces, estaban obligadas a importarlos. Casi simultáneamente, Ecopetrol puso en operación su planta de aromáticos para producir benceno, tolueno y xilenos, todas materias primas muy necesarias para muchas otras industrias químicas y que, anteriormente, se importaban en su totalidad.

Del mencionado año data la producción en la planta que para ello instaló la empresa Dow Química en Mamonal (Cartagena), de poliestireno de uso general, producido por polimerización con catalizador del estireno monómero importado. También entonces, Celanese montó en Barranquilla su planta para fabricar celofán. Simultáneamente, en Cali, Phillips Petroquímica montó otra planta para producir negro de humo por combustión del *fue-oil*.

Dentro de su plan de diversificación petroquímica, Ecopetrol completó y puso en producción su planta de parafina sólida, por separación de los hidrocarburos, en Barrancabermeja, en 1967. Y en esos días, la planta Colombiana de Soda inauguró en Cartagena su complejo para producir cloro, soda cáustica Solvay, soda cáustica electrolítica, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio y cloro a partir de sal de mar y de calizas, con la ya entonces muy conocida tecnología de cloro-soda, pero que con el transcurso del tiempo ha experimen-

tado, en esta planta, muchísimos problemas tecnológicos y económicos. La misma empresa instaló en 1968, en el complejo de Betania, una planta de sulfuro de sodio.

Como producto intermedio para producir plastificantes y resinas poliestéricas no saturadas, se inició en 1968 la producción de anhídrido ftálico en la empresa carboquímica, en Bogotá, y en la empresa Andercol, en Medellín. Ambas usan el proceso de oxidación catalítica del ortoxileno en reactor a alta presión y temperatura y la separación del producto por sublimación y condensación. Con este material las mismas empresas establecieron la producción de plastificantes como el di-octilftalato (DOP), el di-nonil-ftalato (DNP) y otros de este mismo grupo.

La empresa Petroquímica Colombiana había comenzado, en 1966, a producir en su planta de Cartagena el cloruro de polivinilo por polimerización del cloruro-vinilo-monómero importado. Pero en 1968, integró a su proceso la producción de este último usando etileno importado y cloro de la vecina planta de soda. Esto era un interesante avance en el terreno de la síntesis orgánica industrial, que en años posteriores adelantó otra etapa para entrar a producir el cloruro de etileno.

Una pequeña empresa se formó en 1969 en Bogotá para producir ácido benzoico por oxidación del tolueno de Ecopetrol. Se trataba de una innovación industrial en el campo, llamada de *química fina*, para producir un material de gran consumo en las industrias de alimentos, bebidas y textiles.

En 1970 entró en producción, en Barranquilla, la planta de Monómeros Colombo-Venezolanos, que era y sigue siendo el mayor complejo químico industrial que hay en el país. Su objeto es múltiple. Produce caprolactamo a partir de benceno como materia prima para fabricar *chips* de nylon. Produce también urea, amoníaco, fertilizantes nitrogenados a partir de gas natural y abonos mixtos, importando roca fosfórica. Además, tiene sus propias plantas de ácido nítrico intermedio y ácido sulfúrico. Esta empresa ha utilizado siempre la mejor tecnología conocida para ejecutar estos procesos. Dado su carácter y su tamaño, es uno de los campos de trabajo más adecuados en Colombia para el desempeño de la ingeniería química en todas sus facetas.

En 1971 se estableció en Cali la empresa Sucromiles para producir ácido acético y ácido cítrico por fermentación de melazas, culminando el propósito, mencionado desde 1962, de iniciar las hasta entonces fracasadas industrias sucroquímicas.

En 1971, en Manizales, la empresa Progel inauguró la primera planta para fabricar gelatina comestible en el país, utilizando para ello subproductos de matadero. También entonces, en Barrancabermeja, Ecopetrol terminó de insta-

lar una pequeña unidad para separar etileno gaseoso de los gases residuales de las refinarias. Tres años después ensanchó esta unidad y agregó una planta de polimerización para obtener polietileno de baja densidad con el ánimo de abastecer las necesidades, progresivamente mayores, de los fabricantes de artículos plásticos.

Para integrar más completamente su proceso de producción de fibra poliésterica, la empresa Enka de Medellín instaló en 1972 el primer reactor para obtener *chip* de poliéster por policondensación del dimetil-tereftalato con el etilén-glicol, insumos que hasta hoy siguen siendo totalmente importados. En este proceso se obtenía metanol secundario como subproducto y, por esta razón, una filial de Enka instaló tres años después los equipos para recuperar el metanol y refinarlo por destilación.

LOS ULTIMOS TIEMPOS

Desde entonces hasta nuestros días, la industria química en Colombia ha tenido un gran crecimiento en su actividad, en su producción y en sus instalaciones, pero no ha registrado una diversificación tan intensa como en los años sesenta. Durante los años de 1974 hasta hoy (1987), casi ninguna nueva planta química ha surgido en el país. En el período reciente se han dado, en general, tres formas de crecimiento industrial en el sector químico:

1. Incrementos cuantitativos en la producción de materiales elaborados desde tiempo atrás.
2. Utilización de los productos obtenidos para fabricar derivados dentro de las mismas fábricas.
3. Desagregación de los productos en distintas variedades según especificaciones y presentaciones cada vez más variadas y detalladas.

Aparte de las industrias químicas propiamente dichas, los ingenieros químicos han encontrado numerosas nuevas oportunidades profesionales en el crecimiento y la tecnificación de sectores fabriles que incluyen la realización de procesos químicos, bioquímicos o fisicoquímicos, como ocurre en industrias de grasas vegetales, ingenios azucareros, alimentos comestibles, cervecerías, gaseosas, tabaco, caucho, curtimbres, cementos, cerámicas, vidrio, metal-mecánicas y otras diversas.

Con la tecnificación de la industria colombiana ha ido parejo un adelanto de los pñsumes y de los sistemas de enseñanza de las facultades de ingeniería química, las cuales han delimitado más estrechamente el campo de su enseñanza en los últimos tiempos, pero lo han profundizado de manera considerable, así como han elevado sustancialmente sus niveles académicos. Estas facultades dan hoy una formación básica menos amplia que en el pasado, pero han mejorado e intensificado mucho la preparación en áreas específicas de la profesión tales como estequiometría, transferencia de masa y de energía, cinética química, diseño de reactores, análisis y balance de procesos, termodinámica química, diseño de equipos, procesos químicos industriales y otras. En las páginas siguientes se muestran las actividades, tareas y temas que debe dominar hoy en día un ingeniero químico y el pñsum típico de una facultad de ingeniería química en 1950.

CONOCIMIENTOS TECNICOS ESENCIALES DEL INGENIERO QUIMICO DE HOY

- Propiedades químicas y físicas de minerales, metales y compuestos inorgánicos
- Propiedades químicas y físicas de compuestos orgánicos
- Aplicaciones y usos de materiales inorgánicos y orgánicos
- Principios, propiedades y cinética de las reacciones químicas
- Procesos químicos esenciales en la industria
- Termodinámica química y sus aplicaciones
- Bioquímica y sus aplicaciones industriales
- Eletroquímica y sus aplicaciones industriales
- Métodos y equipos para análisis químico
- Métodos y equipos para síntesis de productos químicos
- Radioquímica y sus aplicaciones industriales
- Diseño de reactores químicos
- Diseño de equipos y máquinas para procesos químicos industriales
- Principios, propiedades y aparatos en las operaciones unitarias industriales
- Balances de materia y de energía en procesos industriales
- Principios y operación de motores de combustión interna
- Principios y operación de calderas, quemadores y demás equipo térmico
- Principios y operación de aparatos y procesos de refrigeración
- Principios y operación de aparatos y procesos de conducción de fluidos

- Nociones de diseño y operación de máquinas, equipos y operaciones mecánicas
- Procesos metalúrgicos químicos y físicos y sus aplicaciones industriales
- Programación y manejo de computadores
- Conceptos básicos y cálculos de la economía de procesos y sistemas industriales
- Principios y operación de máquinas eléctricas industriales
- Principios y operación de máquinas para manejo y tratamiento de sólidos
- Diseño y construcción de instalaciones industriales
- Química de aguas y sus aplicaciones industriales
- Normas y regulaciones legales sobre procesos, productos, subproductos y ambientes industriales
- Métodos básicos de fabricación de productos y materiales químicos y parquímicos
- Propiedades y aplicaciones de metales, plásticos, vidrios, cerámicas y otros materiales para equipos de procesos y operaciones.

PENSUM TIPICO DE UNA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA EN 1950

Primer año

Algebra	Mineralogía y geología
Química general y laboratorio	Topografía (semestral)
Física	Dibujo
Trigonometría (semestral)	

Segundo año

Cálculo	Análisis químico cuantitativo (inorgánico)
Geometría analítica	Física y laboratorio
Química inorgánica y laboratorio	Dibujo
Análisis químico cualitativo (inorgánico)	

Tercer año

Fisicoquímica y laboratorio
Química orgánica y laboratorio
Mecánica analítica

Química industrial
Electrotecnia y laboratorio
Dibujo

Cuarto año

Termodinámica
Dibujo industrial
Química industrial

Operaciones unitarias y laboratorio
Resistencia de materiales y concreto
(semestrales)

Quinto año

Química industrial
Estadística (semestral)
Contabilidad (semestral)
Administración

Economía
Operaciones unitarias y laboratorio
Diseño de plantas

ANEXA 1

Lista de activități și servicii realizate în cadrul proiectului de cercetare științifică în domeniul...

ANEXA 2

Lista de activități și servicii realizate în cadrul proiectului de cercetare științifică în domeniul...

ANEXA 3

Lista de activități și servicii realizate în cadrul proiectului de cercetare științifică în domeniul...

Capítulo 9

AÑOS CINCUENTA

CONOCIMIENTOS ESENCIALES DE LA INGENIERIA

Para la época de la segunda guerra mundial, ya todas las concepciones sobre la ingeniería y la tecnología provenían de los Estados Unidos. La influencia francesa, dominante y muy fuerte hasta los años veinte, fue sustituida más o menos rápidamente en el período de la Gran Crisis por la influencia norteamericana. Sería muy largo explorar y explicar cuáles fueron las causas económicas, técnicas y políticas de esa sustitución. De todas maneras, aquella antigua concepción francesa del ingeniero como *ingenieur du génie civile ou chimique, ou électrique* fue remplazada por la del simple *engineer* (*civil, chemical, electrical, etc.*) de los norteamericanos.

Por esto es interesante mostrar qué era lo que en los Estados Unidos (y también en Colombia) se consideraban como conocimientos básicos para los ingenieros de todas las especialidades en la época posterior a la transición. Con este fin, es conveniente exhibir el contenido del Handbook of Engineering Fundamentals, preparado por un conjunto de especialistas, dirigido y editado por el profesor Ovid W. Eshbach, de la American Telephone and Telegraph Company en Nueva York, y dirigido a presentar las áreas fundamentales de conocimiento necesarias para todos los ingenieros en sus distintas especialidades. El libro apareció en 1936 y en 1950 llevaba ya diez reimpressiones, sin cambios en su contenido, lo cual indica su amplia aceptación y la gran propiedad con que abarca el panorama global básico y común de las ciencias de la ingeniería en aquel momento.

A continuación se intentará dar aquí una visión resumida de la tabla de contenido del libro de Eshbach, tal como aparece en la 9ª reimpresión de 1945.

- Sección 1. Tablas matemáticas y físicas, símbolos y abreviaturas, tablas matemáticas, propiedades físicas de materiales, tablas de factores de conversión, unidades de pesos y medidas, calibres y tamaños estructurales normalizados.
- Sección 2. Matemáticas, aritmética, álgebra, matemáticas financieras, geometría, trigonometría, geometría analítica plana, geometría analítica sólida, cálculo diferencial, cálculo integral, ecuaciones diferenciales, transformación de Laplace, funciones de variables complejas, análisis vectorial, nomografía y precisión de mediciones.
- Sección 3. Unidades físicas, sistemas de dimensiones, sistemas de unidades, unidades y patrones y análisis dimensional.
- Sección 4. Mecánica teórica, estática, cinemática y cinética.
- Sección 5. Mecánica de materiales, esfuerzos simples, vigas, columnas, ejes, cilindros, placas, rodillos y juntas remachadas, concreto reforzado y pruebas de materiales.
- Sección 6. Mecánica de fluidos, propiedades de los fluidos, divisiones de la mecánica de fluidos, estática de fluidos y dinámica de fluidos.
- Sección 7. Termodinámica de ingeniería, principios de termodinámica, gases, líquidos y vapores, la planta de potencia de vapor, el motor de combustión interna, refrigeración, mezclas de gases y vapores, humedad y aire acondicionado.
- Sección 8. Electricidad y magnetismo, teoría de los electrones, circuitos de corriente directa, electrocinética y circuitos magnéticos, electrostática y el circuito dieléctrico, circuitos de corriente alterna, transformadores y conducción de electricidad en sólidos y fluidos.
- Sección 9. Radiación, luz, acústica y meteorología, teoría de la radiación, geometría de la radiación, física de la radiación, fisiología de la radiación, acústica y meteorología.
- Sección 10. Química, química general, química industrial, análisis cualitativo y electroquímica.
- Sección 11. Materiales metálicos, propiedades generales de metales y aleaciones, corrosión de metales, hierro y acero, cobre y aleaciones del cobre, zinc y aleaciones del zinc, aluminio y aleaciones del aluminio, níquel y aleaciones no ferrosas del níquel, magnesio y aleaciones del magnesio, tungsteno, aleaciones para fundición por inyección, metales para cojinetes, materiales para soldaduras, ma-

teriales conductores eléctricos, materiales magnéticos y materiales misceláneos.

Sección 12. Materiales no metálicos, cemento, concreto, cal, mortero y estuco, piedra, ladrillo y terracota, refractarios, materiales para aislamientos térmicos, madera, pinturas, esmaltes, barnices y lacas, materiales aislantes eléctricos, lubricantes, combustibles y explosivos, materiales adhesivos y materiales misceláneos.

Sección 13. Contratación y contratos.

LA DIVERSIFICACION DE LA INGENIERIA

Al iniciarse el decenio de los años cincuenta, decir ingeniería era aún sinónimo de ingeniería civil o ingeniería de minas. Sólo comenzaba a manifestarse como distinta de estas dos ramas la ingeniería química, cuyos primeros egresados habían salido de la Universidad Bolivariana en 1943 y de la Universidad de Antioquia en 1947. Además, ya actuaban unos poquísimos ingenieros electricistas e ingenieros mecánicos formados en los Estados Unidos. La ingeniería industrial, como profesión, era aún desconocida entre nosotros, lo mismo que otras especialidades que hoy abundan como la metalúrgica, la electrónica o la de sistemas.

Al terminar la segunda guerra mundial, el país entró en una fase de rápida industrialización. Nuevas fábricas aparecían año tras año en Medellín, Bogotá, Cali y Barranquilla. Las fábricas antiguas se ensanchaban. Las ciudades crecían y, con ellas, sus necesidades de electricidad, agua, transporte y demás servicios. Era evidente que el país requería nuevas especialidades que los ingenieros civiles tradicionales ya no alcanzaban a suplir.

Fue así como se fundó en 1948 la Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga, con tres escuelas: ingeniería mecánica, ingeniería química e ingeniería eléctrica. En 1949 se abrió la Universidad de los Andes con programas académicos en varias ingenierías (civil, química, mecánica y eléctrica), cuyos primeros año se cursaban en el país, para ir luego a los Estados Unidos a cursar los últimos. También en 1949 se creó la Universidad del Valle, que abrió, entre otras, una facultad de ingeniería electromecánica. En el mismo año, la Universidad Nacional abrió una facultad de ingeniería civil en Manizales y se creó en Barranquilla la Universidad del Atlántico con una facultad de ingeniería química.

En 1950 comenzó en Bogotá la Universidad La Gran Colombia con una facultad de ingeniería civil. En el mismo año, la Universidad Bolivariana inició en Medellín la carrera de ingeniería eléctrica. En 1952 se abrió la Universidad de América, en Bogotá, con facultades de ingeniería química, ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica. Entre 1954 y 1957 existió, transitoriamente, la Universidad de San Luis con facultades de ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica. La Universidad Bolivariana, atenta al desarrollo industrial de Medellín, abrió en 1956 su escuela de ingeniería mecánica.

INGENIERIA E INGENIEROS AL MEDIAR EL SIGLO XX

En 1950 había ya ocho facultades de ingeniería civil: una en Popayán, cuatro en Bogotá, una en Cartagena, una en Medellín y una en Manizales; una facultad de ingeniería de minas en la Escuela de Minas, en Medellín; siete facultades de ingeniería química en las universidades del Valle, Nacional, los Andes, Santander, Atlántico, de Antioquia y Bolivariana; dos de ingeniería eléctrica en las universidades de Santander y Bolivariana; una de ingeniería mecánica en Santander; una de ingeniería electromecánica en el Valle y dos de ingeniería de petróleos en la Escuela de Minas y en la Universidad de Santander. No había facultades de ingeniería industrial ni metalúrgica ni de las muchas otras especialidades que han surgido después.

Como es lógico, todas las facultades de ingeniería basaban su plan de estudios en las matemáticas: aritmética analítica, álgebra, geometría métrica, trigonometría, geometría analítica plana, geometría descriptiva, cálculo diferencial y cálculo integral. En las mejores facultades de ingeniería civil se avanzaba hasta cálculo vectorial y ecuaciones diferenciales ordinarias. No había álgebra lineal como asignatura y se podían hacer dos o tres semestres de física general y de química general, con prácticas de laboratorio; al mismo tiempo, en algunas facultades se enseñaban métodos gráficos y numéricos para resolver ecuaciones o nomografía. Así mismo, todas las facultades en todas las especialidades de ingeniería daban uno o dos semestres lectivos en cada una de las siguientes asignaturas: dibujo técnico, mecánica analítica, electricidad (o electrotecnia), resistencia de materiales, hidráulica (o flujo de fluidos), concreto reforzado, metalurgia (extractiva y física), termodinámica, estadística y economía general. Los laboratorios de práctica para estas asignaturas técnicas eran pocos, mal dotados y poco utilizados, aunque mucho mejores que diez o veinte años atrás, cuando eran casi inexistentes.

Como asignaturas profesionales en ingeniería civil se daba: topografía (o agrimensura), trazado de vías, geología, mineralogía, construcción mecánica de suelos, diseño de concreto, hidráulica aplicada y astronomía de posición, cada una en uno o dos semestres lectivos. En ingeniería química había como asignaturas profesionales química orgánica, química analítica (cualitativa y cuantitativa), fisicoquímica, procesos unitarios (o balances de materia y energía), química industrial aplicada, operaciones unitarias y, a veces, materiales de ingeniería.

Los estudiantes de ingeniería mecánica cursaban en su campo específico las asignaturas de diseño de máquinas (o mecanismos), resistencia de materiales avanzada, cinemática, materiales y procesos, estructuras, mecánica de materiales, fundiciones, máquinas térmicas, calderas, combustión y máquinas hidráulicas.

En ingeniería eléctrica se daba: circuitos (de C.C. y de C.A.), máquinas rotativas (de C.C. y de C.A.), electroquímica, electrónica general, transformadores, centrales eléctricas, líneas de transmisión, redes de distribución, instrumentos de medición, controles, telefonía y radiocomunicaciones. No había aparecido aún la ingeniería electrónica y el ingeniero electricista era el llamado a cubrir las pocas plazas que en ese momento podía ofrecer el país en aquella especialidad.

La única facultad de ingeniería de minas ofrecía geología estructural, paleontología, petrografía, explotación de minas, geología colombiana, metalurgia extractiva, metalurgia física, geofísica (prospección) y geología económica.

En 1950 había ya alrededor de mil ingenieros civiles, casi todos graduados en el país, excepto unos pocos que habían estudiado en los Estados Unidos. Muchos de los egresados de la Escuela de Minas tenían, simultáneamente, grado como ingenieros civiles y de minas. Habría unos cien ingenieros de minas graduados en Medellín y unas pocas decenas de ingenieros de petróleo, parte formados en el país y parte en el exterior. Quizá no había más que unos cincuenta ingenieros electricistas, igual número de ingenieros mecánicos, formados casi todos en los Estados Unidos. Los ingenieros industriales posiblemente eran más escasos, y todos habían estudiado en Norteamérica. Ya algunos ingenieros civiles comenzaban a salir al exterior en busca de estudios de posgrado, pero en número muy pequeño.

Sería imposible enumerar a los muchísimos ingenieros que ya habían alcanzado un nivel de prestigio en la profesión. Pero no puede menos de citarse los de José Gómez Pinzón, César García Alvarez, Luis Uribe Piedrahíta, Alfredo Bateman, Gustavo Rojas Pinilla, Jorge Acosta Villaveces, Ignacio Villave-

ces, Pío B. Poveda, Benjamín Burbano, Carlos Garther de la Cuesta, Antonio Restrepo Alvarez, Gabriel Hernández, Germán Orozco, Horacio Toro Ochoa, Isaías Cuartas, Gregorio Mejía, Jorge Mejía, Bernabé Ramírez, Mariano Melendro Serna, Rubén Piedrahíta Arango, Cipriano Restrepo Jaramillo, Carlos Sanz de Santamaría, Hernán Echavarría Olózaga, Gabriel Durana Camacho, José Vicente Dávila Tello, Juan de Dios Ceballos, Benjamín Alvarado, Joaquín Prieto Isaza, Vicente Suárez Hoyos, Olimpo Gallo, Julián Moreno Mejía, Enrique Uribe White, Hernando de la Calle, Gabriel Agudelo, Otto de Greiff Haeusler, Julio Carrizosa Valenzuela, Eduardo Caro, Hernán Arango, Luis Emilio Sardi, Carlos Drews, Juan de Dios Cock, Rafael Hernández Pinto, Hernán Garcés, Nicolás Torres, Leopoldo Guerra Pontocarrero, Pedro Nel Gómez, Florencio Mejía, Alberto Jaramillo Sánchez, Emilio Montoya Gaviria, Espiritusanto Potes, Enrique Ariza, Julián de la Cuesta, Vicente de la Cuesta, Jorge Villa Carrasquilla, Juan de Dios Higueta, Luis de Greiff Bravo, Francisco de Paula Mira, Peter Santamaría, Gabriel Serrano, Darío Botero Isaza, Ramón Salas Trujillo, Julio Jiménez, Jorge Restrepo Uribe, Antonio Durán, Gerardo Botero, Marco Aurelio Arango, José Vicente Dávila Tello, Alvaro Díaz, Manuel Ramírez Montúfar, Alfredo Bassani, etcétera.

