

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA EN COLOMBIA

TOMO IV

**INGENIERIA
E
HISTORIA
DE LAS TECNICAS
(1)**

Gabriel Poveda Ramos

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.

Historia Social de la Ciencia en Colombia
Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia
y la Tecnología Francisco José de Caldas
COLCIENCIAS

2

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA
EN COLOMBIA

TOMO IV

INGENIERIA E HISTORIA
DE LAS TECNICAS (I)

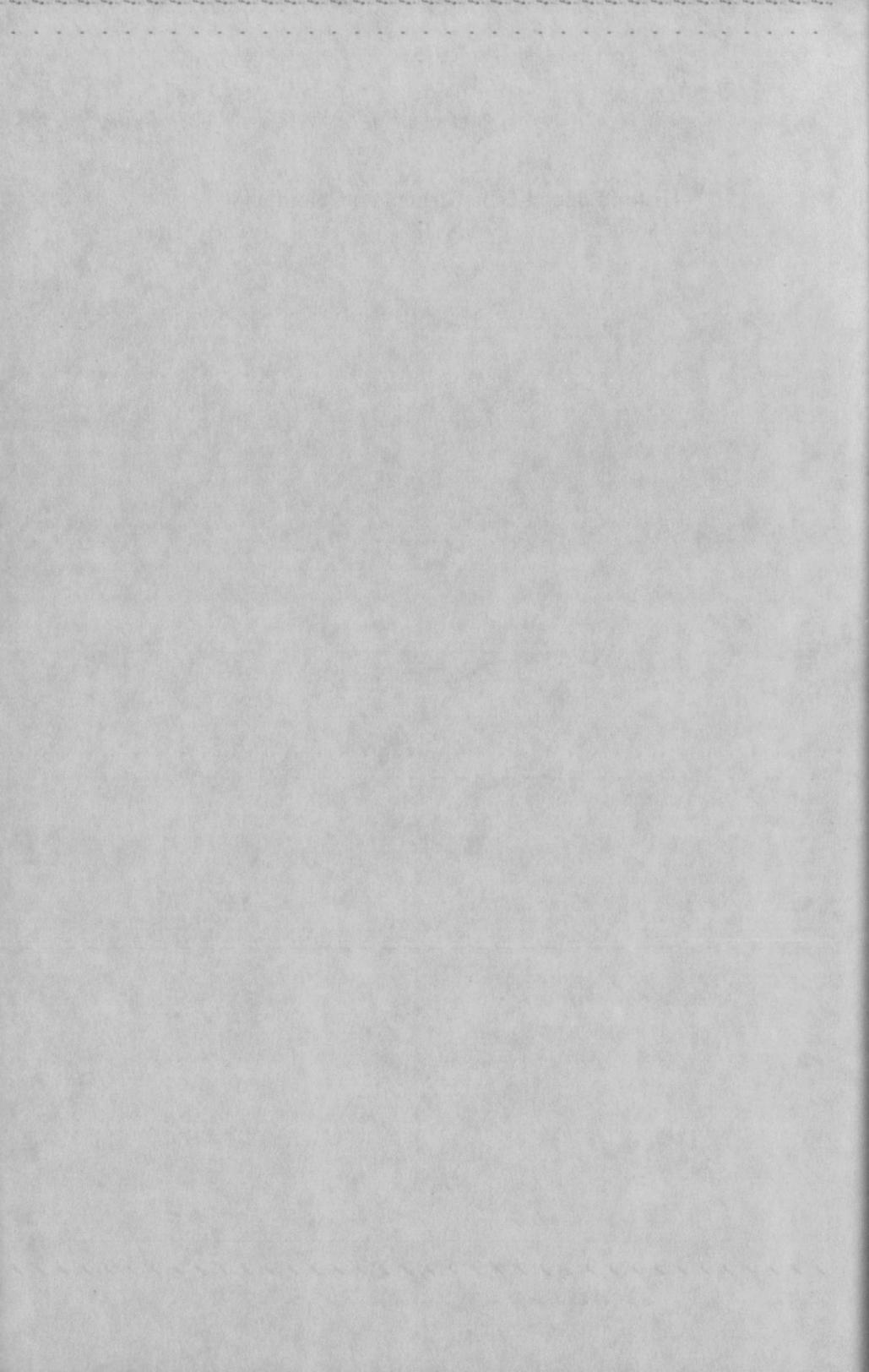
Gabriel Poveda Ramos

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



HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA EN COLOMBIA

TOMO IV

INGENIERIA E HISTORIA
DE LAS TECNICAS (1)