Ellos y muchos otros habían ganado justo mérito como constructores de ferrocarriles y de carreteras, proyectistas y calculistas de edificios, profesores universitarios, organizadores de empresas, directores de ferrocarriles, ministros de obras, técnicos industriales, diseñadores y constructores de acueductos, proyectistas y constructores de centrales eléctricas, gerentes de servicios públicos, asesores de gobiernos, impulsores de grandes obras públicas, militares-ingenieros, gerentes de industrias, gobernantes, escritores, financistas, propulsores de la cultura, innovadores agrícolas, hidrólogos, geógrafos, estadísticos, economistas y de muchas otras formas.

No es fácil establecer con rigor y nitidez científica en qué forma incidió la preparación académica específica en las realizaciones profesionales de estos hombres. 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, que establecía un mecanismo de selección intelectual severa sobre los aspirantes a ingenieros.
2. La preparación polivalente en ciencias de la ingeniería (mecánica, electricidad, resistencia de materiales, termodinámica, hidráulica, metalurgia) habilitaba a todos los ingenieros (civiles y otros) para arrostrar tareas muy variadas de la profesión, aplicadas 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 ya 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, el decreto 1782 de 1954.

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

Ingeniería 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
- Universidad La Gran Colombia, en Bogotá

Ingeniería química

- Universidad Nacional, en Bogotá
- Universidad Bolivariana, en Medellín
- Universidad de Antioquia, en Medellín
- Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga
- Universidad del Valle, en Cali
- Universidad del Atlántico, en Barranquilla
- Universidad de América, en Bogotá

Ingeniería eléctrica

- Universidad Industrial de Santander
- Universidad del Valle
- Universidad de San Luis, en Bogotá

Universidad Bolivariana
 Universidad de los Andes
 Universidad de América

Ingeniería mecánica

Universidad Industrial de Santander
 Universidad de los Andes
 Universidad de América
 Universidad del Valle (ingeniería electromecánica)

Ingeniería de minas e ingeniería de petróleos

Escuela de Minas
 Universidad Industrial de Santander

LAS MATEMATICAS EN LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA

Desde que se comenzó a enseñar ingeniería en el Colegio Militar de Ingeniería en 1848, se le dio una enorme importancia a las matemáticas como base para la formación del ingeniero. Esta orientación ya había sido establecida firmemente en Europa, donde había alcanzado su más alta expresión en la École Polytechnique de París, pero así mismo había sido adoptada como una necesidad obvia en todos los centros de preparación para ingenieros militares y civiles en Europa. Esa fue la tradición que trajeron personas como don Lino de Pombo, el coronel Joaquín Acosta y el coronel Agustín Codazzi.

Las matemáticas que se daban en nuestras escuelas de ingeniería cambiaron muy poco durante todo el siglo pasado y, aún, durante los primeros cuarenta o cincuenta años del siglo XX. Ellas incluían los siguientes temas:

- Aritmética: algoritmos de las cuatro operaciones, números primos, máximo común denominador, mínimo común múltiplo, logaritmos, series aritméticas, series geométricas, razones y proporciones, intereses, descuentos y anualidades, ecuaciones diafánticas, bases de numeración no decimal, congruencias y algunos teoremas sobre números primos.
- Geometría: punto, línea, espacio, ángulos planos, proporcionalidad, semejanza, propiedades de triángulos, paralelismo, la métrica del plano, igualdad de figuras, áreas de figuras, la circunferencia, sus propiedades y su métrica, las secciones cónicas, cuerpos sólidos, ángulos diedros, perpendi-

- cularidad y paralelismo entre planos y rectas, simetría, rotaciones, sólidos de revolución, áreas y volúmenes, cilindros y esfera.
- Trigonometría: cuadrantes del plano, razones trigonométricas, identidades trigonométricas en el plano, resolución de triángulos planos, triángulos esféricos, relaciones métricas en el triángulo esférico y resolución de triángulos esféricos.
 - Álgebra: polinomios algebraicos, factorización, algoritmos algebraicos, la función lineal, series infinitas, ecuaciones algebraicas, determinantes, sistemas lineales de ecuaciones, números complejos (o imaginarios), raíces de ecuaciones algebraicas y sistemas de segundo grado.
 - Cálculo: función, diferencial y derivada, reglas de derivación, teoremas sobre derivadas de funciones, máximos y mínimos, teoremas de Maclaurin y de Taylor, tangentes y curvas oscilantes, evolutas e involutas, integral, fórmulas de integración, áreas y volúmenes, otras aplicaciones físicas, integrales sucesivas, integrales múltiples, derivadas parciales, integración parcial y aplicaciones de integrales múltiples.
 - Geometría analítica: coordenadas cartesianas, curvas y gráficas, la recta en el plano, el círculo, la elipse, la parábola, la hipérbola, otras curvas notables (espirales, catenaria, cicloide), el plano en el espacio, rectas en el espacio, superficies regladas, cilindro, esfera, elipsoides y paraboloides.
 - Geometría descriptiva: axonometría, rebatimientos, secciones, intersecciones, proyecciones y perspectiva.
 - Mecánica analítica: fuerzas, sistemas de fuerzas, sistemas de partículas, equilibrio, gravitación, dinámica de sistemas, trabajo, energía y potencia, equilibrio y trabajos virtuales y ecuaciones de Lagrange.

Los cursos de dibujo se consideraban como parte de la formación matemática del ingeniero. En realidad, al estuche de instrumentos de dibujo (compases, tiralíneas, etc.) se le denominaba "caja de matemáticas". También la astronomía y la geodesia se consideraban parte integrante de las matemáticas, en un sentido amplio, así como la misma física.

Solamente en los años sesenta, las universidades comenzaron a graduar matemáticos y licenciados en matemáticas. Hasta entonces, las matemáticas sólo se enseñaban en las facultades de ingeniería y los profesores de matemáticas eran ingenieros, entre quienes se han distinguido por su alta calidad o por su largo ejercicio de la docencia Lino de Pombo, Indalecio Liévano, Manuel Ponce de León, Manuel H. Peña, Luis Tisnés, Diodoro Sánchez, Ricardo Lleras

Codazzi, Jorge Rodríguez Lalinde, Augusto Aragón, Julio Garavito Armero, Darío Rozo, Jorge Villa Carrasquilla, Jorge Acosta Villaveces, Julio Carrizosa Valenzuela, Leopoldo Guerra Portocarrero, Eduardo Caro, Belisario Ruiz Wilches, Jorge Alvarez Lleras, Gustavo Perry Zubieta, Otto de Greiff Haeusler, Luis de Greiff Bravo, Jorge Mejía, Francisco de Paula Mira, Alejandro Delgado Trillos, Armando Chávez, Gabriel Poveda Ramos, Antonio Vélez Montoya y Jairo Alvarez, por mencionar solamente aquellos con una mayor labor académica.

A partir de los años sesenta y setenta de nuestro siglo XX, áreas como la geometría euclidiana y la geometría descriptiva se han relegado a segundo término o se han suprimido absurdamente en muchas carreras de ingeniería y en varias facultades. En cambio, se han intensificado muchísimo algunas materias como álgebra lineal, ecuaciones diferenciales ordinarias, funciones de variable compleja, transformaciones integrales y análisis numérico. La estadística ha sido profundamente "matematizada" y disciplinas nuevas, como la investigación de operaciones, han entrado a muchos pénsumes.

AVANCES DE LA INGENIERIA Y DE LA TECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA

Como hemos visto a lo largo de esta historia, el decenio de los cincuenta fue rico en nuevas manifestaciones de desarrollo industrial que contribuyeron decisivamente a establecer, con perfil propio, nuevas áreas de la ingeniería como la química, la mecánica, la eléctrica y la industrial. Así como la electricidad traía aparejada la necesidad de ingenieros civiles y de ingenieros electricistas, este desarrollo industrial traía la necesidad de más y mejores ingenieros químicos, mecánicos, civiles e industriales.

Por ejemplo, entre 1950 y 1953, muchas antiguas fábricas modernizaron sus equipos, incorporaron novedades como los sistemas generales de control y de medición mediante instrumentación electrónica, nuevos sistemas de manejo de sólidos, calderas más grandes, máquinas-herramientas de control numérico, acondicionamiento central de aire y otras.

En 1951 se creó la Empresa Colombiana de Petróleo, Ecopetrol, la cual recibió en reversión la concesión petrolera de De Mares y la refinería de Barrancabermeja. A través de dicha empresa se afianzó el dominio de los ingenieros de minas y de los geólogos colombianos en las técnicas de exploración de petróleo y de gas, perforación de pozos y operaciones de refinación. Es así

como aparecen en la formación de algunos ingenieros y en la práctica de su profesión, ciencias como la geología estructural, la geofísica, la paleontología y otras, fundamentales para el trabajo en petróleos y en minería subterránea.

La primera fábrica de papel en el presente siglo se instaló en Cali en 1950 con el fin de hacer papeles y cartones para cajas de empaque. Fue montada por ingenieros extranjeros, pero a los pocos años, ya los ingenieros químicos y mecánicos 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 en Zipaquirá, se inauguró en 1951 y fabricaba soda cáustica, carbonato de sodio y bicarbonato de sodio por el proceso Solvay. El proceso fue inventado en Bélgica en 1861 y entró al país gracias a la abundancia de sal mineral en esa localidad y a la considerable demanda que por esos productos químicos había generado la industrialización. La idea de la planta fue concebida por el ingeniero colombiano del Banco de la República, Hernando de la Calle, funcionario de las salinas.

La existencia de la planta de soda puso a los ingenieros químicos colombianos que ayudaron a instalarla y a operarla en contacto con equipos antes no conocidos en el país, como la torre de absorción continua de gases y la celda electrolítica industrial. Así se abrió campo el desarrollo tanto de la industria química básica cuanto de la ingeniería química como profesión bien definida. Quedaba claro que ésta era una nueva rama de la ingeniería, apoyada en las tres ciencias básicas clásicas (matemática, física y química) y con áreas de conocimiento propias y específicas, como las operaciones unitarias, la termodinámica química, los procesos unitarios y el diseño de plantas, entre otras disciplinas que las correspondientes facultades de esa profesión ya habían incluido o estaban incluyendo en sus pñsumes de estudio. La planta de soda de Zipaquirá, además, se constituyó como prototipo para el posterior desarrollo de la industria química pesada que vendría pocos años después. Esta planta, y la refinería de Barrancabermeja, fueron los primeros grandes campos de entrenamiento para nuestros ingenieros químicos.

La inauguración de la siderúrgica de Paz del Río, en 1954, coronó un gran trabajo hecho, en buena parte, por ingenieros colombianos con la ayuda de ingenieros metalúrgicos e ingenieros mecánicos franceses. Colombianos fueron desde Olimpo Gallo, quien descubrió en 1937 los yacimientos de mineral, hasta Gabriel Agudelo y Daniel Jaramillo Ferro, los gerentes de planta que iniciaron la producción. En ese momento, cuando aún no había en Colombia ninguna experiencia en esta siderurgia integrada ni ninguna escuela de ingeniería metalúrgica, Paz del Río pudo ser manejada por ingenieros civiles, de mi-

nas, químicos, electricistas y mecánicos colombianos. Allí, ellos aprendieron o experimentaron los conocimientos sobre minería subterránea de carbón, minería a cielo abierto de calizas y de mineral de hierro, manejo de grandes volúmenes de minerales, coquería, hornos de retorta, altos hornos, altas temperaturas, fusión de metales, siderometalurgia, el convertidor Thomas, trenes de laminación, metalurgia química, grandes motores eléctricos, metalurgia física, estructuras metálicas, grandes plantas de vapor y muchos otros equipos, operaciones, sistemas y prácticas de ingeniería, en su mayoría nuevas en el país.

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

Entre 1950 y 1954, la industria colombiana alcanzó tasas de crecimiento bastante elevadas, a la vez que entraba decididamente en un proceso de diversificación hacia la producción de materias primas artificiales que requerían procesos de mayores exigencias tecnológicas. Entre 1952 y 1959 surgieron muchas nuevas producciones industriales en el país: álcalis 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 y una nueva refinería de petróleo en Cartagena. Hubo, además, grandes ensanches en fibras celulósicas, cloro electrolítico, cemento gris, pinturas, industria textil y fertilizantes nitrogenados, azúcar, ácido sulfúrico e industrias metalmeccánicas livianas. Fue en aquellos años cuando se montaron en el país los primeros reactores químicos tipo autoclave (cerrados, de operación intermitente), los cuales, desde entonces, serían el instrumento esencial de la ingeniería química en la industria.

Especial importancia, como industria de ingeniería química pesada, tuvo la iniciación en el país de la producción de fertilizantes nitrogenados (amoníaco, urea, nitrato de amonio, etc.) en Barrancabermeja (1959) y en Cartagena (1960). Estas dos primeras plantas venían íntegramente diseñadas y construidas desde el exterior, pero en su montaje tomaron parte activa ingenieros químicos colombianos que, rápidamente, aprendieron a operarlas y mantenerlas. Fue en 1840 cuando Justus von Liebig desarrolló la producción de nitratos artificiales para fertilizantes.

Luego, en 1910, Haber desarrolló el procedimiento para la fijación de nitrógeno atmosférico con el fin de hacer productos nitrogenados. Estas tecnologías vinieron al país hacia 1960 y pronto fueron asimiladas por los ingenieros nacionales.

OBRAS PUBLICAS EN LOS AÑOS CINCUENTA

La Ley 12 de 1949 fue promulgada por el Congreso a partir de una propuesta del gobierno del presidente-ingeniero Mariano Ospina Pérez. Esa ley estableció un plan para construir y mejorar carreteras y ferrocarriles, y para pavimentar vías en los próximos diez años. En desarrollo de esa ley, tocó al presidente-ingeniero Laureano Gómez Castro dictar el Decreto 0116 de 1951 por el cual se fijaba el plan de obras de las carreteras nacionales entre 1951 y 1954. Se reanudaba la modalidad de los planes viales que había desaparecido al expirar el plan de 1931.

Los primeros años 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, la mayor parte de ellas fue hecha por compañías contratistas extranjeras. Hasta ese momento, los ingenieros colombianos, aunque muy aptos técnicamente, no habían adquirido una capacidad financiera y administrativa que los capacitara para asumir tareas de construcción de gran tamaño. Por eso, vinieron grandes compañías constructoras norteamericanas como la Morrison Knudsen International, la Raymond Concrete Pile, la Winston Brothers y otras. Con estas empresas vino también el uso generalizado de maquinaria pesada para construcción de vías como el buldózer, la motoniveladora, el tractor de oruga, la pala mecánica y la retroexcavadora. Los ingenieros civiles colombianos se familiarizaron rápidamente con estos nuevos equipos y algunos de ellos, mejor financiados o más emprendedores, comenzaron a formar empresas constructoras nacionales que en su mayoría tuvieron resultados económicos desfavorables. De esos años data el establecimiento de las primeras firmas consultoras de ingeniería civil (como Integral, en Medellín, y Olap, en Bogotá) que ya eran capaces de asumir trabajos completos de diseño, control e interventoría de obras de más envergadura. Algunas otras se adelantaban en la construcción de grandes carreteras (v. gr. Explánicas, de Medellín) y de grandes edificios (v. gr. Cuéllar Serrano Gómez, en Bogotá; Ingeniería y Construcciones, en Medellín; Sogeico, en Medellín).

Desde 1949, y en los primeros años de la década de los cincuenta, se hicieron también las primeras obras grandes de irrigación en el país, las del río Saldaña y las del río Coello, ambas en el departamento del Tolima. Los primeros proyectos

de irrigación de las llanuras tolimeses fueron presentados desde 1926 por el ingeniero Pío Poveda, pero la Gran Crisis y la pobreza del fisco nacional habían aplazado hasta entonces su ejecución, la cual fue contratada ahora, para las tierras del río Saldaña, con una firma extranjera. Estas fueron las primeras grandes obras hidráulicas en el país (después de los ya antiguos trabajos de la Julius Bergen Konsortium en el río Magdalena) y ellas empezaron a mostrar a las facultades de ingeniería civil la necesidad de intensificar la enseñanza de la hidráulica, especialmente en los campos de conducciones abiertas y estructuras. En los años posteriores se construyeron las obras de riego del río Coello (Tolima) y, más tarde, otras varias en diversas regiones del país.

Un suceso importante para el futuro desarrollo de la ingeniería colombiana fue la creación, por parte del gobierno, en 1950, del Instituto de Fomento Eléctrico y Aprovechamiento de Aguas, Electraguas, como entidad encargada del estudio y la construcción de los nuevos proyectos eléctricos que ya eran necesarios para atender el rápido crecimiento que se experimentaba en la demanda eléctrica del país. El consumo nacional había saltado de 110 millones de kilovatios-hora en 1930, a 262 millones en 1940 y a 787 millones en 1950, en un ascenso vertiginoso, debido especialmente al crecimiento aceleradísimo de las grandes ciudades motivado por su rápido desarrollo industrial.

Además, el gobierno contrató una misión de la empresa norteamericana Gibbs and Hill y de la estatal francesa Électricité de France, para que estudiaran las posibilidades de desarrollo eléctrico de Colombia e identificaran proyectos para la futura construcción de nuevas plantas generadoras de líneas de transmisión. En ese momento, las centrales generadoras y más grandes solamente eran del orden de 20 ó 30 mil kilovatios de capacidad y las mayores líneas de transmisión eran, unas pocas, de ese orden de magnitud en potencia y de 110 mil voltios de tensión. Bogotá, Medellín y Cali ya tenían centrales hidroeléctricas. Barranquilla y otras ciudades tenían plantas térmicas e hidroeléctricas pequeñas. No había ninguna interconexión entre las ciudades pero el desarrollo eléctrico se veía venir. La misión francesa señaló en su informe de 1954 proyectos como los del río Bogotá, el río Prado, el río Nare y otros de magnitud mucho mayor de lo conocido en ese momento.

En el plano profesional, era claro que el país incrementaría sus necesidades de ingeniería eléctrica en gran medida. En respuesta a ello, se crearon facultades de ingeniería eléctrica en las universidades Bolivariana (1950), de América (1952) y de San Luis (1954), y las que ya existían ampliaron su matrícula de estudiantes. Los ingenieros civiles, con sus limitados conocimientos de electricidad, habían tenido la habilidad de atender los problemas eléctricos hasta entonces, pero ya para

el futuro la magnitud, el número y la complejidad de esos problemas planteaban la exigencia de impulsar la ingeniería eléctrica como profesión específica, con programas de estudio propio y diferenciados de la ingeniería civil.

La altas tasas de crecimiento económico durante la posguerra y durante los primeros años la década de los cincuenta produjeron un "salto cuántico" en la magnitud de las obras públicas que se iniciaban o se proyectaban en aquella época. Tal vez, la presencia en la Presidencia de la República de cuatro ingenieros civiles estimuló también ese impulso hacia mayores obras públicas. Ellos fueron, sucesivamente, Mariano Ospina Pérez, Laureano Gómez Castro, Gustavo Rojas Pinilla y Rubén Piedrahíta Arango.

El ferrocarril del Magdalena fue ideado en 1946, durante el gobierno de Ospina. En los años siguientes, se comenzaron los estudios y el trazado utilizando en forma amplia, por primera vez en Colombia, los estudios aerofotogramétricos. En 1953 se inició la construcción desde Puerto Salgar con el propósito de llevarlo hasta Gamarra. Todos los trabajos de estudio y trazado, así como gran parte de la construcción, fueron hechos por ingenieros civiles colombianos, bien fuera como empleados del gobierno, como empleados de contratistas nacionales o como empleados de empresas contratistas extranjeras. La construcción de ese ferrocarril fue otra tarea de epopeya en que el trabajo técnico hubo de vencer todas la dificultades interpuestas por la lucha contra la selva espesa, los anchos ríos, el clima insalubre, los pantanos sin fondo, el mosquito, las víboras y otros enemigos. Pero ya las comisiones de trazado y las cuadrillas de construcción tenían muchos recursos técnicos y sanitarios que diez años atrás no existían y que habían sido desarrollados por los países beligerantes en la segunda guerra: el DDT, la cloroquina contra el paludismo, las sulfas, los antibióticos, el telémetro, el jeep, el buldózer, la motoniveladora, la pala mecánica, la excavadora mecánica, el helicóptero, el *walkie-talkie*, la carpa de nylon, el radioteléfono y otros.

En 1954, el gobierno de Rojas 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 cambió el nombre a ferrocarril del Atlántico. Los trabajos de construcción prosiguieron en varios frentes. Obras especialmente imponentes dentro de ese ferrocarril fueron los dos puentes metálicos sobre el río Magdalena, en Puerto Salgar y en Puerto Berrío, diseñados y construidos por empresas extranjeras. La línea completa se terminó en 1961 y costó 600 millones de pesos de ese tiempo, cuando un dólar valía 6.70 pesos y el oro era a 35 dólares por onza.

Fue también en esos primeros años cincuenta cuando se llevó a término la total extensión de la carretera troncal de occidente: Buenaventura-Cali-Mede-

lín-Caucasia-Cartagena. Y en los últimos años de esa década se terminó también la carretera troncal de oriente: Bogotá-Tunja-Bucaramanga-Valledupar-Fundación-Santa Marta-Barranquilla. En general, toda la red de carreteras en el país se expandió ampliamente durante todos los años cincuenta y sesenta. Efectivamente: de los casi 20 mil kilómetros construidos en toda Colombia en 1950 se llegó a 37 mil kilómetros diez años después y, en 1970, la red de carreteras totalizaba unos 50 mil kilómetros. Al mismo tiempo, y desde aquellos momentos, se dejaron deteriorar muchas líneas férreas, de las cuales se ha desmantelado una gran parte de las ya construidas. Durante la primera mitad del siglo XX, la extensión de las líneas férreas creció en la siguiente forma, según McGreevey.