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

8

HISTORIA SOCIAL DE LA CIENCIA EN COLOMBIA

TOMO IV

INGENIERIA E HISTORIA
DE LAS TECNICAS (I)

© 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 9037-15-1 (tomo IV)

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

Impreso y hecho en Colombia
Printed and made in Colombia

Coordinación del proyecto:

Carlos Esteban Vasco
Diana Obregon
Luis Enrique Orozco

CONTENIDO

Ferrería de Amagi	29
Factores de factibilidad de las innovaciones técnicas de la época	143
Terminología de las ferrerías en el siglo XIX	143
Condiciones en Antioquia al final del siglo	Capítulo 6
Primeros ferrocarriles en Colombia	INGENIERIA E INGENIEROS EN COLOMBIA
La metalurgia y la Escuela de Minas de Medellín	141
Los talleres de metalurgia en la Misión Boussingault	141
Algunos ingenieros de la época	147
La misión Boussingault	147
Mecanización de la minería de oro en Antioquia	147
La técnica en las primeras minas de oro en Antioquia	147
Primer gobierno de Mosquera	147
Primeros ingenieros colombianos	9
INTRODUCCION	13
Escuela de Minas de Medellín	Capítulo 7
LA COMISION COLOMBIANA	161
La geografía transiana antes de Cobazzi	161
Agustin Cobazzi	17
Conato de la Comisión Colombiana	161
Ayudantes de Cobazzi	161
Viajes de la Comisión	23
Después de Cobazzi	23
La obra de Cobazzi	23
Agustin Cobazzi como ingeniero	27
Capítulo 3	Capítulo 8
LAS FORTIFICACIONES DE CARTAGENA	27
Glosario de ingeniería militar	45
Capítulo 4	Capítulo 9
LA INGENIERIA AL FINAL DE LA COLONIA	177
Lo que nos dejó España	49
La Expedición Botánica	49
Primer colegio militar	52
Conclusion	53
Capítulo 5	Capítulo 9
INGENIERIA E INGENIEROS EN EL MUNDO, 1800-1850	55
La herencia de la antigüedad	55
Escuelas famosas	58
El saber	59

Instrumentos y materiales usados	62
Las innovaciones técnicas de la época	63

Capítulo 6

INGENIERIA E INGENIEROS EN COLOMBIA, 1800-1850	65
Comienzos del siglo XIX	65
La primera navegación del Magdalena	66
Algunos ingenieros de la época	66
La misión Boussingault	68
Mecanización de la minería de oro en Antioquia	70
La técnica en las primeras industrias nacionales	71
Primer gobierno de Mosquera	73
Primeros ingenieros colombianos	75

Capítulo 7

LA COMISION COROGRAFICA	77
La geografía granadina antes de Codazzi	77
Agustín Codazzi	85
Contrato de la Comisión Corográfica	87
Ayudantes de Codazzi	90
Viajes de la Comisión	93
Después de Codazzi	98
La obra de Codazzi	99
Agustín Codazzi como ingeniero	105

Capítulo 8

LA REVOLUCION MECANICA DE WATT	111
La máquina de vapor	111
El ferrocarril	115
La navegación a vapor	119
Conclusión	121

Capítulo 9

FERRERIAS, METALURGIA E INGENIERIA	123
Oro y hierro como escuelas de metalurgia	123
Primera ferrería en Pacho	125
Ferrería de Samacá	127
Ferrería de La Pradera	128

086	Ferrería de Amagá	129
087	Factores de factibilidad de las ferrerías	131
187	Tecnología de las ferrerías en el siglo XIX	132
188	Fundiciones en Antioquia al final del siglo	136
288	Primeros ferrocarriles y metalurgia	139
289	La metalurgia y la Escuela de Minas de Medellín	141
290	Dos textos clásicos de metalurgia	142
390	La metalurgia antes de la gran crisis	147