LINEAS FERREAS, 1904 - 1949 (km)

	1904	1909	1914	1922	1924	1949
Ferrocarril de Antioquia	66	102	205	242	439	338
Ferrocarril de Cúcuta	71	77	71	72	83	60
Ferrocarril de La Dorada	33	119	111	111	111	111
Ferrocarril de Girardot	49	132	132	132	132	132
Ferrocarril del Pacífico	43	94	234	341	678	824
Ferrocarril del Tolima	17	25	30	94	199	236
Ferrocarril Ambalema-Ibagué	-	-	-	-	65	65
Ferrocarril de la Sabana	40	40	40	55	238	200
Ferrocarril Central Norte	47	74	82	82	365	341
Ferrocarril Central Nordeste	-	-	-	-	252	253
Ferrocarril de Caldas	-	-	-	39	117	111
Ferrocarril de Nariño	-	-	-	-	97	111
Ferrocarril de Bolívar	27	27	28	28	28	-
Ferrocarril de Cartagena	105	117	105	105	105	105
Ferrocarril de Santa Marta	67	94	128	180	189	96
Otros	-	-	-	-	164	-
Total	565	901	1.116	1.481	3.262	2.983

Fuente: William McGreevey, *An Economic History of Colombia 1849 - 1930*, Cambridge University Press, 1971.

TELEVISION Y TELECOMUNICACIONES

En el año de 1954, el gobierno de Rojas trajo al país una importante innovación técnica: la televisión. A instalarla vinieron ingenieros y técnicos extranjeros, que progresivamente fueron sustituidos por colombianos. En ese momento, quizá no había en Colombia ingenieros electrónicos graduados como tales, y si los había, su número debía ser exiguo y, con seguridad, formados en el exterior. En todo caso, hubo ingenieros electricistas, técnicos de radio y prácticos electrónicos que tuvieron capacidades y aptitudes suficientes para hacerse cargo del manejo de los equipos de televisión (emisoras, transmisores y repetidores), con los cuales se empezó a adquirir la compleja tecnología electrónica de circuitos electrónicos, cables coaxiales, antenas parabólicas y demás implementos adecuados a las frecuencias ultra-altas (UHF) con altas potencias, del orden de 50 a 100 kilovatios en antena. La existencia de la televisión venía a crear una demanda adicional de ingenieros electrónicos especialistas. Desde entonces hasta nuestros días, la televisión sigue siendo un terreno de práctica para ingenieros electricistas e ingenieros electrónicos.

También los sistemas de radiocomunicaciones se expandían y modernizaban en aquellos años de bonanza económica. Así, por ejemplo, en 1954 se instalaron en Bogotá y Medellín las dos primeras centrales de télex en Colombia y, cuatro años después, ya había 15 centrales en sendas ciudades con 860 abonados. En 1955 se inauguró la red de radioenlaces por frecuencias muy altas (*Very High Frequency* o VHF) entre Bogotá, Medellín, Cali, Armenia, Pereira y Manizales. En 1959, Telecom instaló los primeros equipos MUX para el servicio telegráfico internacional con los Estados Unidos y Europa. También a nivel local se hacían importantes progresos en telefonía. En 1958, las Empresas Públicas de Medellín integraron al servicio telefónico automático varios municipios vecinos e instalaron la primera central tándem en el país. Y en 1960, la empresa de Bogotá completó 100.000 líneas e instaló la primera central local de barras cruzadas (*cross bar system*).

Intuyendo la necesidad de ingenieros electrónicos en el país, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en Bogotá, estableció hacia 1957, por vez primera en el país, dicha carrera profesional, desde luego con no pocas limitaciones académicas. Cuatro años después, en 1961, con el apoyo de Telecom, se abrió en la Universidad del Cauca, en Popayán, la facultad de ingeniería electrónica y de comunicaciones, con profesorado nacional y extranjero y con buenos equipos para experimentación y práctica. Posteriormente, hacia 1972, la Universidad Javeriana creó su facultad para la misma profesión y hacia

1965, la Universidad Pontificia Bolivariana, que formaba ingenieros electricistas desde 1950, creó la especialidad de ingeniería electrónica.

Con los estudios en esta especialidad, aparecían en nuestro medio universitario y profesional disciplinas académicas nuevas como los circuitos electrónicos, el electromagnetismo avanzado, la radiotelefonía, la lógica booleana, los sistemas digitales, los microcircuitos, los tubos de vacío, los semiconductores y otras áreas técnicas propias de esa profesión.

NOVEDADES DE INGENIERIA EN LOS AÑOS SESENTA

Los años sesenta fueron difíciles para la economía colombiana. Sin embargo, tanto en el sector público como en el privado se logró una serie de realizaciones técnicas y económicas importantes.

Para esta época, todavía los ingenieros civiles eran los de mayor número en la profesión, pero en el país ya se había formado un cuerpo importante de ingenieros de otras varias ramas: químicos, electricistas, mecánicos, de minas, de petróleos e industriales. Además, comenzaban a aparecer tímidamente otras especialidades más restringidas: metalúrgicos, de transporte, textiles y otras. Por su parte, en los primeros años de la década de los sesenta, tanto la marina en Cartagena como la aviación militar en Cali dieron a sus escuelas de preparación de oficiales el carácter de instituciones universitarias, encargadas de impartir también las carreras de ingeniería naval en la marina e ingeniería aeronáutica, en Cali.

Así mismo, en los últimos años de la década del cincuenta y primeros del sesenta se fundaron otras facultades de ingeniería. En 1960 se fundó la Universidad Tecnológica de Pereira, con ingeniería industrial e ingeniería eléctrica. En ese momento, la Universidad Nacional de Bogotá acababa de establecer, anexas a su facultad de ingeniería civil, sus propias carreras de ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica y, pocos años después, a mediados de los años sesenta, las estableció en su seccional de Manizales. En los primeros años de la década de los sesenta, la Universidad Libre, en Bogotá, creó su facultad de ingeniería metalúrgica. En el mismo momento, la Universidad del Valle abandonó, lamentablemente, su programa de ingeniería electromecánica y lo separó en ingeniería eléctrica e ingeniería mecánica. De la misma época datan las facultades de ingeniería industrial e ingeniería metalúrgica de la Universidad de Santander. A mediados de los años sesenta, la Universidad de Antioquia abrió sus facultades de ingeniería industrial, eléctrica y mecánica. Intentó esta-

blecer una de ingeniería metalúrgica pero ésta no prosperó y al poco tiempo desapareció.

Una de las instituciones que más ha servido al país para aprovechar las ciencias de la ingeniería en beneficio del desarrollo económico ha sido el Instituto de Investigaciones Tecnológicas, IIT, fundado en Bogotá en 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 IIT ha hecho importantes aportes a la tecnología industrial y agroindustrial que necesita el país. Algunos de estos aportes han sido el aprovechamiento del dividivi como curtiente, la evaluación de fertilizantes nacionales, 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 laboratorio de contaminaciones ambientales, proyectos de industrialización de frutas y verduras, desarrollo de tecnología para industrializar la soya proteínica, diseños de máquinas especiales, producción y mejoramiento de harinas vegetales, desarrollos en tecnología de maderas, numerosos estudios en metalurgia aplicada, investigaciones sobre nutrición, tecnificación de agroindustrias medianas y pequeñas (v.gr. panela, bocadillos), evaluación y análisis de productos agroquímicos, etcétera.

Durante los años sesenta, la industria nacional incorporó un buen número de tecnologías nuevas que, generalmente, llegaban aplicadas por personal extranjero, pero que los ingenieros colombianos de las fábricas aprendían pronto a dominar. Algunas de esas innovaciones fueron las siguientes:

1. La instalación en Bucaramanga de la primera forja-estampa pesada, una nueva herramienta para los ingenieros mecánicos, metalúrgicos e industriales que la han manejado desde entonces.
2. El montaje de la primera fábrica de papel de escritura a partir de bagazo de caña, en Cali, que interesa especialmente a ingenieros químicos.
3. La primera fábrica (y todavía única) para hacer vidrio plano, en Zipaquirá, en 1961, por el proceso de laminador de Fourcault (inventado en Francia en 1810), de interés para ingenieros mecánicos e industriales.
4. La iniciación del ensamble de automotores, en Bogotá, en 1961, que introdujo o mejoró numerosos productos, materiales y procesos en la industria metalmecánica.

5. Considerables ensanches en la refinería de petróleo de Barrancabermeja, donde se han entrenado y capacitado ingenieros de petróleos, químicos, mecánicos, industriales y otros.
6. El nacimiento y el vigoroso desarrollo de la petroquímica para numerosas fábricas de fertilizantes, plásticos vinílicos, derivados aromáticos, detergentes y otras. La petroquímica amplió extensamente los campos de aplicación de la ingeniería química en el país, principalmente en Cartagena, entre 1962 y 1968.
7. El comienzo de la producción de fibras textiles poliéstericas, como modelo de la ingeniería química del siglo XX, en Medellín, en 1964.
8. La gran diversificación de productos metalmecánicos y el crecimiento de esta rama industrial, en todas las ciudades a lo largo de todo el decenio, que proveyó nuevos campos de trabajo, particularmente a ingenieros mecánicos, ingenieros metalúrgicos e ingenieros industriales. Este desarrollo llevó consigo la generalización de todos los procesos metalúrgicos: fundición, maquinado, troquelado, repujado, tratamientos térmicos, soldaduras, doblado, metalografía y rayos X.
9. La fabricación nacional de circuitos impresos, a favor de la evolución de la tecnología electrónica mundial, que nos llegaba en aparatos electrónicos de consumo.

El Instituto de Fomento Industrial, como promotor e inversionista en muchas de las más grandes empresas de nuevos productos y con nuevas tecnologías, ha sido una de las más grandes impulsoras de aquellas modalidades de la ingeniería requeridas por el desarrollo industrial, como son la ingeniería de minas, la civil, la química, la mecánica, la industrial, la metalúrgica, la eléctrica y la electrónica. De hecho, la obra del IFI ha sido uno de los factores que, considerado por sí solo, más ha contribuido al desarrollo de las ingenierías mencionadas en Colombia. Entre las industrias y tecnologías nuevas que el Instituto ha incorporado al país a través de las empresas que ha creado se encuentran las siguientes:

1. El moldeo y la vulcanización de llantas a escala industrial en la empresa Icollantas, Bogotá (1943).
2. La explotación de extractos tánicos (curtientes) del mangle, Buenaventura (1942), y de extractos del dividivi, Riohacha (1963).
3. La electrólisis de la sal para producir cloro gaseoso, Bogotá (1942).

CUADRO 8
COLOMBIA: COMPOSICION DE LAS INVERSIONES PUBLICAS (Miles de pesos corrientes)

Año	Caminos	Puertos	Ferrocarriles	Obras Municipales	Agricultura	Industria	Electrificación	Edificios y viviendas	Otras inversiones	Total
1924	3.837	773	8.599	1.100	-	-	-	1.147	797	21.676
1925	8.008	1.103	12.710	2.530	-	-	-	2.003	1.469	22.057
1926	14.811	2.079	23.897	2.600	139	-	-	3.778	2.500	56.570
1927	20.656	5.003	27.175	8.500	304	-	-	4.239	1.009	61.892
1928	30.552	6.381	45.036	8.300	399	-	-	5.995	1.694	107.056
1929	20.745	2.292	20.953	6.653	483	-	-	2.883	4.041	58.056
1930	8.982	626	12.245	7.000	480	-	-	1.364	2.390	32.997
1931	7.614	459	7.169	6.550	523	-	-	1.398	1.526	25.140
1932	6.164	2.573	776	5.997	389	-	-	1.199	4.259	20.996
1933	8.123	2.630	737	5.346	614	-	-	1.367	5.850	24.667
1934	7.131	2.003	752	5.297	599	-	-	1.436	3.138	19.757
1935	8.269	2.262	1.413	5.530	693	-	-	1.224	4.913	24.304
1936	12.051	1.884	984	5.896	516	-	-	1.492	3.986	26.809
1937	15.213	1.204	1.784	6.712	3.323	-	74	3.431	5.520	37.187
1938	15.719	1.679	3.046	7.064	6.704	-	98	6.261	4.229	44.702
1939	18.000	1.800	6.500	6.423	5.910	-	96	9.200	3.177	51.010
1940	20.500	700	10.500	8.192	17.800	-	152	10.794	8.202	76.688
1941	18.900	800	5.800	8.058	22.800	987	150	7.721	-	65.066

(Continúa página siguiente)

Año	Caminos	Puertos	Ferrocarriles	Obras Municipales	Agricultura	Industria	Electrificación	Edificios y viviendas	Otras inversiones	Total
1942	17.800	1.600	7.300	11.506	31.900	1.617	46	7.194	4.361	83.278
1943	18.500	600	9.100	15.423	23.389	472	175	9.294	-	77.675
1944	26.600	700	10.800	14.200	13.300	250	231	9.894	-	75.834
1945	29.000	2.100	17.500	19.400	8.200	300	1.663	11.774	877	90.814
1946	39.300	3.200	18.900	15.900	23.000	849	7.322	15.856	22.712	139.717
1947	47.611	4.968	19.470	29.532	30.962	1.751	1.187	36.064	7.924	185.243
1948	54.008	11.597	14.498	40.743	31.265	8.924	4.637	21.452	16.685	202.101
1949	43.569	7.221	14.361	38.687	26.394	5.838	5.330	27.178	2.100	170.718
1950	56.899	5.858	14.607	28.096	27.570	11.832	27.330	28.700	2.500	206.392
1951	108.656	12.747	30.000	40.000	57.841	37.600	27.330	29.900	-	304.074
1952	78.600	20.900	34.500	47.879	59.793	72.780	22.000	33.900	-	370.352
1953										390.590

Fuente: Colombia. Estadística fiscal y administrativa. En *Anuario general de estadística*.

4. El proceso de fabricación de ácido sulfúrico por el método de contacto, Medellín (1941).
5. La acería de alto horno y convertidor Thomas, Paz del Río (1948-1954).
6. La fabricación de soda cáustica y carbonato de sodio por el proceso Solvay, Zipaquirá (1947-1951) y Cartagena (1965).
7. La torsión y cableado de hilos de acero para producir cables de acero, Bogotá (1954).
8. El hilado y tejido de fique, San Gil (1955) y Popayán (1961).
9. El lavado de carbón a escala industrial en la planta de Cali (1950-1956), que no prosperó económicamente.
10. La producción petroquímica de amoníaco y de fertilizantes nitrogenados, Barrancabermeja (1955-1959) y Barranquilla (1972).
11. La forja-estampa pesada, en frío y en caliente, en Forjas de Colombia, Bucaramanga (1959-1961).
12. La tecnología sucroquímica para fabricar ácidos orgánicos, en Sucroquímica (hoy Sucromiles), Cali (1961-1966).
13. El proceso continuo para la polimerización de cloruro de polivinilo, Cartagena (1962-1964).
14. La reacción de cloro gaseoso con hierro, a escala industrial, para la producción de cloruro férrico (1962).
15. El proceso químico para la producción de pulpa de fibra corta con maderas tropicales, en Pulpapel, Cali (1962-1967).
16. La tecnología para la construcción de motores eléctricos, Bogotá (1966).
17. La síntesis de caprolactama a partir del benceno, vía, ciclohexano, en Monómeros Colombo-Venezolanos, Barranquilla (1972).

AVANCES ELECTRICOS Y ELECTRONICOS

En 1950, el total de las potencias de las muchas pequeñas plantas generadoras existentes en el país totalizaba apenas unos 238.000 kilovatios. A lo largo de los años cincuenta, el país había entrado en el proceso de construir nuevas y mayores centrales hidroeléctricas, como las del Salto de Tenquendama y Laguneta, en el río Bogotá, la de Riogrande en Medellín, la de la Insula y la Esmeralda en el río San Francisco (Manizales), la de Anchicayá en Cali y la del río Prado, en el Tolima. La capacidad de generación eléctrica había pasado de 370 megavatios en 1950, a 915 megavatios en 1960. En 1954 se constituyó la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, para el desarrollo integrado de la cuenca de

ese río en su tramo sur y para el manejo de sus recursos eléctricos. El sector eléctrico comenzaba a convertirse en uno de los principales demandantes de ingeniería civil y el mayor usuario de ingenieros electricistas. De acuerdo con el plan eléctrico hecho por Électricité de France en 1954, comenzaba a pensarse en proyectos más grandes que vendrían después.

Los ensanches y la construcción de nuevas centrales llevaron la potencia eléctrica instalada en el país a un total de 670 mil kilovatios en 1960 y a 2.078.000 kilovatios en 1970.

Una importantísima innovación electrónica llegó al país en 1960 cuando se instalaron los primeros computadores digitales electrónicos, en la Escuela de Minas en Medellín, en las Empresas Públicas de esa ciudad y en la Empresa Eléctrica de Bogotá. El uso de esta herramienta llegaba algo tardíamente (se había desarrollado en forma plena y comercial durante la guerra mundial), pero desde que se inició no ha cesado de propagarse en toda clase de instituciones: oficiales, de servicio público, bancos, universidades, fábricas calculistas, de estadística, científicas, tecnológicas, etc. El computador se ha convertido en una herramienta casi universal e indispensable para los ingenieros de todas las especialidades. Esto ha determinado, como respuesta académica, que desde los primeros años de los años sesenta, todas las universidades con facultades de ingeniería hayan adquirido o logrado el acceso a un computador y hayan incluido en sus pénsumes de estudio la programación de computadores. Después de la máquina calculadora mecánica manual (aparecida entre nosotros a fines de los años veinte), de la regla de cálculo (en los años treinta) y de la calculadora electromecánica (primeros de la década del cincuenta), el computador venía a significar un "salto cuántico" como herramienta de cálculo para los ingenieros. La siguiente gran innovación en métodos de cómputo vendría con la calculadora electrónica de mesa, en 1969, y con la calculadora electrónica manual, en 1973. 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. Más aún: en los últimos años de la década de los sesenta, la Universidad de los Andes abrió el primer programa de formación de ingenieros de sistemas y, desde entonces, otras universidades la han imitado.

A mediados de los años sesenta, los ingenieros electrónicos presenciaron en su tecnología una revolución silenciosa pero muy importante, como fue el muy rápido abandono de los tubos de vacío (diodos, tríodos, tetrodos, pentodos) y de los tubos de gas (tiratrones) por los transistores y demás elementos semiconductores en toda clase de equipos electrónicos, radiorreceptores, televisores, radio-transmisores, controles de motores, instrumentación industrial, etc. Este cambio

implicó la introducción de nuevas asignaturas sobre la física del estado sólido en los pñsumes de ingeniería electrónica, en las facultades que la imparten.

Los ingenieros electrónicos vieron también abrirse en esos años nuevas posibilidades para su profesión con los progresos de las radiocomunicaciones y de la telefonía en su tiempo, especialmente con la introducción de las microondas, en las primeras, y con la extensión de las redes urbanas e interurbanas, en la segunda. Por ejemplo, la red nacional de conmutación telegráfica tenía ya 35 centrales en 1965 para este servicio, con 1.200 abonados de télex y 150 localidades con servicio Géntex. En total, había unos 4.000 teleimpresores en servicio en el país. En 1968 se inauguró la primera etapa de la red troncal de microondas de alta capacidad, entre Bogotá y Cali. En 1970 se inauguró la estación terrena de Chocontá para recibir y transmitir a satélites geoestacionarios. En general, la Empresa Nacional de Telecomunicaciones ampliaba y modernizaba sus servicios a todo el país y se convertía en el área principal de trabajo para los ingenieros electrónicos de las cuatro facultades que ya existían en el país: Universidad del Cauca, Javeriana, Distrital y Bolivariana.

También en ingeniería eléctrica se presentaban nuevos desarrollos nacionales. En 1964 se planteó la necesidad de interconectar los cuatro mayores centros eléctricos del país: Bogotá, Medellín, Valle del Cauca y Caldas. Los estudios los adelantaron ingenieros consultores colombianos con asesoría de algunos extranjeros. Se constituyó, en 1967, la empresa Interconexión Eléctrica S.A., ISA, y se inició la construcción de las líneas de interconexión a tensiones de 230 kilovoltios (las primeras en el país). Este fue un paso importante que le dio un gran impulso a la ingeniería eléctrica dentro del país. ISA ha construido nuevas y mayores centrales de generación que, junto con las de las otras empresas eléctricas, reunían, a mediados de 1983, casi 5.000 megavatios (5 millones de kilovatios) de capacidad generadora.

LOS AÑOS SESENTA Y EL PRESENTE

La acción más importante que ejerció la ingeniería colombiana en los años sesenta y setenta fue, sin duda, la construcción de centrales eléctricas, de líneas de transmisión y de sistemas de distribución. De centrales como la del río Prado (30 MW, terminada en 1962), la del río Sonsón (20 MW, en 1964) o la térmica de Zipaquirá I (30 MW, en 1964), los ingenieros colombianos pasaban a proyectar y a construir proyectos mucho mayores. Por ejemplo, en 1962 se iniciaron los estudios y los diseños para la gran central de Chivor, en Cundinamarca

(1.000 MW), y la de Guatapé, en Antioquia (800 MW). Una y otra se comenzaron a construir a fines de los sesenta y fueron terminadas a mediados del decenio de los setenta. En este mismo decenio se terminaron otras grandes centrales hidroeléctricas como las de Mesitas (Cundinamarca), Alto Anchicayá (Valle) y Calima II (Valle). Además, se inició la construcción de Chivor II, San Carlos y los estudios del río Cauca para su aprovechamiento hidroeléctrico en las grandes centrales de Cañafisto, Ituango y Farallones, en Antioquia, que aún no se han comenzado a construir. Las grandes empresas del sector eléctrico (ISA, ICEL, Empresa de Energía de Bogotá, Empresas Públicas de Medellín, CVC, CHEC, etc.) han intensificado enormemente la construcción no sólo de centrales generadoras, sino de líneas de transmisión (a 230 y 115 kilovoltios) y de subtransmisión (a 66, 44 y 33 kv). Este esfuerzo puede ver resumido en las cifras sobre capacidad de generación eléctrica instalada en el país:

CAPACIDAD DE GENERACION ELECTRICA INSTALADA

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

En esta gran tarea, los ingenieros electricistas se han desempeñado a fondo en el diseño, cálculo, construcción y operación de turbinas, alternadores de alta potencia, transformadores y líneas de transmisión de altas potencias y altos voltajes, grandes subestaciones y controles de alta complejidad. Esto significa haber dominado y movilizad los mejores y más actualizados conocimientos en dinámica de líquidos, máquinas hidráulicas, máquinas eléctricas rotativas, circuitos lógicos, sistemas digitales, instrumentos de medición, líneas de transmisión, telemedida y telecomando y electromagnetismo, especialmente.

Los ingenieros civiles han tomado a su cargo la construcción de difíciles carreteras de acceso, grandes presas de tierra y de concreto, túneles, cavernas

gigantes para casas de máquinas, campamentos, grandes embalses, torres de captación, almenares, compuertas y otras obras mayores de construcción.

Ello ha dado un gran auge a disciplinas como la hidrología (determinística y estocástica), la hidráulica de canales abiertos y de conductores cerrados, la geología, la mecánica de suelos, la tecnología y maquinaria de movimiento de tierras, la resistencia de materiales avanzada, el diseño de concreto y las técnicas cuantitativas de programación de obras (v. gr. PERT, CPM, ruta crítica).

Un buen ejemplo de la capacidad de diseño y construcción de grandes obras es el puente sobre el río Magdalena en Barranquilla, de más de 1.500 m de longitud, proyectado y hecho en concreto reforzado por los ingenieros colombianos de la firma Cuéllar Serrano Gómez y Cía. hacia 1970.

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 (Pelton, Kaplan y Francis), calderas y turbinas de vapor, turbinas de gas, mecanismos de control, puentes-grúas, etc.

Para ello, han aplicado el mejor conocimiento actual de diseño estructural, mecanismos, diseño de máquinas, metalurgia física, dinámica de máquinas, termodinámica aplicada, estructuras hidráulicas y mecánica de materiales.

Los ingenieros electrónicos han desempeñado un importante papel en el planteamiento, instalación y operación de sistemas de telemando y comunicación por onda portadora (*carrier wave*) en líneas de transmisión y de sistemas de control y medidas internas en centrales eléctricas y subestaciones. Para ello han requerido, más que todo, conocimientos de electromagnetismo, electrónica física, equipo electrónico y sistemas digitales. Otro de sus campos principales de desempeño profesional es el de las radiocomunicaciones, a cuyo desarrollo han contribuido de modo sustantivo.

En los años setenta se perfeccionó el enlace internacional por satélite con el concurso de ingenieros extranjeros y nacionales (en mayor número), se extendió el cubrimiento de la televisión gracias al aumento de la potencia de los transmisores y a la construcción de nuevas torres de repetición y se instalaron muchos más canales de microondas para radiocomunicación entre las ciudades en VHF (*Very High Frequency*) y UHF (*Ultra High Frequency*).

Los sistemas telefónicos entre las ciudades se han mejorado y ampliado grandemente, lo cual se aprecia en el acelerado crecimiento del número de líneas telefónicas locales automáticas en el país durante los últimos quinquenios:

TELEFONOS LOCALES AUTOMATICOS EN EL PAIS

Quinquenio	Número promedio de líneas
1957-1960	243.325
1961-1965	341.836
1966-1970	524.147
1971-1975	783.708
1976-1980	995.690

En 1983, las radiocomunicaciones y la telefonía entraron en las nuevas tecnologías de comunicación digital y de rayos láser en fibras ópticas.

La industria manufacturera casi no tuvo grandes desarrollos ni diversificación en los años setenta. Como un nuevo proyecto ejecutado merece citarse la entrada al servicio, en 1970, de la gran planta de Monómeros Colombo-Venezolanos, la mayor fábrica química del país, diseñada y construida por ingenieros colombianos y venezolanos, asesorados por firmas alemanas y holandesas de construcción y de ingeniería química. Esta planta produce epsilon-caprolactamo (monómero de nylon-6), ácido sulfúrico, nitrato de amonio, sulfato de amonio y fertilizantes compuestos. Otros proyectos notables han sido los ensanches de la siderúrgica de Paz del Río, de las fábricas de cementos, de las cerveceras, de algunas plantas químicas, etcétera.

En estos desarrollos, ya la mayor parte de la ingeniería básica, buena parte del diseño y casi toda la construcción ha sido hecha por ingenieros colombianos. Con su participación, los ingenieros químicos han desplegado más intensamente sus capacidades en operaciones unitarias, transferencia de calor y de masas, procesos unitarios, cinética química, análisis instrumental, diseño de equipo, laboratorio analítico y controles de calidad. Los ingenieros mecánicos han debido desplegar sus conocimientos de diseño de máquinas, cálculo estructural, mantenimiento y manejo de máquinas y equipos, lubricación, transferencia de energía, motores térmicos y montajes. Los ingenieros industriales han aportado su preparación en diseño de plantas, evaluación de proyectos, sistemas logísticos, ergonomía, sistemas y evaluación de máquinas, principalmente. Los ingenieros civiles construyen edificios industriales, diseñan estructuras metálicas de soporte y máquinas y dirigen montajes. Los ingenieros electricistas diseñan y construyen sistemas y redes de energía, montan equipos eléctricos y hacen el mantenimiento de estos equipos y sistemas. Los ingenieros electrónicos instalan y mantienen instrumentos de medición y control y operan computadores (junto con los inge-

nieros de sistemas y de casi todas las demás ramas). Los metalúrgicos trabajan en procesos metalúrgicos, fundiciones y laboratorios metalográficos. Los de minas planean y dirigen explotaciones de minerales y manejo de sólidos. Los de sistemas manejan computadores y hacen ingeniería industrial.

En los últimos decenios, la red nacional de carreteras se ha ampliado, como lo muestran las cifras siguientes (en kilómetros):

RED NACIONAL DE CARRETERAS

	1955	1960	1965	1970	1975	1980
Red total	27.019	36.890	43.361	49.549	49.649	52.580
Red nacional	10.648	14.977	17.167	19.915	21.329	24.312
Sin pavimentar	10.018	n.d.	13.761	16.291	13.936	14.216
Pavimentadas	630	n.d.	3.406	3.624	7.393	10.096

Aquí se ve cómo la nación, los departamentos y algunos municipios han continuado abriendo toda la geografía del país a través de las carreteras, obra exclusiva de los ingenieros civiles. Especialmente acelerado ha sido el trabajo de pavimentación gracias a la introducción y generalización de las máquinas asfaltadoras: en las carreteras nacionales se pasó de 1.000 km pavimentados en 1960 a más de 3.000 km en 1970 y a más de 10.000 km en 1980. En los años setenta se construyeron grandes y nuevas carreteras con especificaciones mucho mejores, como la de Bogotá-La Dorada- Puerto Triunfo-Medellín y se reconstruyeron, con grandes mejoras, otras antiguas, como la de Barranquilla-Santa Marta. En muchas partes se han construido variantes, ampliado las bancas, mejorado el alineamiento, reconstruido puentes, mejorado el afirmado, etc. La aerofotogrametría, ampliamente desarrollada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y por algunos ingenieros particulares, se ha convertido en herramienta esencial y de uso universal para proyectar, localizar y trazar carreteras, embalses, canales, túneles y demás obras públicas. Se ha hecho muchísimo trabajo de ingeniería civil (rutinaria y especializada) en vías urbanas, redes de servicios públicos y obras públicas urbanas. En todas las ciudades del país y en la mayoría de las poblaciones, los ingenieros civiles proyectan y construyen acueductos y alcantarillados y trabajan continuamente para seguirlos ampliando.

En contraste con lo anterior, el decenio de los setenta presenció un deterioro cada vez mayor de los ferrocarriles nacionales, cuyas líneas se han ido de-

semrieland y deteriorando desde 1955, más o menos, hasta el día de hoy. Tampoco se han construido nuevas obras de irrigación en el país, desde 1970 hasta hoy (1985).

En general, el panorama de la ingeniería colombiana desde 1970 hasta la fecha se caracteriza por las siguientes tendencias:

1. Un gran aumento del número de ingenieros. En 1968 había algo más de cinco mil en el país; en 1970 había ya cerca de 9 mil y en 1983, unos 25 mil en todas las especialidades.
2. Una diversificación en las ocupaciones de los ingenieros, con gran multiplicación de puestos de trabajo, especialmente para ingenieros civiles, electricistas, industriales y mecánicos.
3. La elevación del nivel promedio de preparación en pregrado y un gran aumento en el número de magísteres (M.Sc. y M.E.) y doctorados (Ph.D., Dipl. Ing.).
4. Una excesiva proliferación de especialidades de ingeniería en las universidades e institutos técnicos. Hoy se imparte docencia y se otorgan títulos en 22 ramas de la profesión, denominadas como ingenierías.
5. Cierta desviación de muchos ingenieros de la verdadera ingeniería, pues se convierten en negociantes, administradores, gerentes, políticos, agricultores, vendedores y practicantes de otros oficios.

Las ramas más pobladas de profesionales son, en su orden: civil, eléctrica, mecánica, química, industrial, de minas y petróleos. Poco pobladas son: electrónica, sanitaria, metalúrgica, naval, aeronáutica, nuclear, textil, de transporte, de sistemas, geográfica, catastral y agrícola. El gran número de ingenieros existentes, la tendencia cada vez mayor hacia el trabajo en equipo, la diversificación de las actividades y la complejidad creciente de la vida del país ya hace casi imposible mencionar siquiera a los ingenieros más destacados sin incurrir en muchísimas omisiones.

El número de facultades de ingeniería en el país pasa hoy de cien, repartidas así por las principales especialidades:

Ingeniería civil	17
Ingeniería química	9
Ingeniería mecánica	12 ó 13
Ingeniería eléctrica	11
Ingeniería electrónica	4

Ingeniería industrial	12
Ingeniería de minas y/o de petróleos	4
Ingeniería metalúrgica	4
Ingeniería geográfica	1
Ingeniería catastral	1
Ingeniería agrícola	4 ó 5
Ingeniería de sistemas	5 ó 6
Ingeniería administrativa	2
Ingeniería de alimentos	2
Ingeniería forestal	4
Ingeniería naval	1
Ingeniería aeronáutica	1
Ingeniería de transporte	1
Ingeniería de producción	1
Otras ingenierías	5 aproximadamente

CURRICULOS ACTUALES

Puede darse una visión panorámica del conjunto de las ciencias que nutren la ingeniería hoy en día y que forman los currículos de enseñanza en las numerosas escuelas (alrededor de cien) de las variadas ramas de la profesión.

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 algunas ramas de la ingeniería con programas de mejor nivel, programación lineal, matemáticas especiales e investigación de operaciones. Física general en varios semestres que incluye: mecánica, ondas, acústica, calor, electromagnetismo y física atómica. Química general e inorgánica, en todos los programas de todas las ramas de la ingeniería. En la ingeniería de minas se intensifica la química mineral y el laboratorio de análisis instrumental. Lo mismo se hace con los ingenieros químicos, además de complementarse con química orgánica. Geología y mineralogía, en ingeniería civil e ingeniería de minas.

2. Ciencias comunes de la ingeniería que se dan en todas, o 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, sistema 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, diseños de vías, acueductos y alcantarillados, hidrología, 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, electroquímica, 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, acueductos y alcantarillados.
11. Ciencias especiales de ingeniería metalúrgica: cristalografía, metalurgia química, metalurgia física, metalografía, fundición, tratamientos térmicos.
12. Ciencias especiales de ingeniería agrícola: hidrología, maquinaria agrícola, la, meteorología, riegos.

En otras ramas (v. gr. 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.

Hay ya varios programas que conducen a un título de posgrado (denominado magíster), en especializaciones como ingeniería química, diseño estructural, diseño de vías, hidrología y matemáticas aplicadas.

Gracias a estas especializaciones y a las que se han hecho en el exterior (en gran número, gracias al Icetex), el país cuenta con un buen número de ingenieros altamente capacitados con grados de M.Sc., M. Eng. y Ph.D. Areas de especial preferencia con profesionales de alta calificación son, entre otras, la hidrología, hidráulica, cinética química, metalurgia, líneas de transmisión, diseño y cálculo de estructuras, diseño mecánico, sanidad ambiental, computadores, estadística, refinación de petróleos, diseño geométrico de vías, técnicas de construcción, calderas, telecomunicaciones, centrales eléctricas, etcétera.

En general, la enseñanza de la ingeniería ha alcanzado un nivel académico que, por lo general, es bastante aceptable. No ocurre lo mismo con la investigación científica y tecnológica en este campo, de muy escasa, dispersa y limitada aplicación.

Capítulo 10

LOS PRESIDENTES CONSTRUCTORES DE COLOMBIA

INTRODUCCION

Desde agosto de 1819, cuando Bolívar y Santander instalaron en Bogotá el gobierno de nuestra nueva e independiente república de la Nueva Granada, Colombia ha tenido unos sesenta y cinco presidentes, sin contar unos diez más que lo han sido muy brevemente a título de encargados. De entre esos sesenta y cinco presidentes, la historia de la ingeniería en Colombia nos muestra diez figuras que han descollado indiscutiblemente como las más preocupadas por darle al país una infraestructura física, técnica y económica y que se han empeñado en obras y construcciones con especial intensidad. Tales presidentes han sido los siguientes:

- General Francisco de Paula Santander
- General Tomás Cipriano de Mosquera
- Doctor Manuel Murillo Toro
- Doctor Rafael Núñez
- General Rafael Reyes
- Ingeniero y general Pedro Nel Ospina
- Doctor Alfonso López Pumarejo
- Ingeniero Mariano Ospina Pérez
- Ingeniero y general Gustavo Rojas Pinilla
- Doctor Carlos Lleras Restrepo

Esto no significa que no haya habido otros presidentes interesados sinceramente por el desarrollo del país. Se podrían citar nombres como Santos Acosta, Eustorgio Salgar, Carlos Holguín, Carlos E. Restrepo, Enrique Olaya Herrera y Alberto Lleras Camargo, quienes demostraron su gran preocupación por el desarrollo económico del país y prohicieron importantes obras materiales. Pero son los diez personajes indicados los que han trabajado con más denuedo y persistencia por darle a Colombia los medios y los recursos materiales para desarrollar su economía y atender a su crecimiento.

FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

Como bien se sabe, el general Santander ocupó la presidencia en dos oportunidades. La primera, entre 1820 y 1827, como vicepresidente de la Gran Colombia, remplaceando a Bolívar quien era el presidente titular pero que pasó aquellos años combatiendo en Venezuela, Ecuador, Perú y Bolivia para dar la independencia a esos países. En la segunda ocasión, Santander presidió el país de 1832 a 1837, al regreso de su injusto destierro.

Además de su formación como abogado y militar, Santander era un incomparable organizador y administrador. Al asumir el gobierno en 1820, creó una hacienda pública para un Estado en ruinas; estableció y modernizó un sistema educativo antes rudimentario; creó un sistema de gobiernos provinciales de la nada; estableció un sistema judicial republicano que no existía y comenzó a enseñarle a un país indómito y semisalvaje la observancia y el respeto a un gobierno y a un sistema político regidos por normas legales de convivencia democrática.

Como se ha visto en otros apartes de esta historia, apenas iniciados esos difíciles años de gobierno, en 1822, el general Santander ordenó a Zea que, como embajador en Europa, solicitara a Cuvier, presidente de la Academia de Ciencias de París, una misión científica para venir a reconocer el país, modernizar su minería, inventariar sus recursos naturales y enseñar ciencias. La misión vino dirigida por Mariano de Rivero, joven científico peruano, metalurgista e ingeniero de minas. Sus otros miembros fueron: Jean Baptiste Boussingault, mineralogista y químico; Justin Marie Goudot, profesor de matemáticas; François Desiré Roulin, médico, y Jacques Bourdon, naturalista. Este grupo trajo e instaló un laboratorio, una biblioteca y un museo de historia natural y creó la primera escuela de minas que hubo en el país, en 1823. El museo y la escuela sólo duraron hasta 1828 cuando De Rivero se fue al Perú, Boussingault

a las minas de Mariquita, Marmato y Antioquia, y Goudot y sus otros compañeros franceses regresaron a su patria. El trabajo de Boussingault en las minas fue de especial importancia para la tecnificación de esa actividad. El enseñó la amalgamación de la plata y el oro, el uso de la pólvora y la geometría subterránea antes de regresar a su patria, en 1832.

Fue también Santander quien estableció la navegación a vapor por el río Magdalena cuando concedió, en 1823, al empresario alemán Johann Bernhardt Elbers el privilegio para establecer ese servicio en el río. Desde entonces, la navegación a vapor en el Magdalena ha existido con numerosas dificultades pero ha sido, sin duda, uno de los factores esenciales en el desarrollo histórico de la economía nacional.

Acosado por la ruina del país después de las guerras de independencia y por las exigencias de ayuda de Bolívar para liberar a otros países, Santander se vio obligado a contratar en Inglaterra los conocidos *empréstitos ingleses* en condiciones usurarias en extremo. Para respaldarlos, fue necesario conceder en arrendamiento las minas de Marmato a los bancos ingleses. Pero Santander tuvo la acertada idea de exigir que la explotación de las minas fuera dirigida por ingenieros de alta calificación. Fue así como vinieron ingenieros europeos a mejorar el laboreo de las minas y a capacitar la mano de obra local que hasta entonces usaba métodos rudimentarios. Estos ingenieros europeos trajeron al país una amplia variedad de conocimientos científicos y tecnológicos que elevaron enormemente la productividad de la minería. Entre sus nombres deben mencionarse los de Tyrell Moore, Carlos Segismundo de Greiff, Carl Degenhardt, Eduard Walker, Pedro Nisser, Reinhold Paschke y William Johnson. Algunos de ellos regresaron a Europa, pero otros se quedaron en el país ejerciendo y enseñando su profesión con magníficos frutos.

Una de las obras más importantes de esa primera administración de Santander, que tendría después sustantivas repercusiones en la formación de una élite técnica, fue la creación de colegios en Neiva, Ibagué, Cali, Medellín, Tunja y Pamplona y la fundación de las universidades de Cartagena, del Cauca (en Popayán) y Central (en Bogotá). En su empeño por facilitar el intercambio económico con el exterior, ordenó construir en 1825 un camino mejorado de Bogotá al río Magdalena, más abajo de Honda, obra hecha en su tiempo pero que gobiernos posteriores descuidaron y fue después cubierta por la selva.

Habiéndose dado cuenta durante su destierro en Europa del enorme impulso que las vías de comunicación estaban dando a la economía mundial y de la importancia que, en ese continente, se le atribuía a la comunicación entre el Atlántico y el Pacífico por Panamá, llevó al Congreso, en su segunda adminis-

tración, un proyecto que se convirtió en la Ley del 25 de mayo de 1834 para contratar la construcción de carretera, ferrocarril o canal a través del istmo. Dos años después, Santander firmó el primer contrato de concesión para una empresa destinada a cruzar a Panamá navegando el río Chagres y completando el trayecto por ferrocarril hasta Ciudad de Panamá. Este contrato se firmó con el coronel Charles Riddle, representante de una compañía formada por panameños y otros neogranadinos, pero, lamentablemente, no fue posible ejecutarla.

Convencido de la importancia de preparar colombianos en materias técnicas y científicas en Europa, otorgó comisiones de estudio a varios colombianos en ese continente. Una de esas comisiones la tuvo el coronel Joaquín Acosta, quien posteriormente habría de producir excelentes obras en geología, cartografía y geografía de la república.

TOMAS CIPRIANO DE MOSQUERA

Mosquera fue una personalidad extraordinaria y curiosa. Enérgico, autoritario, ácrata, contradictorio e indómito, abrigaba también una profunda y, si se quiere, ingenua convicción de que el progreso material del país sería suficiente para sacarlo de su atraso y su barbarie. La primera de sus administraciones, de 1845 a 1849, fue la más fecunda en obras materiales. En este período ejecutó las siguientes realizaciones en el campo del desarrollo técnico del país:

1. Reactivó la navegación a vapor por el río Magdalena.
2. Inició la construcción del ferrocarril de Panamá por contrato con los señores John Stephens, Henry Chancey y William Aspinwall.
3. Ordenó la adopción oficial del sistema métrico decimal de pesos y medidas.
4. Reequipó por completo la maquinaria de la Casa de la Moneda en Bogotá.
5. Principió la construcción del Capitolio Nacional y, para ello, trajo a los ingenieros ingleses Thomas Reed y Henry Tracy.
6. Importó nuevos instrumentos para el Observatorio Astronómico Nacional y nombró como su director al coronel Joaquín Acosta.
7. Consagró, por ley de 1846, el primer plan nacional para la construcción de caminos en el país, intuyendo, genialmente, la necesidad de establecer prioridades y orden en este frente.
8. Contrató en Francia al ingeniero Antoine Poncet para estudiar y trazar una nueva ruta de Bogotá al río Magdalena. Poncet trazó en 1847 esta vía ba-

- jando por el río Negro hasta salir más abajo de Honda, pero el paludismo diezmó a sus obreros y la guerra civil de 1850 impidió concluirlo.
9. Contrató en Polonia al ingeniero Stanislas Zawadsky para estudiar y trazar una vía de Cali a Buenaventura, la cual hizo por la ruta del río Dagua que, años después, seguiría el ferrocarril.
 10. Reconstruyó el camino del Quindío, de Ibagué a Cartago, como eslabón casi único para unir las partes oriental y occidental del país.
 11. Contrató en Francia a los químicos Bernard Levy y Giuseppe Eboli para mejorar los métodos de aleación y ensayos en las casas de la moneda de Bogotá y Popayán y para enseñar esa materia en los colegios y universidades de ambas ciudades.
 12. Contrató en Francia a los naturalistas Eugène Rampon y Aimé Bergeron para enseñar ciencias naturales y matemáticas en Bogotá.
 13. Importó de Europa nuevas máquinas para equipar y restablecer la Imprenta Nacional.
 14. Apoyó la inversión de los comerciantes cartageneros que contrataron la limpieza del Canal del Dique con el ingeniero norteamericano George Totten, en 1847.
 15. En 1848, concibió el magno proyecto de la Comisión Corográfica e hizo venir desde Venezuela a su antiguo amigo, el coronel Agustín Codazzi, para que la dirigiera en la Nueva Granada.
 16. En 1847, tan sólo dos años después de que Morse inventara en los Estados Unidos el telégrafo comercial, el gobierno de Mosquera hizo gestiones en Londres para traer esta innovación al país, pero no fue posible por dificultades financieras.
 17. Quizá su obra más importante fue la de fundar, en 1848, el Colegio Militar, inspirado por su admiración hacia la École Polytechnique de Napoleón y enderezada a formar oficiales superiores profesionales, ingenieros militares e ingenieros civiles. Este instituto congregó a un brillante grupo de militares y científicos como José María Ortega, Joaquín Barriga, Lino de Pombo, Agustín Codazzi, Aimé Bergeron, Joaquín Acosta, Ramón Guerra Azuola y el coronel Antonio de Narváez. Fue el primero de nuestros centros de formación de ingenieros y estableció desde sus comienzos un alto nivel de formación académica y de profesionalismo entre sus egresados.