Capítulo 10

INGENIERIA E INGENIEROS EN LAS DECADAS DE 1850 A 1880		151
091	Educación y profesión	151
291	Un intento solitario de escuela técnica en Sonsón	153
292	Consolidación de la profesión	157
392	La Escuela de Minas de Medellín	159
393	Algunos avances de la tecnología mundial a mediados del siglo XIX	160
394	Inicios del telégrafo	161
395	Aparición del teléfono en el país	162
396	Las minas de Antioquia a mediados del siglo XIX	163
397	Nuevos intentos industriales	165
398	La ingeniería en Antioquia	166
399	Algunas grandes obras públicas en el mundo entre 1870 y 1890	168

Capítulo 11

TRANSPORTES, INGENIERIA Y FERROCARRILES EN EL SIGLO XIX		169
099	Los caminos de herradura	169
199	Caminos y fletes	173
299	Primer ferrocarril: el de Panamá	175
399	Ferrocarril de Bolívar (de Barranquilla al mar)	177
499	Ferrocarril Buenaventura-Cali	178
599	Ferrocarril de Antioquia	179
699	Ferrocarril de Cúcuta al río Zulia	181
799	Ferrocarril de Santa Marta	181
899	Ferrocarril Girardot-Bogotá	182
999	Ferrocarril Puerto Wilches-Bucaramanga	183
1099	Ferrocarril Honda-La Dorada	184
1199	Ferrocarril de la Sabana	184
1299	Núñez y sus ferrocarriles	185

Tecnología ferroviaria	186
Conocimientos técnicos que requerían los ferrocarriles	190
Ferrocarril de Cundinamarca	191
Ferrocarril del Norte	191
Ferrocarril Cartagena-Calamar	192
Ferrocarril Cúcuta-Táchira	192
El final del siglo	193
El café y el comienzo de los ferrocarriles	194

Capítulo 12

LA HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD Y SU INGRESO A COLOMBIA	199
La electrostática: de Tales a Volta	199
Las corrientes eléctricas	205
Descubrimiento del electrón	213
El motor y el generador eléctricos	214
La formación de la industria eléctrica en el exterior en el siglo XIX	218
La electricidad en Bogotá	222

Capítulo 13

LA ELECTRIFICACION ENTRE 1890 Y 1940	225
Telégrafos y locomotoras	225
Primera iluminación pública de Bogotá	226
Primera empresa exitosa en la capital	228
Primera iluminación eléctrica en Medellín	230
Aparición de la electricidad en otras ciudades	232
De 1903 a 1920	233
De Nueva York hacia Sonsón, 1913-1914	242
La electricidad en 1917	251
Un nuevo ensanche en Medellín (1918)	259
De 1920 a 1930	261
Medellin, 1928-1929	274
La Compañía Colombiana de Electricidad	279
Tecnología eléctrica en 1930	280
Expansión del mercado eléctrico e industrialización en Medellín, 1916-1928	283
Guadalupe I: primera gran hidroeléctrica	288
Los años treinta en Bogotá	291

BIBLIOGRAFIA

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 estos, se incluyen un trabajo de Carlos Eduardo Vascoy 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.

Asimismo, 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.

Santafé de Bogotá, marzo de 1993

INTRODUCCION*

Este es un libro que pretende presentar, por primera vez, el desenvolvimiento de la ingeniería en Colombia, y con ella el de las ciencias en que se fundamenta y que utiliza dicha actividad. Tiene el mérito de presentar una visión bastante unificada y coherente de la materia, lo cual hasta ahora no existía en la bibliografía colombiana.

Diversos autores y diversas entidades han dado definiciones de la ingeniería que generalmente son ambiguas o estrechas, o no son muy adaptables al caso colombiano. Por eso se ha preferido aquí elaborar una definición en los siguientes términos: *ingeniería* es el conjunto de conocimientos teóricos, de conocimientos empíricos y de prácticas que se aplican profesionalmente para disponer de las fuerzas y de los recursos naturales, y de los objetos, los materiales y los sistemas hechos por el hombre para diseñar, construir, operar equipos, instalaciones, bienes y servicios con fines económicos, dentro de un contexto social dado, y exigiendo un nivel de capacitación científica y técnica ad hoc — particularmente en física, ciencias naturales y economía —, especial y notoriamente superior al del común de los ciudadanos.