Terminado el primer gobierno de Mosquera, el Colegio Militar funcionó hasta 1854 cuando fue cerrado por el golpe militar del general Melo. Siete años después, Mosquera regresó al poder como rebelde triunfante y uno de sus pri-

meros actos de gobierno fue el de ordenar, el 24 de agosto de 1861, que se reabriera aquel instituto como Colegio Militar y Escuela Politécnica. Las peripetias políticas del país no permitieron que esto se cumpliera en su momento. Posteriormente, en 1866, nuevamente con Mosquera en la presidencia, se restableció el Colegio bajo la dirección de Lorenzo María Lleras, y funcionó durante un año hasta que, al año siguiente, se creó la Universidad Nacional y el Colegio fue integrado a ésta como Escuela de Ingenieros.

En su segunda administración, Mosquera trabajó incansablemente porque se construyera una vía comercial de Buenaventura a Cali y en 1862 logró que ésta se iniciara en sus estudios y trazados dirigidos por el ingeniero Frank Schutz. Como el Congreso liberal de 1850, en un acto insensato, había abolido todos los títulos profesionales, Mosquera hizo conceder diplomas de idoneidad como ingenieros a los alumnos graduados por el Colegio Militar y los ocupó intensamente en la medición y alinderamiento de las tierras confiscadas a la Iglesia por la famosa ley de desamortización de bienes de manos muertas.

En 1866, en su tercer gobierno, hizo expedir la Ley 70 sobre deslinde y formación del catastro de las tierras baldías de la nación, donde se creó un cuerpo nacional de ingenieros. El cuerpo tenía una oficina central, a la cual se le adscribió el Observatorio Astronómico, y el ingeniero Indalecio Liévano fue nombrado como su director, ayudado por Ruperto Ferreira y Alejandro Caycedo D'Elhúyar. En cada uno de los estados soberanos se creó el cargo de ingeniero director y les fueron asignados los graduados del Colegio Militar.

MANUEL MURILLO TORO

Aunque el carácter de Murillo Toro, reflexivo, tolerante y sereno, en radicalmente distinto del de Mosquera, compartía con éste la admiración comptaiana por la ciencia y por la técnica como eximios beneficios para la sociedad. Recién posesionado en su primer período, hizo expedir la Ley 28 de mayo de 1864, disponiendo la ejecución de un verdadero plan vial de *camino de ruedas*, de ferrocarriles y de telégrafos. Basado en ella, contrató al año siguiente con los ingenieros y empresarios norteamericanos Henry L. Davidson, William W. Wolsey y Lee Stiles la construcción de la primera línea telegráfica en Colombia, desde Bogotá hasta Puerto Nare, en Antioquia, y luego a Medellín. Cabe señalar que esta realización se hacía sólo veinte años después de que Morse instalara su primer telégrafo entre Baltimore y Washington.

Murillo terminó su primer bienio en 1866 y volvió a la presidencia en 1872, para otro bienio. Tan pronto regresó, obtuvo del Congreso la Ley 52 de 1872 en la cual dio amplios estímulos a la navegación por el río Magdalena, autorizó la construcción de caminos y de una línea ferroviaria interoceánica desde Buenaventura a Santa Marta, pasando por los estados de Cauca, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Magdalena.

En desarrollo de esta ley, Murillo Toro apoyó resueltamente la navegación por el río Magdalena y autorizó la instalación del primer alumbrado público de Bogotá, con lámparas de gas.

Enamorado de su idea del ferrocarril interoceánico, Murillo trabajó activamente para ejecutarlo en tres frentes. En 1872 suscribió con los empresarios e ingenieros norteamericanos David R. Smith, Frank B. Modica y Barton C. Smith, un contrato para la obra del ferrocarril de Buenaventura al río Cauca, cuyos estudios y trazados comenzaron de inmediato dirigidos por Barton C. Smith. Desafortunadamente, el incumplimiento de los contratistas para financiar la empresa no permitió continuarla.

En el mismo año, el gobierno de Murillo trajo la primera misión de ingenieros ingleses encabezada por William Ridley, Frank Geneste y Henry Ross para que estudiaran y escogieran una ruta ferroviaria de Bogotá hacia el norte y que llegara al Bajo Magdalena, en la región del Carare. A esa misión se incorporaron los ingenieros colombianos Juan Nepomuceno González Vásquez y Manuel Ponce de León.

El gobierno formó una compañía entre la nación y los estados soberanos para ejecutar el ferrocarril y organizó estudios y trazados a cargo de González y Ponce de León, acompañados de los ingenieros Manuel H. Peña, Joaquín B. Barriga, Julio Mallarino, Nicolás Caycedo D'Elhúyar y otros colombianos.

En su entusiasmo ferroviario, Murillo emprendió un tercer frente en 1873 cuando contrató con el Estado de Santander y el empresario inglés Robert A. Joy los primeros estudios y el proyecto de construcción de un ferrocarril desde el río Magdalena, cerca a la ciénaga de Paturía, al interior del Estado de Santander, el cual habría de ser, años después, la línea de Puerto Wilches a Bucaramanga.

Deplorablemente, los tres frentes de ferrocarril abiertos por Murillo se paralizaron por incapacidad fiscal de la nación y por trastornos militares, como la guerra civil de 1876.

RAFAEL NUÑEZ

Rafael Núñez ocupó en propiedad la presidencia de la República en tres bienios: 1880-1882, 1884-1886 y 1887-1888. Cuando se retiró a Cartagena en 1888, dejó el poder a presidentes escogidos por él a su gusto y sobre los cuales influía incuestionablemente desde su residencia de El Cabrero.

La personalidad, el carácter político, la ética y los gobiernos de Núñez han sido y siguen siendo altamente controvertibles. Pero no hay duda de que es uno de los presidentes del siglo pasado más sinceramente comprometidos con el progreso económico nacional.

Fue durante las dos primeras administraciones del Regenerador cuando estuvieron operando simultáneamente, en forma casual, las cuatro ferrerías que tuvo el país en el siglo pasado: las de Pacho, Samacá, La Pradera y Amagá. El gobierno de Núñez no dudó en estimularlas con créditos favorables y compras oficiales, como la de los rieles para el ferrocarril de la Sabana a la ferrería de La Pradera, en un gran alarde de confianza en la capacidad técnica de ese establecimiento industrial.

Fue Núñez quien creó el primer banco central del país, el Banco Nacional, cuyos desarrollos contradictorios y fracaso final son bien conocidos. Entre los progresos técnicos que trajo a Colombia hay que recordar los primeros teléfonos para Bogotá (1884) y el primer tranvía de mulas (1886).

Pero lo que conserva a Núñez en la memoria de la ingeniería colombiana es su afán por apoyar y por emprender la construcción de numerosos ferrocarriles. En efecto, durante sus mandatos se trabajó intensamente en diez frentes ferroviarios. En Antioquia se había iniciado, en 1874, la construcción del ferrocarril de Puerto Berrío a Medellín, contratado con el ingeniero cubano Francisco Javier Cisneros. Cuando Núñez asumió su primer gobierno, la línea había avanzado 10 km en una titánica lucha contra las dificultades naturales y técnicas. Núñez respaldó al gobierno del Estado para continuarlo y, así, Cisneros pudo terminar los primeros 37 km hasta la estación de Pavas, donde hubo de suspenderse la obra por la guerra civil de 1885.

El ferrocarril del río Zulia hacia Cúcuta se había iniciado en 1876, contratado y dirigido por los ingenieros Juan N. González Vásquez y Enrique Morales. En 1880 habían tendido sólo 14 km, pero en los ocho años siguientes, con Núñez en la presidencia, se llevó hasta Cúcuta (55 km). Posteriormente, se prolongó hacia la frontera del Táchira.

En 1877, el gobierno contrató con Cisneros el ferrocarril de Buenaventura a Cali. El ingeniero cubano trabajó en él desde 1878 hasta 1885 y tendió 27 km

de enriado, hasta cuando la guerra civil del mencionado año lo obligó a devolver este contrato junto con los de Antioquia y Girardot.

Cuando Núñez inició su primer período, Cisneros iniciaba la prolongación del ferrocarril de Puerto Salgar hasta la bahía de Sabanilla. Bajo los gobiernos del Regenerador y de sus presidentes sustitutos, el ferrocarril avanzó hasta el actual Puerto Colombia (1887) y se construyó el muelle marítimo en ese terminal.

Bajo el gobierno de Núñez y sus tres sucesores transitorios (Zaldúa, Otálora y Hurtado), el mismo Cisneros construyó el ferrocarril de Honda a La Dorada (1881-1884), por contrato con la nación.

Núñez le asignó a Cisneros el contrato para iniciar el ferrocarril de Girardot a la Sabana, en el cual pudo trabajar el ingeniero cubano hasta cuando, en 1885, llegó a Tocaima con 32 km construidos y estalló la guerra civil.

Núñez fue un decisivo impulsador del ferrocarril de la Sabana, iniciado en Facatativá en 1882 y que llegó a Bogotá ocho años después, luego de ser largamente interrumpido por la guerra civil de 1885.

También en 1881, el ingeniero Abelardo Ramos comenzó, por fin, a construir el ferrocarril de Puerto Wilches a Bucaramanga. Trabajó en él durante cuatro años hasta cuando la guerra civil de 1885 lo obligó a suspenderlo indefinidamente.

El ferrocarril de Santa Marta se inició en 1882 por concesionarios e ingenieros norteamericanos bajo un contrato con la administración Núñez. Cinco años después, en otra administración del Regenerador, llegó a la actual población de Ciénaga.

Otra realización ferroviaria de este presidente constructor fue el ferrocarril del Norte, que él apoyó resueltamente, pero cuyas obras se iniciaron en 1889 por parte de la nación. Un año después, alcanzó a llegar a la población de Zipaquirá, donde quedó detenido.

Al morir Núñez en 1894, hubiera podido reclamar el mérito para él y para sus presidentes sucedáneos de haber construido unos 200 km de líneas férreas o de haber apoyado decididamente su construcción por los estados o por los particulares.

RAFAEL REYES

El general Reyes es, indudablemente, uno de los más importantes y efectivos presidentes que haya tenido Colombia. El hecho de que sus métodos administrativos y económicos hubieran sido de estilo nítidamente porfirista y de que

sus métodos políticos hubieran sido marcadamente autocráticos, no merma el balance decididamente favorable de su gestión pacificadora y de su trabajo por el desarrollo económico, industrial y técnico del país.

Son muchos los actos administrativos que los ingenieros debemos recordar de la fructífera y progresista administración Reyes. Quizá el primero es el haber respaldado la reapertura de la Escuela de Minas de Medellín, clausurada en 1895 por el gobierno oscurantista de Miguel Antonio Caro. Otros de los servicios importantes de Reyes fue el de crear, en 1905, la Oficina de Longitudes, rescatando el trabajo iniciado por Codazzi medio siglo antes para trazar el mapa del país y amojonar las fronteras. Otras realizaciones no menos importantes de Reyes fueron:

1. Creó el Ministerio de Obras Públicas, al subir al poder en 1905, y nombró para desempeñarlo al ingeniero y militar Modesto Garcés
2. Autorizó y apoyó la extensión de la zona bananera de Santa Marta, que a pesar de sus antipáticos rasgos de enclave colonial, desarrolló económicamente nuestra Costa Atlántica, dio trabajo a muchísimos ingenieros y apoyó el comercio exterior colombiano.
3. Autorizó la instalación en Cartagena de la primera refinería de petróleo que hubo en el país, por concesión al ciudadano Diego Martínez.
4. Apoyó decisivamente el naciente desarrollo industrial de las principales ciudades del país con el cambio de la unidad monetaria nacional, de cien a uno, con la reforma arancelaria que realizó y con numerosas concesiones y privilegios que otorgó.
5. Expidió la primera ley de construcción de carreteras, en 1904 y, basado en ella, el gobierno construyó la primera carretera para automotores con afirmado en macadam, de 45 km de Bogotá a Facatativá.
6. Otorgó las primeras concesiones para exploración y explotación de petróleo a los señores Roberto de Mares y Virgilio Barco, en 1906, que fueron el comienzo de la moderna industria petrolera en Colombia y que, a pesar de sus muchos problemas legales y políticos, han contribuido de lleno a la modernización técnica y económica del país.
7. Autorizó a muchos municipios y apoyó a empresas particulares para montar plantas y redes locales de electricidad en otras tantas ciudades y poblaciones del país.
8. Apareció el primer servicio regular y comercial de transporte público automotor entre Honda y Mariquita, en 1906, por contrato con el gobierno. En aquellos años se empezaron a importar los primeros automotores al

país, entre los que se encuentra el que adquirió Reyes para la presidencia de la República.

Al subir al poder, el presidente Reyes encontró nueve ferrocarriles suspendidos en su construcción. En todos ellos emprendió decididamente su continuación y aún tuvo entusiasmo para apoyar uno más:

- Entre 1905 y 1907 se construyó la línea de Honda a Ambalema
- Como la obra iniciada años atrás del río Magdalena a Bucaramanga se había perdido, se volvió a comenzar en 1908 desde Puerto Wilches según el antiguo trazado del ingeniero Abelardo Ramos
- La compañía bananera de Santa Marta recibió facilidades del gobierno y terminó la ferrovía desde Ciénaga hasta Fundación, en 1906
- En 1907, el gobierno hizo el tramo de Zipaquirá a Nemocón
- El mismo gobierno nacional asumió la continuación del ferrocarril de Girardot con zapadores del ejército, bajo la jefatura del ingeniero José Domingo Paz y llegó finalmente a Facatativá en 1908, veintisiete años después de iniciarlo Cisneros en el Magdalena

Así mismo, Reyes reinició la construcción del ferrocarril de Buenaventura a Cali desde la estación Córdoba, subiendo por el río Dagua, hasta cerca a la cordillera Occidental. Gracias al apoyo de Reyes, el departamento de Antioquia también reanudó la construcción del ferrocarril en ese departamento con ingenieros graduados en la Escuela de Minas, como Carlos Cock, Eduardo Moreno, Tomás Arturo Acevedo y Juan de la Cruz Posada.

Además de los anteriores, Reyes impulsó y contrató la construcción del ferrocarril de Medellín a Amagá, cuya idea venía intentando realizarse desde 1891. Ahora las obras sí comenzaron en julio de 1909 y en dos años de trabajo llegaron a la población de Caldas.

En los cinco años del gobierno de Reyes se construyeron más de 350 km de ferrocarriles. Así mismo, el gobierno contrató los estudios sobre la desembocadura del río Magdalena con el ingeniero estadounidense Lewis M. Haup. Nuestros ingenieros aún no tenían conocimientos ni experiencia para abordar estos complejos problemas de hidráulica, fluvilogía y oceanografía.

Cabe recordar que fue durante este gobierno progresista cuando se creó el Ministerio de Obras Públicas, cuyo primer titular fue el ingeniero caucano Modesto Garcés, activo constructor de caminos y de ferrocarriles. Hasta entonces, todo lo que se refería a las obras públicas oficiales estaba adscrito al ya antiguo Ministerio de Fomento.

Por todo esto, cuando Reyes abandonó la presidencia y el país en 1909, dejando tras de sí innumerables enemigos políticos y detractores, hubiera podido ufanarse de haber impulsado al país por el camino de la modernización hacia el siglo XX, enorgullecerse de haber sacado a Colombia de la postración de la guerra de los Mil Días y de haberle construido, entre otras cosas, casi 350 km de ferrocarriles.

PEDRO NEL OSPINA

Este gran presidente nació en el palacio presidencial en 1858. Aconsejado por su padre, Mariano Ospina Rodríguez, Pedro Nel, con su hermano Tulio, estudió ingeniería civil en la Universidad de Berkeley, en California, y allí se graduó en 1881. De vuelta a Colombia, fue empresario de minas, promotor industrial, instalador de plantas eléctricas, constructor de caminos, empresario ferroviario y, aun, militar combatiente en la guerra de los Mil Días.

Todavía se hacen reparos a la pulcritud de los escrutinios con que Ospina ganó la presidencia de la República en 1922, disputándola con el general Benjamín Herrera. Pero sea como fuere, el nuevo gobernante inauguró uno de los cuatrenios más laboriosos y fecundos en obras que haya tenido el país en toda su existencia.

Hay que anotar, en primer término, la forma eficaz y permanente como Pedro Nel Ospina apoyó la incipiente industrialización del país, proceso que en los años de su mandato cobró un vigor y una rapidez inusitada que la consolidaron, definitivamente, como uno de los sectores básicos de la estructura económica nacional. En este sentido, los ingenieros debemos a este mandantario el reconocimiento de que al darle impulso a la industria nacional, abrió un campo enorme lleno de oportunidades para el ejercicio de la profesión en todas sus disciplinas y especialidades. Por esa sola labor, Ospina se hubiera ganado un puesto de relieve en la historia de la ingeniería colombiana. Pero, aparte de eso, este infatigable gobernante hizo muchísimo más todavía por el avance técnico y económico de Colombia.

No sobra recordar que fue su gobierno el que trajo la misión del profesor Edwin Kemmerer, la cual dio como resultado la fundación de entidades tan importantes como el Banco de la República, la Contraloría General de la República y la Superintendencia Bancaria, así como la ley básica del presupuesto nacional. Estas trascendentales realizaciones se mencionan siempre al hablar de nuestra historia económica, pero merecen también ser destacadas en la historia de nuestra ingeniería, porque todas ellas habrían de desempeñar un papel

crucial en la transformación del Estado en el más grande demandante de servicios y obras de ingeniería en todas las modalidades de esta profesión.

Este gobierno comprendió bien la trascendental importancia del río Magdalena y de su navegación segura para estimular la formación de un verdadero mercado nacional unificado. Recién posesionado, a finales de 1922, firmó un contrato con la casa alemana Julius Berger Konsortium Tiefbahn para que realizara un completo estudio geográfico e hidráulico de todo el río Magdalena, desde Neiva hasta Barranquilla, y para que propusiera y diseñara las obras básicas indispensables para mejorar la navegación. La Julius Berger realizó durante seis años este trabajo con alta competencia técnica y sus informes y proyectos siguen siendo obras de obligada referencia para los estudiosos del río. Por la misma época, se empezaron a proyectar y a diseñar las obras de Bocas de Ceniza con el propósito de hacerlas navegables para buques de alta mar. Simultáneamente, se trabajó en el dragado y rectificación del Canal del Dique para hacer de Cartagena un buen puerto fluvial. Al mismo tiempo, el gobierno otorgó estímulos económicos a las empresas navieras de los ríos Magdalena y Cauca y emprendió la obra de modernizar los terminales marítimos y ferroviarios en Buenaventura.

Este gobierno obtuvo del Congreso, en 1924, una ley general sobre caminos y carreteras que constituían un completo plan vial y ferroviario que, en realidad, era el primero que se expedía con esos alcances. En desarrollo de esa ley, Ospina y su ministro de Obras Públicas, el ingeniero Laureano Gómez, se dedicaron febrilmente a ampliar la red de carreteras nacionales y departamentales, de manera que durante ese cuatrenio (1922-1926) se hicieron unos 950 km de carreteras en todo el país, incluyendo algunas tan importantes como la de Pasto-Popayán-Ipiales, Ibagué-Armenia y Cambao-Bogotá. Otra obra de gran alcance fue la reconstrucción de Manizales, ciudad destruida por un incendio en 1922, cuyas nuevas obras se contrataron con la empresa norteamericana Ulen and Company.

En el gobierno de Ospina pudo lograrse lo que Reyes había iniciado con la concesión de De Mares, es decir, la iniciación estable, por una parte, de la producción de petróleo para exportar, por la otra, establecer la refinación de petróleo en crudo, iniciada en 1924 por la Tropical Oil Company en Barrancabermeja. Para consolidar este desarrollo inicial de la industria petrolera, el gobierno autorizó y contrató con la Tropical la construcción del oleoducto Barrancabermeja-Mamonal.

Recién posesionado de la presidencia y fervorosamente convencido de la necesidad de dotar de ferrocarriles al país, Ospina propuso al Congreso la que

se convirtió en Ley 102 de 1922 sobre ferrocarriles. Armado de esta ley y de la indemnización recibida de Estados Unidos por su usurpación de Panamá, que ascendía a veinticinco millones de dólares, Ospina puso manos a la obra para trabajar en veintidós frentes de ferrocarriles, a saber:

1. Avance de la ruta Cali-Popayán, desde la estación de Aganche, hasta terminar en la capital del Cauca.
2. Construcción del ramal Timba-Santander de Quilichao.
3. Iniciación del empalme Palmira-Santander de Quilichao, que sólo fue construido hasta la población de Pradera.
4. Continuación del ferrocarril del Cauca, que avanzó desde Bugalagrande hasta Cartago en ese cuatrenio.
5. Construcción de la línea Zarzal-Armenia, concebida para enlazarla en el futuro con la de Armenia-Ibagué e Ibagué-Bogotá.
6. Conclusión del ferrocarril de Caldas, desde Pereira hasta Manizales.
7. Construcción del empalme Nacederos (Pereira)-Armenia.
8. Comienzo de la construcción del ferrocarril del Nordeste, ejecutado desde Bogotá hasta Ventaquemada durante esta administración.
9. Contrato con la compañía belga Régie Générale de Chemins de Fer et Travaux Publics para estudiar la ruta y trazar completamente la línea Ibagué-Armenia, la cual se hizo en su integridad.
10. Apoyo al departamento de Antioquia para avanzar su ferrocarril hacia el Cauca, el cual se extendió desde Angelópolis hasta Bolombolo.
11. Iniciación de estudios y trazados para el ferrocarril troncal de Occidente (que Ospina esperaba construir desde Cali hasta Cartagena), en el trayecto Bolombolo-Anzá-Cañafistula-Puerto Antioquia. Lamentablemente, este ferrocarril sólo llegó a construirse en el escaso trecho de Bolombolo-Anzá, en 1932.
12. La nación respaldó al departamento de Cundinamarca para construir el ferrocarril de Puerto Liévano hacia la sabana de Bogotá.
13. Ayudó también al departamento de Nariño a construir el ferrocarril que tendría ese nombre desde Aguaclara, sobre el río Patía, hacia El Diviso.
14. Impulsó la construcción del ferrocarril de Puerto Wilches, que avanzó en 1925 hasta Sabana de Torres, en el kilómetro 50, y hasta el kilómetro 63, en 1928.
15. En este cuatrenio, el ferrocarril del Norte se alargó desde Nemocón hasta Chiquinquirá.
16. Para enlazarlo con el ferrocarril del Norte, se inició la explanación y el enriado del ferrocarril del Carare, desde Tunja hasta Villa de Leyva.

17. Se inició la línea Girardot-Tolima-Huila, que en el gobierno de Ospina avanzó desde el Espinal hasta el río Saldaña.
18. Se inició con celeridad la línea Ambalema-Ibagué, para conectar los ferrocarriles de La Dorada y el Tolima.
19. Se ejecutó la construcción del túnel de La Quebra en el ferrocarril Puerto Berrio-Medellín, entre las estaciones de Santiago-El Limón.
20. Se inició la construcción del ferrocarril de Cúcuta hacia Pamplona, el cual se llevó hasta la estación del Diamante.
21. Se emprendió la construcción del ferrocarril central de Bolívar partiendo de un punto entre Cartagena y Calamar y que avanzó hasta Sincerín. Se proyectaba que este trayecto fuera la parte norte del presunto ferrocarril troncal de Occidente.
22. Se inició la construcción del imponente puente de acero para ferrocarril sobre el río Magdalena, entre Girardot y Flandes.

Como complemento a los ferrocarriles, Ospina respaldó u ordenó la construcción de cables aéreos para atravesar zonas muy montañosas. Tales fueron los de Ocaña-Gamarra, Manizales-Pueblo Rico, que pretendía ir hasta el Chocó, Manizales-Neira, que pretendía ir hasta Aguadas, y Manizales-Villa María.

En su preocupación por interconectar y comunicar el país, Ospina gestionó con una compañía extranjera la construcción de varias estaciones inalámbricas: en Morato (Bogotá), en las Palmas (Medellín), en Barranquilla y en Cartagena.

Además, aunque no fueron empresas gubernamentales, no sobra mencionar que la administración Ospina favoreció y fomentó el establecimiento de las primeras emisoras comerciales en el país.

En la construcción de sus muchas obras públicas (carreteras, ferrocarriles, cables, río Magdalena), este gobierno llegó a tener la cantidad, inusitada hasta entonces, de 15.000 trabajadores y unos 300 ó 400 ingenieros ocupados en ellas.

ALFONSO LOPEZ PUMAREJO

La historia reserva un sitio preponderante al presidente Alfonso López Pumarejo como autor de las más vastas y profundas reformas en la vida política y social del país en siglo XX, con sobrados merecimientos. Pero no es muy común hacer notar que fue también uno de los grandes presidentes constructores que hayamos tenido.

López asumió su primera presidencia en 1934, cuando el presidente Olaya Herrera acababa de poner en marcha una rotunda política keynesiana para sacar al país de la Gran Crisis. López se hizo cargo de este propósito y lo propulsó con inusitado vigor. Fue así como él y su ministro de Obras Públicas, el ingeniero César García Álvarez, dedicaron enormes esfuerzos a mejorar la infraestructura vial y de servicios públicos de todo el país.

Su mayor énfasis fue la construcción de carreteras. En su primer período, la red de carreteras nacionales se amplió desde 3.500 km en 1934 hasta unos 6.000 km en 1938, y estimuló a los departamentos para que ensancharan su red de carreteras desde 3.750 km en 1934 hasta 6.500 km en 1938.

El primer período de López fue, sin duda, el más fecundo en todo sentido. Entre sus grandes obras de ingeniería en esa época deben destacarse las siguientes:

1. Construyó numerosos aeropuertos en distintas ciudades del país.
2. Construyó la represa de La Regadera y la planta de tratamiento de Vitelma, como las obras más grandes que en ese momento existieran para abastecer de agua a Bogotá.
3. Comenzó los edificios e instalaciones de la nueva Universidad Nacional en Bogotá.
4. Extendió ampliamente la red nacional de telégrafos, adicionándole unos 8.000 km de líneas.
5. Creó, en 1935, el Instituto Geográfico Militar y Catastral Agustín Codazzi, culminando y perfeccionando la idea que el general Reyes había abrigado 30 años antes.
6. Autorizó y contrató con las empresas petroleras de la concesión Barco la construcción del oleoducto Tibú-Coveñas (1937), con 409 km de extensión.
7. Entre 1934 y 1936, concluyó las obras para abrir el paso por Bocas de Ceniza a buques de alta mar y construyó el puerto marítimo de Barranquilla.

Por si esto fuera poco, este gobierno apoyó decididamente la industrialización nacional, como lo comprueba el hecho de que, en aquellos años, se hubieran alcanzado continuamente las más altas tasas porcentuales en el crecimiento de la producción manufacturera real en Colombia.

Aunque la red férrea colombiana estaba ya bastante desarrollada e integrada, López brindó en sus dos períodos un decidido apoyo a la continuación de ferrocarriles. Fue así como se culminó la construcción de los de Saldaña-Neiva, Cartago-La Virginia, Tunja-Paipa, Chiquinquirá-Saboyá y Sabana de Torres-Bucaramanga.

En su segunda administración, y como avance para la ingeniería nacional, López nacionalizó la red colombiana de radiocomunicaciones comerciales al adquirir los bienes de la compañía extranjera que antes prestaba este servicio.

Así mismo, prosiguió en su empeño por dotar de carreteras al país: entre 1942 y 1945, las carreteras nacionales se extendieron de 9.500 km a casi 13.000 km y las departamentales pasaron de 10.200 km a 14.000 km de extensión.

MARIANO OSPINA PEREZ

Por ser ingeniero civil, como su padre don Tulio y como su tío Pedro Nel, Mariano Ospina Pérez llevó a la presidencia un gran espíritu de constructor, de organizador y de buen administrador. La enumeración de sus obras no es tan extensa ni impresiona tanto como la de su tío. Pero hay que tener en cuenta que las obras que emprendió Ospina Pérez eran de costo mucho mayor y de más amplio alcance que las hechas en años anteriores.

Entre ellas, los ingenieros recordamos con especial memoria las siguientes empresas e iniciativas técnicas que ese gobierno inició o impulsó:

1. Empezó la construcción de las primeras redes de irrigación del país, en las regiones de los ríos Saldaña y Coello, en el Tolima,
2. Dio forma al proyecto de la siderúrgica Paz del Río y estableció por ley los mecanismos fiscales para financiarla.
3. Reanudó, en 1947, la construcción del ferrocarril Ibagué-Armenia. Se llegaron a enrielar 17 km desde Ibagué y 10 km desde Armenia, hasta que el gobierno siguiente lo suspendió y lo desenrielo, en 1950.
4. Amplió extensamente la red de carreteras en el país, adicionando unos 4.000 km a las carreteras nacionales y unos 4.200 km a las departamentales.
5. Prohijó la iniciativa del Banco de la República para construir la planta de soda y cloro en Zipaquirá.
6. Fundó el Instituto Colombiano de Fomento Eléctrico y Aprovechamiento de Agua, Electraguas, antecesor del actual Instituto Colombiano de Electricidad, ICCEL.
7. Respaldo la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas de gran tamaño para su tiempo, como la de Riogrande, en Antioquia, La Esmeralda, en Caldas.

También cabe señalar la iniciativa de solicitar al Banco Mundial la primera misión de estudio que ese organismo trajo a Colombia y de cuyas recomendaciones habrían de seguirse, posteriormente, grandes obras.

No menos importante, aunque de efectos indirectos, fueron los varios pasos que dio Ospina Pérez en pro de la industrialización manufacturera del país. Y, finalmente, un mérito descollante de esa administración fue el de haber echado las bases para el proyecto de construcción del ferrocarril del río Magdalena.

GUSTAVO ROJAS PINILLA

El general Gustavo Rojas Pinilla llegó al poder en 1953 mediante un incruento golpe militar. Posteriormente fue ratificado en su cargo hasta 1957, cuando renunció a la presidencia bajo la presión combinada de la oposición civil y de algunos militares.

Rojas Pinilla era ingeniero civil graduado en los Estados Unidos y, como tal, se había desempeñado tanto en las filas del ejército como fuera de ellas. No es raro, pues, que hubiera manifestado también un celo extraordinario en la construcción de obras públicas, especialmente como constructor de carreteras, mientras fue presidente. En aquellos días, el país comenzaba a recibir los primeros créditos importantes del Banco Mundial para esa finalidad y el gobierno de Rojas hizo buen uso de tales recursos.

Entre sus principales realizaciones, dignas de recordar por el efecto favorable que tuvieron en los campos de trabajo de los ingenieros, pueden mencionarse las siguientes:

1. Impulsó la construcción del ferrocarril del Magdalena, obras que se iniciaron en Puerto Salgar y La Dorada durante su gobierno.
2. Multiplicó los frentes de construcción de carreteras a tal punto que, durante sus cuatro años de gobierno, se construyeron cerca de 8.000 km, incluyendo vías tan importantes como la de Bucaramanga-Santa Marta, la de Buga-Buenaventura y la de Medellín-Caucasia.
3. Estimuló decididamente la industrialización del país, mediante la sustitución de importaciones, lo que en aquellos años demostró ser de gran dinamismo y proporcionar elevadas tasas de crecimiento.
4. Planificó e inició la construcción del aeropuerto internacional de Eldorado para remplazar al antiguo y ya insuficiente aeropuerto de Techo.

5. Planificó e inició la construcción del Centro Administrativo Nacional para alojar allí todas las dependencias principales del gobierno central. Después de un tiempo de abandono, posterior al retiro de Rojas, esta gran construcción fue continuada y concluida por los gobiernos que le siguieron.
6. Trajo e hizo instalar en el país los primeros equipos de transmisión de televisión con los cuales se iniciaba una nueva época en la historia de las telecomunicaciones y de los medios masivos de información.
7. Contrató la elaboración de un completo plan nacional de desarrollo eléctrico, ejecutado conjuntamente por las firmas Électricité de France, de París, y Gibbs and Hill, de los Estados Unidos.
8. Dio su total respaldo a la construcción de nuevas centrales de generación eléctrica apoyado en las conclusiones del citado plan, como fueron el Salto II y Laguneta, cerca a Bogotá, San Francisco, en Caldas, y Anchicayá, en el Valle.

Rojas Pinilla fue, pues, uno de los presidentes que realmente se interesó en impulsar el desarrollo de la infraestructura económica y técnica del país. Este hecho es objetivamente indiscutible, cualquiera que sea el juicio político que se haga sobre su gestión como gobernante.

CARLOS LLERAS RESTREPO

Después de muchos años de actuar en la vida pública, Carlos Lleras Restrepo fue llevado a la presidencia para el período 1966-1970. Pero aunque, sin duda, Lleras impulsó las obras públicas regionales y la industrialización del país desde la presidencia, hay un hecho curioso sobre su papel crucial en la modernización del país, en la construcción de su infraestructura y, en consecuencia, en la ampliación de la demanda de saberes de la ingeniería. Este hecho es que algunas de las creaciones más importantes de Lleras Restrepo en estos campos no fueron realizadas por él en su ejercicio presidencial sino 25 años atrás, como ministro de Hacienda del presidente Eduardo Santos.

En aquel entonces, y en aquel cargo, Lleras llevó al Congreso y obtuvo su aprobación para las leyes que crearon tres institutos descentralizados que, con el correr del tiempo, han tenido una inmensa acción en el desarrollo de la economía, en el mejoramiento técnico y social y en el avance de la ingeniería en el país.

Efectivamente, en los años de 1940 y 1941, la administración Santos y el Congreso, por iniciativa de Lleras, fundaron el Instituto de Fomento Industrial,

IFI, el Instituto de Crédito Territorial, ICT, y el Instituto de Fomento Municipal, Insfopal.

Desde su fundación, el IFI ha sido una palanca muy eficiente y poderosa para establecer en el país nuevas industrias, especialmente aquellas de más alto nivel tecnológico y de más alto riesgo como inversión. Directa o indirectamente se le debe al IFI la fundación de un gran número de nuevas empresas que han incorporado tecnologías cada vez más complejas y para las cuales han tenido que prepararse mejor los ingenieros colombianos en numerosas disciplinas. Entre estas creaciones pueden mencionarse:

- La primera fábrica de ácido sulfúrico, en Medellín, 1942
- La fábrica de extractos tánicos de mangle, en Buenaventura, 1942
- La primera fábrica de llantas para automotores, en Soacha, 1942
- La fábrica nacional de cloro, en Bogotá, 1943
- La planta de sulfato de sodio, en Paipa, 1943
- La siderúrgica de Paz del Río, en Sogamoso, 1948
- La fábrica nacional de soda y cloro, en Zipaquirá, 1950
- La planta lavadora de carbón, en Cali, 1950
- Las minas de carbón de Timba y San Francisco, en el Valle, 1952
- La planta de fertilizantes, en Barrancabermeja, 1953
- La fábrica de Cementos Boyacá, en Nobsa, 1955
- La primera planta de cables de alambre de acero retorcido, en Bogotá, 1956
- Hilanderías del Fonce, en San Gil, 1957
- La primera planta para hacer pulpa química de maderas tropicales, en Yumbo, 1960
- La fábrica de sulfuro y de sodio, en Betania, 1961
- La primera planta sucroquímica para ácido acético, en Cali, 1963
- La primera planta para cloruro de polivinilo, en Cartagena, 1964
- La fábrica de empaques de fique, en Popayán, 1964
- La primera gran empresa de pesca blanca y crustáceos, en Cartagena, 1965
- La planta de soda y cloro, en Cartagena, 1966
- La planta colombiana de Arrabio, en Cajicá, 1970
- La primera gran planta de forja-estampa del país, en Bucaramanga, 1971
- Las instalaciones para construir equipo y material rodante para ferrocarril, en Paipa, 1971
- Una planta para la extracción y beneficio de cal agrícola, en el Meta, 1971
- La fábrica de caprolactamo, materia prima para la producción de nylon, en Barranquilla, 1971

- Un gran frigorífico para exportación de carnes, en Cartagena, 1972
- La primera empresa para extracción y beneficio de roca fosfórica, en Boyacá, 1972
- El primer astillero fluvial del país, en Barranquilla, 1972
- El primer astillero y grada de reparaciones navales, en Cartagena, 1974
- Una gran planta para producir papel a partir del bagazo de caña, en Caloto, 1980
- La gran planta para producir níquel y ferróníquel, en Cerromatoso, Montelíbano (Córdoba), 1980.
- Una gran fábrica para producir cemento, en Río Claro, 1984.

Esta lista, que puede estar incompleta, sirve para sugerir la multitud de oportunidades que el IFI ha abierto con sus inversiones a los ingenieros civiles, de minas, químicos, electricistas, mecánicos, industriales, electrónicos y de toda las demás especialidades y la gran visión que inspiró a Lleras al fundarlo.

El ICT ha construido en sus 45 años de existencia alrededor de un millón de soluciones de vivienda en no menos de 60 municipios del país. Es fácil imaginar lo que representa esa enorme tarea como esfuerzo constructor y como estímulo a la labor de los ingenieros del país.

El Instituto de Fomento Municipal se ha dedicado a lo largo de su vida a construir acueductos, alcantarillados y otros servicios públicos, especialmente para municipios pequeños y medianos. Aparte de la importancia social que tiene esta obra, cabe resaltar que su trabajo ha sido uno de los que más ha estimulado la capacidad de los ingenieros civiles colombianos para generar soluciones a problemas hidráulicos e hidrográficos propios del país.

Ya como presidente de la República, Lleras creó la empresa Interconexión Eléctrica S.A., (ISA). Este es otro centro que ha servido para el desarrollo acelerado y avanzado de los conocimientos y de las capacidades de profesionales colombianos en campos como la ingeniería civil, la ingeniería mecánica y la geología.

La alusión a estos diez presidentes, controvertidos pero extraordinarios, no pretende desconocer que hay otros que pueden haber hecho obras de progreso material en el país. Tampoco se trata de una adhesión incondicional a su gestión política, cuya calificación, si fuera a hacerse, sería muy distinta de unos a otros. Lo que este documento pretende es resaltar las figuras de los diez mandatarios que más han hecho por el desarrollo económico y técnico de la nación, tal como se ve desde el punto de vista del ingeniero que estudia la historia económica y la historia de la ingeniería del país.

Este testimonio, como todo juicio histórico, puede entrañar elementos subjetivos de apreciación. Lo que puede decirse en su defensa es que presenta la visión más clara que resulta de examinar la secuencia de los mandatarios colombianos y de evaluarla en términos de sus realizaciones materiales por el bien de la nación, no tanto en leyes que se quedan sin cumplir o proclamas que se olvidan con el tiempo, sino de obras tangibles y reales que se estuvieron y que están al servicio del pueblo colombiano en procura de un mejor estar.

— La gran labor de los mandatarios colombianos en la historia de la ingeniería del país.

Esta obra, que muestra una historia de los mandatarios colombianos en la historia de la ingeniería del país, es una obra que se ha escrito en un momento de crisis para el país, en un momento en que se están realizando grandes esfuerzos para superar la crisis económica y social que atraviesa el país.

El ICI ha querido en esta obra, a través de un estudio de las actividades de los mandatarios colombianos en la historia de la ingeniería del país, presentar una visión de la labor de los mandatarios del país en la historia de la ingeniería del país.

El estudio de la historia de la ingeniería del país, que se ha realizado en esta obra, es una obra que se ha escrito en un momento de crisis para el país, en un momento en que se están realizando grandes esfuerzos para superar la crisis económica y social que atraviesa el país.

Y como presidente de la República, he sido uno de los mandatarios colombianos en la historia de la ingeniería del país, he sido uno de los mandatarios colombianos en la historia de la ingeniería del país, he sido uno de los mandatarios colombianos en la historia de la ingeniería del país.

La atención a estos diez presidentes, contravenidos por extraordinarios, no pretende desconocer que hay otros que pueden haber hecho obras de progreso material en el país. Tampoco se trata de una adhesión incondicional a su gestión política, cuya calificación, si fuera a hacerse, sería muy distinta de unos a otros. Lo que este documento pretende es resaltar las figuras de los diez mandatarios que más han hecho por el desarrollo económico y técnico de la nación, tal como se ve desde el punto de vista del ingeniero que estudia la historia económica y la historia de la ingeniería del país.

Capítulo 11

OBSERVACIONES FINALES

1. Hay tres ciencias que están en la base de la enseñanza de todas las ingenierías y que el ingeniero requiere, en mayores o menores proporciones, en su trabajo profesional. Son ellas la matemática, la física y la economía. En este documento no se les trata porque el programa contempla estudios históricos específicos para ellas, como ciencias básicas particulares. En este trabajo se entiende como *ciencias de la ingeniería* aquellas que se han desarrollado como resultado de la práctica de dicha profesión, que entran, en conjunto, en los conocimientos necesarios para todo ingeniero y que históricamente (a nivel mundial) han estado ligadas en su desarrollo a la realización de obras de ingeniería. En lo esencial, tales ciencias serían: la mecánica, la resistencia de materiales, la hidráulica, la electrotecnia, la termodinámica, la aerodinámica, la metalurgia y la teotecnia. Todas ellas son ciencias derivadas de la física y elaboradas con instrumental matemático.
2. La ingeniería surgió en Colombia, como profesión propiamente dicha, al igual que en los países latinoamericanos mayores, al terminar las guerras de independencia y comenzar la república. La tecnología que nos dejó la colonia era rudimentaria y anticuada en comparación con la de los países europeos de su tiempo. Cabe anotar que en este sentido, las colonias inglesas de América del Norte fueron más afortunadas.
3. Durante mucho tiempo, hasta hace unos 30 años, el estudio y el ejercicio de la ingeniería fue la motivación principal para estudiar ciencias básicas como la matemática, la física, la geología, la economía y otras. Además, ha sido siempre, obviamente, la motivación para estudiar las ya mencionadas ciencias propias de la ingeniería: se estudiaba la mecánica o hidráulica u otra cualquiera de estas ciencias porque se estudiaba ingeniería (en alguna de sus especialidades). Se ha creado así una estrecha dependencia gno-

seológica de dichas ciencias respecto al estudio y al ejercicio profesional de la ingeniería.