En nuestro país la ingeniería adopta numerosas especialidades y subespecialidades según las áreas del conocimiento que predominan en ella (por ejem-

* 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 el 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 primera parte. La segunda parte se encuentra en el Tomo V de esta colección.

plo, ingeniería eléctrica, ingeniería geográfica, ingeniería química) o según el tipo de problemas a que se aplique (ingeniería de minas, ingeniería industrial, ingeniería de petróleos y otras).

Debe advertirse que actualmente hay profesiones cuya denominación ostenta el nombre de "ingeniería" pero que no caben dentro del propio y verdadero concepto de esta profesión.

Las ciencias que utiliza la ingeniería en sus varias ramas y denominaciones son muchas, pero pueden dividirse en cuatro grandes grupos:

1. Ciencias básicas: matemática, física, química y estadística.
2. Ciencias técnicas: mecánica general, hidráulica o mecánica de fluidos, metalurgia, resistencia de materiales, termodinámica o termotécnica, electrotecnia general, fisicoquímica, geotecnia o mecánica de suelos, materiales técnicos, computadores, investigación de operaciones, geología.
3. Tecnología y ciencias especializadas para diversas ramas: agrimensura, estructuras mecánicas, fundaciones o cimientos, diseño estructural, metalografía, diseño de máquinas o mecanismos, procesos metalúrgicos, operaciones unitarias de fabricación, diseño de plantas, tecnología (o explotación) de minas, electroquímica, geofísica, análisis químico, procesos químicos industriales, arquitectura naval, radiocomunicaciones, tecnología electrónica, técnicas digitales, ergonomía, logística de materiales, hidrología, aerodinámica, meteorología, aerofotogrametría, teoría de la elasticidad, oceanografía, geodesia.
4. Ciencias complementarias: economía general, administración.

Estas son las ciencias que se enseñan en nuestras escuelas de ingeniería, a nivel académico formal, y con ellas se prepara al "ingeniero-academia". Sobre su mismo trabajo pragmático, después de la academia, el "ingeniero-praxis" debe descubrir y absorber lo mejor que pueda muchos temas de otras ciencias como psicología, legislación, finanzas, ecología y sociología.

Ante esta multitud de ciencias individuales, que resulta casi imposible aislar una por una en nuestro contexto colombiano y en nuestro devenir histórico, no es factible hacer una historia para cada una de ellas en particular. Algo más: todas ellas se han dado y se han cultivado en Colombia casi exclusivamente en la medida en que ha habido una enseñanza y un ejercicio de la ingeniería como profesión. Es decir, no sólo no se puede hacer una historia particular para cada ciencia, sino que el conjunto de estas historias constituye la historia de la ingeniería. En otros términos, la historia de las ciencias de la ingeniería se hace

explotando la historia de la ingeniería. Por eso este ensayo es, en rigor, un resumen de la historia de la ingeniería, escrito con frecuentes referencias, cuando esto es posible, a la enseñanza y a las aplicaciones de las ciencias que ya se indicaron, pero también a las herramientas de los ingenieros y a sus principales obras.

La realización de este trabajo tropezó con numerosos problemas metodológicos, aparte de la falta tanto de una buena definición de la ingeniería como de una determinación clara de sus ciencias sustentadoras y constitutivas. Otro problema serio radica en que en las ciencias de la ingeniería se ha hecho muy poco en Colombia para innovar o ampliar su acervo de conocimientos. En rigor, puede decirse que la historia interna de esas ciencias en Colombia está prácticamente vacía de contenido. La misma ingeniería, como combinación de todas esas ciencias y como ejercicio de ellas, ha sido poco original, poco creativa y una imitación casi total, y aprendida, del "estado del arte" en el plano mundial.

El mérito de la ingeniería como factor del desarrollo histórico del país ha sido, más que todo, su prontitud para absorber ese "estado del arte" y para identificar problemas nacionales que requieren solución, y el denuedo, la imaginación y la disciplina con que se ha desplegado.

Se ha intentado hacer justicia a episodios de la vida nacional que aunque no han sido realizados por ingenieros profesionales, sí han significado avances del país para entrar en la tecnología de su tiempo, y han repercutido posteriormente en el desarrollo del ejercicio de la ingeniería nacional.