4. Lo anterior explica por qué en un país subdesarrollado como el nuestro, si se toma aisladamente cada ciencia relacionada con la ingeniería, no se le encuentra una historia propia. Para decirlo en otros términos: ninguna de estas ciencias tiene una *historia interna* a escala nacional. Lo que sí tiene historia interna colombiana es la ingeniería como labor educativa universitaria y como ejercicio profesional.

En esa historia colombiana de la ingeniería, cada una de sus ciencias tiene un papel protagónico en la medida en que haya aportado a la formación de los ingenieros o que haya sido aplicada por ellos para hacer obras que hayan tenido un significado nacional. Es decir, que la historia de las ciencias de la ingeniería sólo se puede hacer ejecutando la historia de la ingeniería o, en otras palabras, esas ciencias tienen sólo una *historia externa* que se manifiesta a través de la historia de la ingeniería.

5. Las actividades en la vida nacional que han impulsado el desarrollo de la ingeniería (en sus variadas ramas) han sido las siguientes:

- La cartografía nacional
- La defensa nacional
- Los ferrocarriles
- La minería
- La navegación fluvial
- Las comunicaciones eléctricas y radiales
- La industrialización
- La electrificación
- Las carreteras
- El petróleo
- Los servicios públicos

Estas actividades son las que más *demanda social de ingeniería* han impuesto, han arrastrado consigo el desarrollo de esa profesión y, en consecuencia, el conocimiento existente sobre sus propias ciencias.

6. El Estado, en sus diversos órganos y ramas, ha sido siempre el mayor demandante de servicios y conocimientos de ingeniería. Ello se ve, como ya se ha dicho, en que la mayoría de esas actividades son, principalmente, actividades desempeñadas por el sector público o controladas por él: la cartografía, la defensa nacional, los ferrocarriles, la navegación fluvial, la

- electrificación, las carreteras, las comunicaciones eléctricas y radiales y los servicios públicos, por ejemplo.
7. Más o menos hasta 1945, decir "ingeniería" era casi lo mismo que decir "ingeniería civil o de minas". La rápida industrialización a partir de la segunda guerra mundial trajo consigo la demanda de varias ramas nuevas, especialmente la química, la eléctrica, la mecánica, la industrial y la electrónica. El desarrollo y los cambios posteriores han dado lugar a nuevas especialidades y subespecialidades.
8. Desde mediados del siglo pasado, se notan síntomas persistentes de que el país ha tendido a presentar un excedente numérico de la oferta de ingenieros respecto a la demanda, exceptuando las áreas que implican conocimientos o experiencia muy avanzados o muy especializados inexistentes en el país. Causas o efectos de esa sobreoferta son los siguientes fenómenos, entre otros:
- El número de ingenieros extranjeros que vinieron como inmigrantes o temporalmente a trabajar en el país
 - La insuficiencia de puestos de trabajo para ingenieros colombianos en los ferrocarriles del siglo XIX
 - La capacidad de los ingenieros (civiles, químicos, etc.) existentes para aprender nuevos conocimientos y para adaptarse, así, al desempeño de oficios que corresponden a otras especialidades distintas de la suya
 - En los últimos 40 años, la proliferación de escuelas de ingeniería en múltiples especialidades
 - La tendencia acelerada en los últimos lustros a la especialización y subespecialización
 - El desempleo funcional que se ha observado, tradicionalmente, de gran número de ingenieros preparados como tales pero que ejercen otros oficios
 - El actual sobrante de ingenieros en varias especialidades
 - El desempleo masivo de ingenieros que se registra cuando se presentan tiempos de crisis económica.
9. Los ingenieros colombianos han sido buenos *aprendedores* de conocimientos de ingeniería, sean ellos tradicionales o recientemente importados. Pero casi nada han hecho en materia de innovación tecnológica ni en las ciencias propias de la profesión que merezca reconocerse históricamente. Su capacidad de invención y de descubrimiento de hechos o de artefactos nuevos ha sido muy poca.

10. La enseñanza de las ciencias de la ingeniería ha venido evolucionando gradualmente a lo largo de los siglos XIX y XX, conforme a los avances del conocimiento de esta ciencia y a sus enfoques didácticos en el exterior. En el caso de la matemática (que aquí no consideramos como ciencia de la ingeniería sino como ciencia básica para la ingeniería), en los últimos años se han diversificado los campos que de esta ciencia debe manejar con propiedad un buen ingeniero. Durante el siglo pasado y durante el presente, más o menos hasta 1950, se requerían las siguientes áreas: aritmética, álgebra clásica, geometría métrica plana y del espacio, geometría descriptiva, geometría analítica (plana) y cálculo diferencial e integral. Hacia 1950, en algunas facultades se incorporan ecuaciones diferenciales ordinarias, cálculo vectorial clásico y nomografía. En los años sesenta aparecen, en una u otra rama y en una u otra facultad, cálculo de variable compleja, análisis numérico, geometría diferencial clásica, transformadas integrales, estadística (general e inferencial) e investigación de operaciones.

Anexo 1

INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE LAS INGENIERIAS, EPOCAS Y FACTORES DE APARICION EN COLOMBIA

- La madera y su trabajo. Aborígenes. Colonizadores españoles
- El mapa. Navegantes y conquistadores españoles. Codazzi
- El reloj. Colonizadores españoles. Expedición Botánica
- El termómetro. Caldas, con la Expedición Botánica
- El plano de construcción. Constructores españoles en la Colonia
- La brújula. Navegantes y conquistadores españoles. Expedición Botánica. Comisión Corográfica. Primeros ingenieros en ferrocarriles (por ejemplo, Cisneros)
- El barómetro. Navegantes y conquistadores españoles. Expedición Botánica
- El sextante. Navegantes y conquistadores españoles. Comisión Corográfica
- El sistema métrico decimal. Boussingault
- La rueda hidráulica. Molinos de trigo coloniales. Moore, en las minas de Antioquia
- La pólvora. Los ingenieros ingleses y alemanes en las minas de Antioquia, entre 1825-1830
- La cadena de agrimensura y sus descendientes, el decámetro y la lienza. Los ingenieros ingleses y alemanes en minas de Antioquia, 1825-1830. Comisión Corográfica. Cisneros y primeros trazadores de ferrocarriles
- El taquímetro y sus posteriores versiones, el teodolito y el tránsito. Moore y su gente. Codazzi y su gente. Cisneros y su gente

- La caldera de vapor. Primeros buques del Magdalena. Elbers. Cisneros
- El nivel de mano (tipo Abney o Locke). Cisneros y demás trazadores de ferrocarriles
- La mira de nivelación. Cisneros y demás trazadores de ferrocarriles
- Los instrumentos de dibujo. Codazzi. Cisneros y demás trazadores de ferrocarriles
- El ladrillo de arcilla horneado. Fines del siglo XIX, Bogotá
- La locomotora. Los alemanes en Barranquilla. Cisneros, en varias líneas
- El electroimán en el telégrafo. Samuel Stiles, en 1865
- El teléfono. Fines del siglo XIX, en Bogotá y Medellín
- La dinamita. Minas de Antioquia, hacia 1880
- La turbina Pelton. Minas de Antioquia, hacia 1880
- El generador eléctrico. Fines del siglo XIX, en Medellín y Bogotá
- Los instrumentos de medidas eléctricas. Fines del siglo XIX, en Medellín y Bogotá
- El motor de gasolina. Primeros automotores, entre 1905-1910, en varias ciudades
- El acumulador eléctrico de Planté. Primeros automotores, entre 1905-1910, en varias ciudades
- Las herramientas de taller mecánico. Primeros decenios del siglo XX
- La balanza técnica
- La polea y sus combinaciones. Primeras industrias de fines del siglo XIX
- La torre de destilación continua. Destilería de licores, a principios del siglo XX. Refinería de petróleo en Barrancabermeja, hacia 1920
- La hélice. Primeros aviones, 1919
- La refrigeración industrial. En cervecería, hacia los años diez o veinte
- El tubo electrónico. Primeras radioemisoras, hacia 1920
- El motor eléctrico industrial de corriente alterna. Fines de los años diez y principios de los veinte
- El cemento y el concreto
- La calculadora mecánica manual. Fines de los años veinte o principios de los treinta
- La regla de cálculo. Principio de los años cuarenta
- Buldózer, MOP. Entre 1935-1940
- El taladro neumático, hacia 1940
- La grúa mecánica automóvil para construcción. Principios de los años cuarenta
- El motor diesel (en camiones y otras máquinas). Hacia 1940

- La aerofotogrametría. Finales de los años cuarenta
- La pala mecánica automóvil. Principios de los años cincuenta
- El reactor químico industrial (autoclave). Entre 1950-1955
- El computador digital. Escuela de Minas, 1960
- El transistor en aparatos electrónicos. Años sesenta
- Las microondas en telecomunicaciones. Años sesenta
- La calculadora electrónica de mesa y de bolsillo 1969
- El *chip* microelectrónico. Hacia 1970
- El minicomputador. Entre 1978-1980.

- La microfotografía: Fases de los años cuarenta
- La pila mecánica automática: Principios de los años cincuenta
- El reactor químico industrial (Amosov), París 1950-1955
- El computador digital, Escuela de Minas, 1960
- El transistor europeo electrónico, Años sesenta
- Las microondas en telecomunicaciones, Años setenta
- La calculadora electrónica de mesa y de bolsillo, 1960
- El chip microelectrónico, Hacia 1970
- El mini computador, Hacia 1978-1980

Anexo 2

ALGUNOS SUCEOS Y OBRAS MEMORABLES DE LA INGENIERIA, 1650-1980

- El Canal del Dique, 1650
- Fortificaciones de Cartagena
- Camino real Santafé-Honda, de Venero de Leyva
- Puente del Común
- Observatorio Astronómico de Bogotá
- Escuela de Ingenieros Militares de Caldas, en Rionegro, 1814
- Primeros vapores en el Magdalena, 1822
- La ferrería de Pacho, 1824
- Primeras fábricas (de Joaquín Acosta) en Bogotá, 1834
- Misión Boussingault-De Rivero, 1825
- Tecnificación de minas de veta en Antioquia, entre 1830 y 1840
- El plan nacional de caminos de Mosquera, 1846
- El Colegio Militar, 1848-1854, 1863-1867
- El sistema métrico decimal, 1846
- El Capitolio Nacional, 1850
- La Comisión Corográfica, 1851
- El primer ferrocarril, de Barranquilla al mar
- El ferrocarril de Antioquia, 1875
- El primer ferrocarril hecho sólo por colombianos, el del Zulia-Cúcuta, 1876
- Los ferrocarriles de Cisneros: el de Puerto Colombia, La Dorada, Buena-ventura y Girardot, 1875-1884
- El muelle de Puerto Colombia, 1893

- El telégrafo alámbrico
- Facultad de ingeniería en la Universidad Nacional, 1867
- El puente de occidente, en Antioquia, 1887
- La Escuela de Minas, 1888
- Nuevos avances en minería antioqueña, hacia 1880
- Los ferrocarriles de Núñez: la Sabana, del Norte, Cartagena-Calamar
- Las primeras industrias en Antioquia, hacia 1870
- Las fundiciones en Antioquia, hacia 1880
- Universidad Republicana, con su facultad de ingeniería, 1895
- El teléfono, Medellín, 1891
- La primera electrificación de las ciudades, Cartagena, 1891
- Planta hidroeléctrica de Santa Elena, en Medellín, 1897
- Planta hidroeléctrica de El Charquito, en Bogotá, 1900
- La Oficina de Longitudes de Reyes, 1905
- Camino carretero afirmado Bogotá-Faca, entre 1905 y 1907
- El acueducto de Bogotá
- Los ferrocarriles de Reyes: Honda-Ambalema, Flandes-Ibagué, el del Norte, Puerto Wilches-Bucaramanga, Buenaventura-Cali, de Girardot
- La primera fábrica de cementos, Bogotá, 1909
- Montajes industriales textiles en Medellín, hacia 1910
- Primeros automotores, años diez
- Primeras comunicaciones inalámbricas, 1911
- Estudios sobre el río Magdalena por la Julius Berger Konsortium, entre 1912 y 1915
- Acueducto de Medellín, 1914
- Navegación del río Cauca, en los años veinte
- Primeros tranvías en Bogotá, 1914, y Medellín, 1920
- Primeros aviones, desde 1919
- Los ferrocarriles de Ospina: del Tolima, Chicoral-Ibagué, de Caldas, del Pacífico, del Nordeste, troncal de Occidente
- Comienzos de la explotación de petróleo, 1920
- Primeras carreteras para automotores
- Primera refinería en Barrancabermeja, 1922
- Primeras radioemisoras, hacia 1920
- Aeropuertos de Barranquilla, Medellín, Techo
- Primera Empresa Nacional Radiotelegráfica, 1922
- Cables aéreos Mariquita-Manizales, Manizales-Neiva
- La electrificación de las fábricas, hacia 1920

- Túnel de La Quebra, entre 1926 y 1929
- Carretera Ibagué-Armenia, entre 1927 y 1928
- Puente férreo de Girardot, entre 1925 y 1931
- Carretera Popayán-Pasto, hacia 1926
- Reconstrucción de Manizales por Ullen and Co., desde 1926
- Primer plan nacional de carreteras de Olaya-Uribe Hoyos, 1931
- Carretera Garzón-Florencia, 1932
- La proliferación de ingenios en el Valle del Cauca, mediados de los años treinta
- Carretera Bogotá-Honda, 1935
- Bocas de Ceniza, entre 1932 y 1936
- El Servicio Geológico y Minero, 1936
- El Instituto Geográfico Militar y Catastral Agustín Codazzi, 1936
- Represa La Regadera, 1936
- Planta de aguas de Vitelma, en Bogotá, 1936
- Central hidroeléctrica de Guadalupe, 1936
- Empresa Siderúrgica de Medellín, entre 1936 y 1938
- Ferrocarril Cartago-La Pintada, entre 1938 y 1940
- Gran extensión de la red de carreteras (casi 10 mil km), de 2.600 km en 1930 a 11.500 km en 1940
- Primeras facultades de ingeniería química: Bolivariana, 1940; de Antioquia, 1943; Nacional, 1944
- Fundación del Instituto de Crédito Territorial, 1941
- Fundación del Instituto de Fomento Industrial, 1940
- Fundación del Instituto de Fomento Municipal, 1940
- Introducción del taladro neumático y de la grúa automóvil, hacia 1940
- Conclusión del ferrocarril Puerto Wilches-Bucaramanga, 1941
- La rápida industrialización de Antioquia en la posguerra, entre 1945 y 1950
- La gran extensión de la red de carreteras en los años cuarenta, de 11.500 km en 1940 a 21.000 en 1950
- Primeras facultades de ingeniería
- Universidad Industrial de Santander, 1948: ingeniería eléctrica, mecánica y química
- Universidad de los Andes, 1949: ingeniería civil, eléctrica y mecánica
- Universidad Pontificia Bolivariana, 1950: ingeniería eléctrica
- Universidad La Gran Colombia, 1950: ingeniería civil
- Terminación de la carretera Medellín-Turbo, entre 1927 y 1950
- Universidad del Valle, 1949: ingeniería química y electromecánica

- Universidad del Atlántico, 1949: ingeniería química
- Comienzo del sistema irrigación del Saldaña, 1949
- Ecopetrol, 1950
- Instituto de Fomento Eléctrico y Aprovechamiento de Aguas, Electroaguas, (hoy ICEL), 1949
- Plan de desarrollo eléctrico de Électricité de France, 1950
- La gran extensión de la red de carreteras 1950-1955: de 21.000 km a 27.600 km
- La intensificación de las pavimentaciones de carreteras: de 630 km en 1950 a 2.000 en 1955
- Plan nacional de carreteras, 1951
- Introducción de maquinaria pesada vial: de 1950 a 1955
- Central hidroeléctrica El Salto I, 1950
- Central hidroeléctrica de La Insula, en Manizales, 1951
- Central hidroeléctrica de Río Grande, en Medellín, entre 1948 y 1951
- Planta Colombiana de Soda, en Zipaquirá, 1951
- Estudios y trazados del ferrocarril del Magdalena, entre 1948 y 1952
- Carretera Saldaña-Alpe-Neiva, 1952
- Siderúrgica de Paz del Río, entre 1948 y 1954
- Carretera Medellín-Caucasia-Cartagena, 1954
- Televisión Nacional, 1954
- Carretera Buga-Madroñal-Buenaventura, entre 1954 y 1955
- Corporación Autónoma del Cauca, CVC, 1954
- Central hidroeléctrica El Salto II, 1955
- Gran expansión del sistema eléctrico de 1950 (238 MW) a 1960 (670 MW)
- Central hidroeléctrica de Anchicayá, 1956
- El edificio en acero del Banco de Bogotá, en Bogotá, 1957
- Central hidroeléctrica de Laguneta, 1957
- Carretera Bucaramanga-Valledupar-Santa Marta, entre 1956 y 1957
- Ferrocarril del Magdalena, entre 1953 y 1961
- Centro Administrativo Nacional, CAN, 1956
- Aeropuerto Eldorado, entre 1956 y 1962
- Refinería de Cartagena, entre 1956 y 1958
- Obras urbanas calle 26 en Bogotá, 1958
- Fertilcol, Barrancabermeja, 1958 y 1960
- Primeras facultades de ingeniería electrónica: Universidad Distrital, 1957, Universidad Pontificia Javeriana, 1960
- Central termoeléctrica de Yumbo, 1960

- Plantas de Abocol y Amocar, en Cartagena, entre 1959 y 1961
- Construcción de Forjas de Colombia, en Bucaramanga, 1962
- Central hidroeléctrica del río Prado, 1962
- Sistema de irrigación Roldanillo-La Unión-Toro, 1962
- Primeras facultades de ingeniería metalúrgica: Universidad Libre, 1962, UIS, 1964
- Primera facultad de ingeniería industrial: UIS, 1962
- Central termoeléctrica de Zipaquirá, 1964
- Central termoeléctrica de Paipa, 1965
- Expansión de la red de carreteras, de 1960 (36.890 km) a 1970 (49.549 km)
- Fábricas y plantas químicas y petroquímicas de Mamonal, en Cartagena, entre 1963 y 1966
- Creación de ISA, Interconexión Eléctrica S.A., 1967
- Gran expansión del sistema eléctrico, de 1960 (670 MW) a 1970 (2.078 MW)
- El edificio de Avianca, en Bogotá, entre 1967 y 1968
- Considerable expansión industrial metalmecánica, entre 1962 y 1972
- Gran expansión en las redes de teléfonos urbanos, de 1965 (400 mil líneas) a 1975 (820 mil líneas)
- Creación de la Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica, Corelca, 1970
- Primera facultad de ingeniería de sistemas: Universidad de los Andes, 1971
- La antena parabólica para satélites, en Chocontá, 1970
- El puente del río Juanambú, 1970
- Construcción de Monómeros Colombo-Venezolanos, entre 1971 y 1972
- Central hidroeléctrica de Guatapé, entre 1960 y 1977
- Central hidroeléctrica de Chivor, entre 1960 y 1976
- El puente Alberto Pumarejo sobre el Magdalena, en Barranquilla, 1973
- Estudio nacional del potencial hidroeléctrico, entre 1975 y 1980
- Central hidroeléctrica de San Carlos, Antioquia, entre 1973 y 1984

BIBLIOGRAFIA

- Arango Mejía, Gabriel
(1942) **Genealogías de Antioquia y Caldas**. 2a ed. Medellín: Imprenta Departamental.
- Arias de Greiff, Gustavo
(1986) **La mula de hierro**. Bogotá: Carlos Valencia editores.
- Ashton, T. S.
(1950) **La revolución industrial**. México: Fondo de Cultura Económica.
- Atherton, W. A.
(1984) **From Compass to Computer**. San Francisco: San Francisco Press.
- Banco de la República
(1950) **Bases de un programa de fomento para Colombia**. Informe de una misión dirigida por Lauchlin Currie y auspiciada por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Bogotá: Banco de la República. 3 vols.
- Bateman, Alfredo
(1972) **Páginas para la historia de la ingeniería colombiana**. Bogotá: Editorial Kelly.
- Bernal, John D.
(1979) **La ciencia en nuestro tiempo**. México: Editorial Nueva Imagen.
- Blondel, André (dir.)
(1920) **Encyclopédie d'électricité industriel**, 35 vols.
- Boussingault, J. B.
(1985) **Memorias**. (Traducido por Alexander Koppel de León). Bogotá: Banco de la República.

- Bowers, Brian
(1982) **A History of Electric Light and Power**. Nueva York: Peter Peregrinus Ltd.
- Bravo Betancur, José María
(1987) **Monografía sobre la Escuela de Minas**. Medellín: Litoarte.
- Brew, Robert
(1977) **El desarrollo económico de Antioquia desde la Independencia hasta 1920**. Bogotá: Banco de la República.
- Castrillón Arboleda, Diego
(1979) **Tomás Cipriano de Mosquera**. Bogotá: Arco.
- Cock, Julián
(1938) "Estudio de una empresa siderúrgica en Medellín". Tesis. Ingeniería. Medellín: Escuela Nacional de Minas.
- Colciencias
(1979) **La fundición en Colombia**. Bogotá: Colciencias.
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
(1977) "La economía colombiana 1950-1975". **Revista de Planeación y Desarrollo**. Bogotá, 9(3): 1-278, octubre/diciembre.
- Colombia. Ministerio de Obras Públicas.
(1965) **Centenario de Julio Garavito Armero**. Bogotá: Imprenta Nacional.
(1977) **Ferrocarriles Nacionales: una empresa que marcha**. Bogotá.
- Cruz Santos, Abel
(1970) **Por caminos de mar, tierra y aire**. Bogotá: Italgraf.
- De Camp, L. Sprague
(1974) **The Ancient Engineers**. Nueva York: First Ballantine Books.
- Derry, T. K. y Williams, T. I.
(1960) **A Short History of Technology**. Londres: Oxford University Press.
- Durán, Antonio J.
(1936) **Ensayos de minerales de oro y plata**. Medellín: Editorial Atlántica.
- Echavarría, Enrique
(1942) "Extranjeros en Antioquia". **Progreso: Organó de la Sociedad de Mejoras Públicas de Medellín**. (38-39): 1189-1261, agosto-septiembre.
- Echavarría Misas, Guillermo
(1982) **De la mula al avión**. Medellín: Servigráficas.

- Empresa Nacional de Telecomunicaciones de Colombia
(1970) **Historia de las comunicaciones en Colombia**. Bogotá: Litografía Arco.
- Escobar, José María
(1898) "La planta eléctrica de Medellín". **El Montañés: Revista de literatura** I (11), julio, Medellín.
- Eshbach, Ovid W. (Ed.)
(s/f) **Handbook of Engineering Fundamentals**. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Estrada Monsalve, Joaquín
(1945) **Mosquera, su grandeza y comedia**. Bogotá: Minerva.
- Fulton, Charles Herman
(1910) **Principles of Metallurgy: An Introduction to the Metallurgy of the Metals**. Nueva York: McGraw-Hill.
- García, Julio César
(1937) "Historia de la Escuela Nacional de Minas". **Anales de la Escuela Nacional de Minas**, Medellín: (42):7-25, octubre.
(1962) **Historia de la instrucción pública en Antioquia**. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Gille, Bertrand
(1966) **Histoire de la métallurgie**. París: Presses Universitaires de France.
- Gómez Barrientos, Estanislao
(1898) "Don Carlos Segismundo de Greiff". **El Montañés: Revista de literatura, artes y ciencias**, 1(6-7): 235, 287, 295, Febrero, marzo, Medellín.
(1924) "Extranjeros beneméritos en Antioquia: Sr. Tyrrell Moore". **Repertorio histórico**, 6 (9): 311-345, septiembre, Medellín.
(1913) "Tyrrell Moore". En: Gómez Barrientos, E. **Don Mariano Ospina y su época**. Medellín: Imprenta Editorial, t. I: 161-165.
- Greiff Bravo, Luis de (comp.)
(1955) **Documentos biográficos relativos a Carlos S. de Greiff y sus hijos**. Medellín: Bedout.
- Grimberg, Carl
(1967) "El siglo del liberalismo". En: **Historia universal Daimon**. Madrid: Daimon, Manuel Tamayo, t. 2.
- Guillet, León (dir.)
(1920) **Encyclopédie minière et métallurgique**. 40 vols.

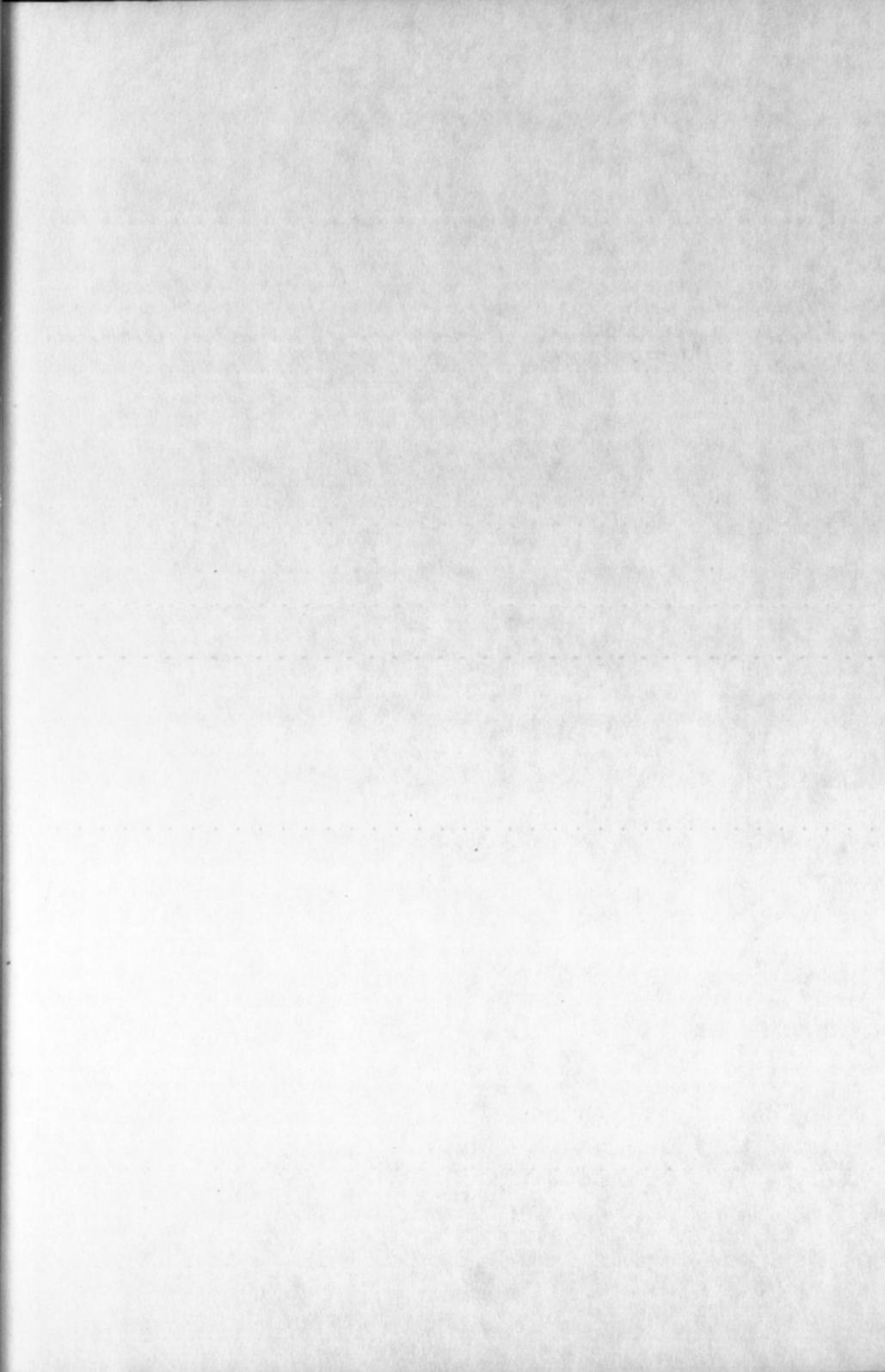
- Hellemans, Alexander y Bunch, Ryan
(1988) **The Timetables of Science : A Chronology of the Most Important People and Events in the History of Science**. Nueva York: Simon and Schuster.
- Humphrey Beggs, Mary, Gregory, Hugh y Humphrey, Darlow.
(1976) **The Industrial Revolution**. Londres: Ed. George Allen.
- Instituto de Fomento Industrial.
Informes y balances.
- Jalhay, Henry
(1909). **La République de Colombie**. Bruselas: Vromant.
- Lecornu, Leon (dir.)
(1920) **Encyclopédie de mécanique appliquée**. 30 vols.
- Lemaitre, Eduardo
(1953) **Reyes**. 2a ed. Bogotá: Editorial Iqueima.
- Liévano Aguirre, Indalecio
(1944) **Rafael Núñez**. Bogotá: Cromos.
- López, Alejandro
(1899) "El paso de La Quiebra en el ferrocarril de Antioquia". Tesis de Ing. Civil. Medellín: Escuela Nacional de Minas. **Anales del Colegio de Zea** (7).
- Lleras Restrepo, Carlos
(1983) **Crónica de mi propia vida**. Bogotá: Stamato Editores, 4 vols.
- Matignon, M. C.
(s/f) **Encyclopédie de chemie industrielle**. 50 vols.
- Mayor Mora, Alberto
(1984) **Etica, trabajo y productividad en Antioquia**. Bogotá: Tercer Mundo.
(1985) "Matemáticas y subdesarrollo. La disputa sobre la enseñanza en la ingeniería colombiana de principios del siglo XX". Medellín: **Rev. Ext. Cult.** Universidad Nacional-Seccional Medellín (19): 14-24, julio.
- Monsalve, Diego
(1927) **Colombia cafetera**. Barcelona: Artes Gráficas.
- Moreno De Angel, Pilar
(1989) **Santander**. Bogotá: Planeta.
- Munford, Lewis
(1971) **Técnica y civilización**. Madrid: Alianza Universidad, Ediciones Castilla S.A.

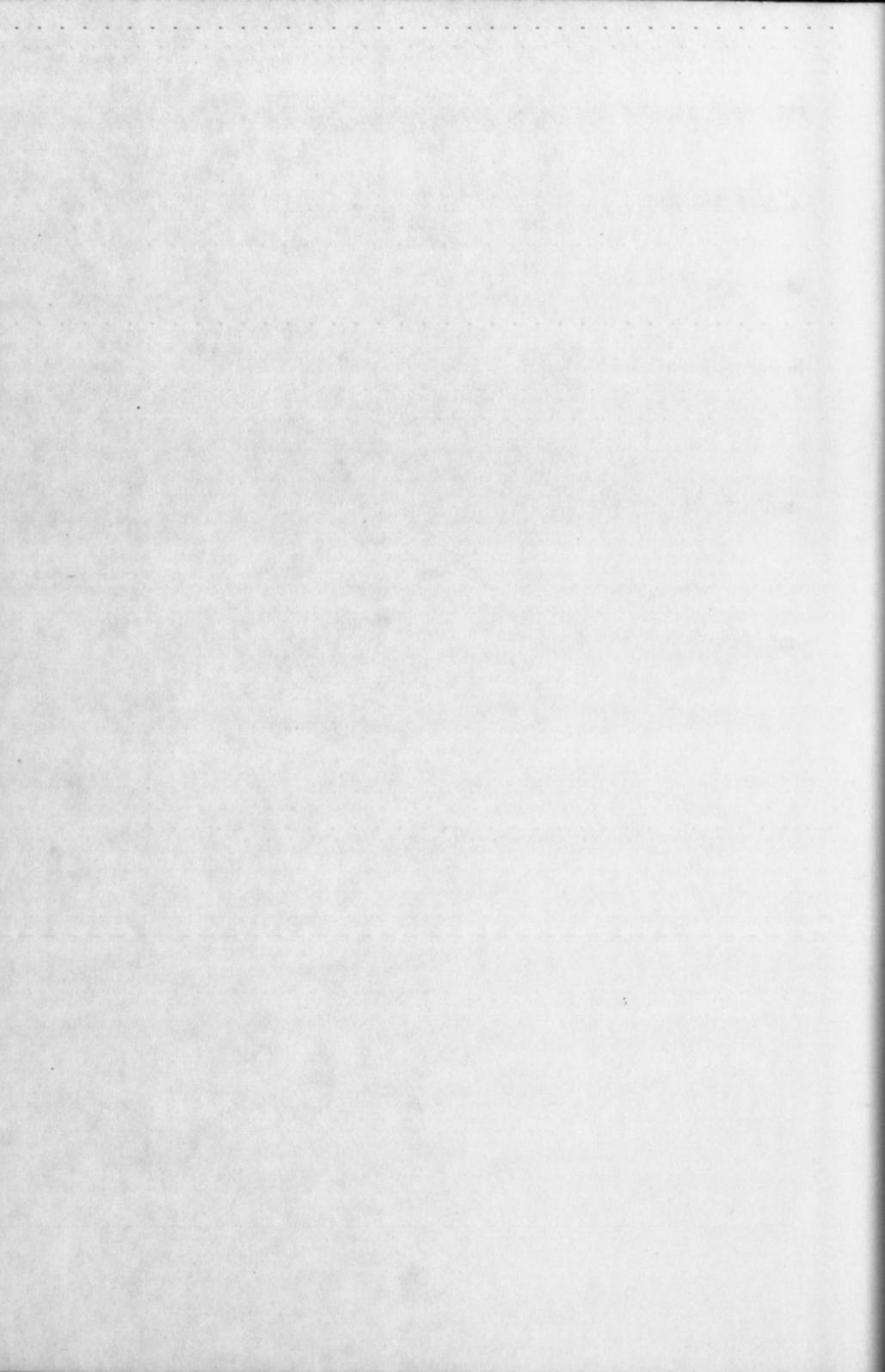
- Muriel Foronda, Rafael Darío
(1982) "Colombia: comercio y transportes 1850-1929". Tesis. Medellín, Universidad de Antioquia.
(1983) "Anotaciones histórico económicas sobre la construcción de ferrocarriles en Colombia 1850-1920". *Semestre Económico*, Universidad de Medellín (1):9-36.
- McGreevey, William Paul
(1971) *An Economic History of Colombia 1845-1930*. Cambridge: University Press.
- Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina
(1923) *Historia de los ferrocarriles de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional
- Ocampo, José Antonio
(1984) *Colombia y la economía mundial 1830-1910*. Bogotá: Editorial Siglo XXI de Colombia.
- Ortega, Alfredo
(1923) *Historia de los ferrocarriles de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Ospina, E. Livardo
(1966) "Una vida, una lucha, una victoria". Monografía histórica de la empresas y servicios públicos de Medellín. Medellín: Colina.
- Ospina Vásquez, Luis
(1979) *Industria y protección en Colombia*. Medellín: FAES.
- Ouvrieu, René
(1970) *Techniques et technologie*. París: Librairie Armand Colin.
- Parsons, James J.
(1961) *La colonización antioqueña en el occidente de Colombia*. Versión española, prólogos y notas por Emilio Robledo. 2a edición. Bogotá: Banco de la República.
- Pavón, Moisés
(1923) *Las ferrerías y el desarrollo industrial del país*. 2a edición. Bogotá: El Gráfico.
- Pedraja Toman, René
(1985) *De la historia de la energía en Colombia 1573-1930*. Bogotá: Ancora.
- Percy, J.
(1864) *Traité complet de métallurgie*. París: Librairie Polytechnique de Noble et Baudry. 5 vols.

- Poveda Narváez, Pío y Acosta Villaveces, Jorge.
(s/f) Conversaciones entre Pío Poveda Narváez y Jorge Acosta Villaveces.
- Poveda Ramos, Gabriel y Poveda Narváez, Pío
(1938-1953) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos y Pío Poveda Narváez.
- Poveda Ramos, Gabriel y Narváez, Pedro
(1940-1950) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos y Pedro Narváez.
- Poveda Ramos, Gabriel y Suescún Gómez, Darío
(1948-1991) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos y Darío Suescún Gómez.
- Poveda Ramos, Gabriel y Garcés González, Hernán
(1948-1992) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos y Hernán Garcés.
- Poveda Ramos, Gabriel y Cruz Santos, Abel
(1950-1956) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos y Abel Cruz Santos.
- Poveda Ramos, Gabriel y Federici Casa, Carlo
(1957-1968) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos y Carlo Federici Casa.
- Poveda Ramos, Gabriel y Greiff Bravo, Luis de
(1959-1967) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos y Luis de Greiff Bravo.
- Poveda Ramos, Gabriel, Poveda Narváez, Pío y Salas Trujillo, Ramón
(1938-1950) Conversaciones entre Gabriel Poveda Ramos, Pío Poveda Narváez y Ramón Salas Trujillo.
- Poveda Ramos, Gabriel
(1970) "Historia de la industria en Colombia". **Revista Trimestral Andi**. Medellín. (11): 1-97, octubre
(1974) **Antioquia y el ferrocarril de Antioquia**. Medellín: Gráficas Vallejo.
(1979) **Políticas económicas, desarrollo industrial y tecnología en Colombia, 1925-1975**. 2ed. Bogotá: Colciencias.
(1984) **Andi y la industria en Colombia, 1944 y 1984, 40 años**. Medellín: Servigráficas.
(1982) "Políticas económicas incidentes en la industria local de bienes de capital", **Ciencia, Tecnología y Desarrollo**. Bogotá, 6 (1-2), enero/junio.
(1984) **Minas y mineros de Antioquia**. Bogotá: Banco de la República.

- (1985) "La ingeniería en Colombia: sus ciencias y su historia". **Ciencia, Tecnología y Desarrollo**. Bogotá, 9 (1-2), enero/diciembre.
- (1988) "Historia económica de Antioquia". Medellín: Lt. Especial, Autores Antioqueños: no. 41.
- (1988) **Simesa: Medio siglo de siderurgia colombiana**. Medellín.
- (1992) "Rafael Reyes: gran constructor de Colombia". Medellín: mecanografiado.
- Restrepo Uribe, Jorge
(1981) **Medellín, su origen, progreso y desarrollo**. Medellín: Servigráficas.
- Rey Pastor, Julio y Brewes, N.
(1957) **La técnica en la historia de la humanidad**. Buenos Aires: Atlántida S.A.
- Rodríguez, Nepomuceno
(1883) **Informe relativo a la ferrería de Samacá**. Bogotá: Imprenta de Medardo Rivas.
- Safford, Frank
(1976) **The Ideal of the Practical. Colombia's Struggle to Form a Technical Elite**. Austin: University of Texas Press.
- Sin autor
(1909) **Contrato sobre alumbrado público celebrado entre el gobierno de Antioquia y el Concejo Municipal de Medellín, por una parte, y la Compañía Antioqueña de Instalaciones Eléctricas, por la otra**. Medellín: Tipografía Industrial.
- Sojo, José Raimundo
(1970): **El comercio en la historia de Colombia**. Bogotá: Cámara de Comercio de Bogotá.
- Téllez B. Hernando
(1974) **Cincuenta años de la radiodifusión colombiana**. Medellín: Bedout.
- Tirado Mejía, Alvaro
(1976) **Introducción a la historia económica de Colombia**. 5ed. Medellín: La Carreta.
(1981) **Aspectos políticos del primer gobierno de Alfonso López Pumarejo 1934-1938**. Bogotá: Procultura.
- Toro Botero, Constanza
(1984) "Inversión privada en servicios públicos el caso del alumbrado

- eléctrico de Bogotá y Medellín, 1889-1918". **Lecturas de Economía**. Medellín, (15): 103-168, septiembre/diciembre.
- Torres Almeida, Jesús C.
(1984) "Murillo Toro: Caudillo radical y reformador social". Bogotá: **El Tiempo**.
- Trawiwine, John Cresson
(1913) **Manual del ingeniero**. Traducción de la 19ª ed. y convertido al sistema métrico por A. Smith. París: Garnier Hnos.
- Uribe, Joaquín Antonio
(1910) Apuntes manuscritos. Sonsón-Medellín.
- Varchim, Joachim y Radkau, Joachim
(s/f) **Kraft, Energie und Arbeit Energie und Gessellschaft**. Hamburgo: Rowoll Taschenbuch Verlag G. m.b.h.
- Villegas, Jorge
(1982) **Petróleo. Oligarquía e imperio**. 3ed. Bogotá: Ancora.
- Zerda, Liborio y Restrepo, Vicente
(1884) **Ultimo informe relativo a la ferrería de Samacá**. Bogotá: Imprenta de Medardo Rivas.





este libro terminó de imprimirse
en los talleres de tercer mundo editores
en marzo de 1993, santafé de bogotá, colombia,
apartado aéreo 4817

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA EN COLOMBIA

- TOMO I *Fundamentos
teórico-metodológicos*
- TOMO II *Matemáticas,
astronomía y geología*
- TOMO III *Historia natural
y ciencias agropecuarias*
- TOMO IV *Ingeniería
e historia de las
técnicas (1)*
- TOMO V *Ingeniería
e historia de las
técnicas (2)*
- TOMO VI *Física y química*
- TOMO VII *Medicina (1)*
- TOMO VIII *Medicina (2)*
- TOMO IX *Ciencias sociales*
- TOMO X *Bibliografía*

COL 00634	
Vol. 5 <i>Historia Social Ciencia en Co</i>	
y. 1	
FECHA	PRESTADO A
11 + XI-99	DEVUELTO

COL
00634
V. 5

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA EN COLOMBIA

El proyecto Historia Social de la Ciencia en Colombia inició sus actividades de investigación en 1983 y sus informes finales fueron entregados entre 1985 y comienzos de 1986. Con el apoyo financiero de la OEA y de Colciencias y bajo la coordinación de la Sociedad Colombiana de Epistemología, fue desarrollado por un equipo interinstitucional e interdisciplinario, compuesto por especialistas de las diferentes ciencias objeto de estudio y por científicos sociales vinculados a las principales universidades del país.

Algunos de los informes parciales y la mayoría de los finales fueron publicados sucesivamente desde 1983 hasta 1988 en la revista **Ciencia, Tecnología y Desarrollo**, editada por Colciencias, y en algunos otros libros y revistas nacionales e internacionales.

Esta colección, en 10 volúmenes, reúne, en primer lugar, los textos de los trabajos metodológicos que orientaron inicialmente el proyecto (volumen 1) y, en segundo lugar, los trabajos finales (volúmenes 2 a 9). La colección se complementa con un volumen más que recoge, en forma unificada y organizada por temas, la bibliografía de todos los trabajos.

Los textos de orden metodológico se presentan sin modificaciones, con el fin de conservar su carácter de textos fechados, de tal manera que puedan identificarse las raíces conceptuales del proyecto, a pesar de que sus autores superaron con creces esas posiciones iniciales. Algunos de los textos que presentan resultados finales se publican sin modificación con la anuencia de sus autores; sin embargo, en otros casos como los de Gabriel Poveda, Olga Restrepo, Jorge Arias de Greiff, Luis Carlos Arboleda, Néstor Miranda y Emilio Quevedo, los autores han continuado avanzando en su trabajo sobre el tema y los textos que aquí presentamos son versiones más elaboradas.

Los esfuerzos editoriales que hasta ahora se habían realizado en esta disciplina se reducían a recopilaciones fragmentarias de estudios puntuales. El mérito de esta colección que Colciencias se complace en publicar es el de presentar en forma actualizada e integral un conjunto de investigaciones de carácter amplio que entregan por primera vez una visión panorámica y global del desarrollo de la ciencia y la tecnología en Colombia hasta la primera mitad del siglo XX.

ISBN 9037-11-9 (Co)
ISBN 9037-16-X

CENTRO DE DOCUMENTACION



01005999

COLCIENCIAS