Ese trabajo debe mucha de su información y orientación a tres fuentes que deben reconocerse:

1. El libro *Páginas para la historia de la ingeniería colombiana*, del ingeniero Alfredo Bateman.
2. Las conversaciones del autor con el ingeniero Pío Poveda (su padre), quien ejerció la profesión en carreteras y ferrocarriles desde 1925 hasta 1956.
3. La informaciones del ingeniero Luis de Greiff Bravo, profesor universitario desde 1935 hasta 1967.

El autor expresa sus especiales agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

— A la Sociedad Colombiana de Epistemología, la cual solicitó y financió una breve investigación sobre el tema.

- A la licenciada Luz Posada de Greiff, quien revisó el texto, complementó la bibliografía, mejoró la gramática y colaboró en otros aspectos.
- A la licenciada Martha Cecilia Botero de Leyva, quien leyó el texto e hizo muy útiles sugerencias sobre su valor didáctico e informativo.
- Al ingeniero Gustavo Perry Zubieta (q.e.p.d.), quien señaló algunas equivocaciones, con la alta calificación y el alto señorío que le eran propios.
- A mi esposa, doña Fabiola Jaramillo de Poveda, quien preparó muchísimas fichas bibliográficas para este trabajo.
- Y a mi secretaria, doña Martha Lucía Saldarriaga de García, quien por varios años ayudó con paciencia admirable a escribir y corregir el texto.

Capítulo 1

ENSEÑANZA DE LA HISTORIA DE LA TECNOLOGIA Y DE LA INGENIERIA

Una gran parte de la tecnología que se conoce hoy en el mundo fue desarrollada en Europa desde finales de la Edad Media y posteriormente durante la Revolución Industrial, en los siglos XVIII, XIX y XX. Para corroborar esta afirmación, basta recordar cuándo y dónde surgieron y crecieron la tecnología del trabajo y el uso de la madera, las primeras máquinas elementales como el cabrestante y el torno, la tecnología minera, la metalurgia química y física, la hidráulica, la siderurgia, el vapor, los ferrocarriles, la arquitectura naval, los motores de combustión interna, la electricidad, el automóvil, la tecnología química pesada, etc. Fue en Inglaterra, Alemania y Francia donde primero se configuró y se reconoció la profesión de ingeniero como la persona dedicada al estudio y al manejo de los ingenios, es decir de las máquinas de todo tipo, a las cuales se les hizo extensivo el nombre de *ingenium* con que los romanos habían designado sus grandes máquinas de guerra (como la balista, el mangonel, la torre de asalto y la catapulta) que eran las más complejas y poderosas que ellos llegaron a emplear.

Entrado ya el siglo XIX los Estados Unidos se incorporaron al gran proceso de la Revolución Industrial y comenzaron a hacer aportes sustantivos a la tecnología moderna, como ocurrió en la industria textil, las máquinas herramientas, el armamento, los puentes de acero, los grandes edificios, la aviación y otros campos. A lo largo de este período la ingeniería, que en la Europa del siglo XVIII se concebía sólo como ingeniería civil por oposición a la ingeniería militar, se fue extendiendo en especialidades y aplicaciones cada vez más nu-

merosas. Sucesivamente fueron apareciendo escuelas, universidades e instituciones que preparaban y ofrecían campo de aplicación a ingenieros de ferrocarriles, ingenieros mecánicos, ingenieros de minas, ingenieros navales, *ingénieurs de ponts et chaussées*, ingenieros industriales, ingenieros electricistas, ingenieros químicos, etcétera.

Probablemente este crecimiento y esta diversificación muy acelerada hicieron que sólo muy tardíamente (es decir, hace muy poco tiempo) los estudiosos de la tecnología hubieran comenzado a ocuparse del examen sistemático de la historia de esta tecnología tan extraordinariamente dinámica, compleja y fructífera.

Aún nadie ha dado cuerpo a la historia de la tecnología. Parece que ésta comenzó a elaborarse y a configurarse como una verdadera disciplina a comienzos de los años treinta del presente siglo, especialmente en Inglaterra y Francia, como resultado de la confluencia de trabajos de diversos investigadores provenientes de varias disciplinas: ingenieros, científicos, historiadores, economistas y sociólogos. Inicialmente esta historia de la tecnología fue surgiendo como una línea colateral anexa a la historia de la física y de otras ciencias como la química, la matemática y la biología, pero pronto adquirió un perfil propio en Europa. Así surgieron autores como Joseph Nedham, Derry, Crombie, Jevons, Dampier, Bernal, Price, Papp, Babini y otros. Además, comenzó a hacerse la historia de campos especiales y aparecieron tratados sobre historia de la mecánica, historia de la metalurgia, historia de la hidráulica, historia de la electricidad, etc. Este trabajo fundamental y de frontera se hacía en su mayor parte en Europa, y en los Estados Unidos en menor escala.

La tecnología moderna apareció en Colombia y en América Latina, no como resultado de un proceso endógeno de producción autóctona de aquélla, ligada a un desarrollo también autóctono de formas de producción (como fue el caso en Europa y en Estados Unidos), sino como un componente implícitamente contenido en los inventos extranjeros que se iban incorporando a la vida de nuestros países en su difícil y lento desarrollo para integrarse a la economía mundial y para ampliar su actividad económica. La enseñanza y el ejercicio de la ingeniería surgieron como un requisito interno para poder aplicar la tecnología mundial que se importaba. Así sucedió en Colombia, donde si bien la ingeniería civil apareció con la Comisión Corográfica, luego se consolidó con el proceso de construcción de ferrocarriles durante el último tercio del siglo pasado. En épocas posteriores otros procesos de incorporación de tecnología fueron afirmando la ingeniería y abriéndole nuevos campos de ejercicio y nuevas especialidades. Tal fue el efecto del desarrollo de la navegación fluvial a vapor,

de la electrificación de las ciudades, de la industrialización, de la introducción de las radiocomunicaciones y la radiodifusión, de la difusión de los automotores, del desarrollo del petróleo, de la construcción de obras públicas.

La ingeniería como enseñanza y como ejercicio se ha expandido en nuestro país al mismo ritmo en que hemos absorbido la tecnología moderna que viene de los grandes centros productores del resto del mundo: primero de Europa, después de los Estados Unidos y actualmente también del Japón. De contar con sólo dos facultades de ingeniería civil al comenzar el siglo XX, pasamos en 1950 a tener 20 facultades con varias especialidades, y hoy tenemos el número absurdo de más de 130 escuelas y facultades de ingeniería con 30 o más denominaciones. Paralelamente, de unos cien ingenieros que había a comienzos del siglo pasamos a unos mil a mediados de esta centuria y a más de 20.000 en este momento. Nuestra ingeniería ha crecido de una manera gradual pero acelerada, como ha ocurrido en muchos otros aspectos del país, particularmente desde mediados del siglo hasta hoy.

A los ingenieros colombianos nunca se les ha enseñado en sus escuelas, ni en ninguna otra parte, cómo ha sido la historia de su profesión, ni cómo ha sido la historia de las tecnologías que utilizan, sea que miremos lo uno o lo otro como un proceso del mundo occidental o como un proceso colombiano. Esta omisión tiene varias causas; de ellas, la primera es el espíritu pragmático inherente a la personalidad de la gran mayoría de quienes se dedican a esta profesión. Pero también ha influido el hecho de que la enseñanza de la ingeniería en todas sus ramas y especialidades se ha afanado por atender una creciente demanda cuantitativa y cualitativa de ingenieros. El hecho es que en los últimos 30 años (a partir de *ca.* 1960) —cuando tanto han aumentado las escuelas de ingeniería y el número de sus graduados, y cuando se ha elevado considerablemente el nivel académico de la enseñanza de la profesión— no ha aparecido en ningún p^{er}sium ni una sola cátedra de historia de la ingeniería ni de historia de la tecnología. Y ese gran vacío se extiende de la enseñanza al ejercicio, como lo prueba el hecho de que sólo unos contados ingenieros en Colombia se han ocupado de investigar la historia de la ingeniería, y eso solamente a la escala de nuestro país. En este sentido es inevitable, y de necesaria justicia, mencionar el nombre del más persistente y más fecundo explorador de esta historia en nuestra patria, el doctor Alfredo Bateman.

El fondo, el desconocimiento de la historia de la tecnología en nuestro país puede obedecer al hecho de que nosotros no hemos *creado* esa temática. El conjunto de la tecnología de ferrocarriles vino de Europa y Estados Unidos. Lo mismo ocurrió con la tecnología eléctrica, la industrial, la automotriz, la

petrolera, la química industrial, la electrónica y todas aquellas disciplinas que han nutrido a nuestros ingenieros. Hay que señalar, indudablemente, que los ingenieros colombianos han sido estudiosos y discípulos inteligentes y exitosos en el aprendizaje y en la aplicación de esas tecnologías, e inclusive, en algunos casos, las han adaptado con originalidad e ingenio a las condiciones difíciles en que nos hemos visto obligados a usarlas entre nosotros. Esto es especialmente válido para la tecnología que han tenido que emplear los ingenieros civiles, los de minas, los mecánicos y los químicos. Pero nuestros ingenieros no pueden reivindicar la invención de máquinas, de estructuras, de aparatos, de materiales, de sistemas, ni cualquier otro invento que haya desempeñado un papel importante en la tecnología que se usa en el país.

Esto hace que la tecnología en general y las tecnologías especiales hayan sido recibidas por nuestros ingenieros y nuestros estudiantes de ingeniería como un artículo de fabricación extranjera, ya hecho, como un *Deus ex machina*, listo para usarlo y casi sin modificación posible. Así recibimos, y aprendimos a utilizar, desde el sistema métrico decimal (en 1847) hasta el microcomputador (en 1981), pasando por el teodolito, el nivel, el podómetro, el riel, la locomotora, el telégrafo, el generador eléctrico, el alto horno, el torno para metales, la caldera de vapor, el cubilote, el telar mecánico, el automóvil, las tablas de logaritmos, el teléfono, la radio, el cemento, el acero, la dinamita, el buldózer, la torre de destilación, el taladro petrolero, el reactor-autoclave, el motor diesel, la grúa mecánica, la retroexcavadora, la calculadora mecánica, el ferroconcreto, los *handbooks*, la soldadura, la regla de cálculo, el computador electrónico, la línea de transmisión, los aparatos de laboratorio, los instrumentos de medición, las normas técnicas, el sistema internacional de unidades SI, etcétera.

El reconocimiento de este hecho no es una censura a la ingeniería colombiana, pues lo mismo sucedió en todos los demás países latinoamericanos, asiáticos y africanos que se incorporaron en el siglo XX al proceso histórico, económico y político que llamamos la Revolución Industrial. Ello corresponde al rezago en que vivieron y viven aún nuestros países, comparados con los países industrializados, y concretamente respecto a los cuatro más grandes: Estados Unidos, Inglaterra, Francia y Alemania.

Pero en Colombia, como en casi toda América Latina, hemos comenzado a darnos cuenta de que nuestro desarrollo tecnológico no puede seguir dependiendo exclusivamente de la importación de tecnología, si bien de ella nunca podremos desprendernos totalmente. Nuestros ingenieros no pueden seguir siendo solamente aprendices inteligentes y aplicadores exitosos de la tecnología que se fabrica en el exterior. Tenemos que inducirlos a ser también modi-

ficadores y adaptadores más audaces y muy eficientes de máquinas, materiales y procedimientos técnicos; y preparar a las nuevas generaciones que formamos para ser innovadoras, creadoras e inventoras de lo que las necesidades específicas de Colombia plantean, y para lo cual la tecnología exterior no ofrece soluciones satisfactorias.

El desarrollo tecnológico es, entre muchos otros aspectos, un proceso social y cultural. Y para que un proceso de esta naturaleza pueda ser enrumado hacia el futuro en una dirección más dinámica y más creativa, es necesario que quienes participan en él tengan conciencia del carácter evolutivo de ese proceso y de las condicionantes que lo impulsan, lo inhiben o lo modifican. Que entiendan cómo la vida política, económica y social interactúa con la tecnología inherente a los factores de producción. En una palabra: si queremos en el futuro ingenieros más creativos y más comprometidos con la realidad colombiana, será necesario que les demos a conocer cuál y cómo ha sido la historia de la ingeniería en Colombia; cuáles han sido los éxitos y los fracasos de la tecnología que hemos usado en nuestro país; cómo las vicisitudes de nuestra vida política y económica han influido en el devenir de la ingeniería y, recíprocamente, cómo ésta ha incidido en las condiciones socioeconómicas del país. Necesitamos poner a nuestros estudiantes y profesionales de la ingeniería frente a la historia de su profesión en Colombia.

Desafortunadamente nuestras escuelas y facultades no parecen percibir claramente esta necesidad. En ninguna de las 140 escuelas de las treinta y tantas ramas y especialidades, en ninguno de los diez u once semestres que abarcan todos sus programas académicos, se encuentra ni siquiera un modesto curso semestral de historia de la ingeniería, aunque sí se ofrecen a menudo distintos cursos con el nombre de humanidades o microcurrículo que enseñan disciplinas interesantes pero que no tienen el valor formativo que podría tener la disciplina mencionada. De igual manera, ninguna de las muchas asociaciones de ingenieros ha promovido el estudio o la investigación en esta materia.

La evolución del país y el estado actual de su desarrollo contienen ya un nutrido material de hechos, fenómenos, procesos y problemas de alta relevancia tecnológica que podrían constituir el material temático de un curso de historia de la ingeniería rico e ilustrativo. Este posible curso podría inclusive enfocarse específicamente hacia ramas particulares de la profesión que ya han acumulado una larga e interesantísima tradición de realizaciones. Por ejemplo, en el caso de la ingeniería civil en Colombia, todo lo que se ha hecho durante 130 años de trabajo en ferrocarriles, cartografía, carreteras, obras hidráulicas, vivienda, aeropuertos, puentes, represas y muchas otras obras. Algo análogo

puede decirse de lo que los ingenieros de minas pueden ya rememorar en campos como la geología aplicada, la metalurgia, la técnica de túneles, la hidráulica, la teoría y la práctica de explotación de yacimientos, la cartografía geológica y minera. Dignos de historiarse para ingenieros mecánicos y metalúrgicos, son los desarrollos que se dieron desde el siglo pasado en las herrerías y las fundiciones, las transformaciones de la economía del hierro a la economía del acero, de la forja catalana al alto horno, la mecanización en la industria, los talleres ferroviarios, las primeras acerías, la adopción gradual de nuevos procesos metalúrgicos, el caso de Paz del Río y otros. Para los jóvenes ingenieros químicos valdría la pena recapitular los esfuerzos que desde el siglo XIX se hicieron para montar fábricas de ácido sulfúrico y de pólvora, entre otras, que se reiniciaron sólo en la década de 1940; el comienzo de fabricaciones tecnológicamente más complejas como las fibras artificiales, los álcalis sódicos, las resinas sintéticas, la refinación de petróleos, la petroquímica, los altos polímeros, los fertilizantes nitrogenados, etc. El proceso de electrificación del país, que ya casi cumple 90 años, es también una rica historia de adopción de todo un universo de tecnologías, desde la de las corrientes directas de 100 voltios hasta las corrientes alternas trifásicas de 500 mil voltios.

La historia de la ingeniería en Colombia es una disciplina casi desconocida, que los ingenieros no podemos seguir ignorando y que las nuevas promociones de profesionales deben comenzar a descubrir. Esa es la mejor forma de proyectarlos a desarrollar en el futuro una clara noción de la ingeniería como una herramienta estratégica y básica para la transformación dinámica y planificada de nuestra economía y de nuestra sociedad.

Capítulo 2

LOS ANTECEDENTES

ABORIGENES Y COLONIZADORES

Nuestros aborígenes no fueron grandes ingenieros. No construyeron nada parecido a las chinampas y a los canales de los aztecas en Tenochtitlán, grandes obras de ingeniería hidráulica. Ni nada similar a su soberbia arquitectura monumental. Tampoco hicieron nada semejante a los larguísimos caminos de piedra, ni a los puentes colgantes, ni a las irrigaciones de los incas en su vasto imperio andino. Ni nada parecido, ni siquiera de lejos, a las pirámides y edificios suntuosos de los mayas. Los recursos tecnológicos de nuestros aborígenes eran bastante rudimentarios; se limitaban al conocimiento del fuego, a la fabricación de urnas y herramientas de madera y de piedra pulimentada, al tejido del algodón, al trabajo de la madera, a la fundición del oro, a la evaporación de la sal, a la construcción de canoas rudimentarias y a la apertura de "caminos de indio" muy eficientes. No tenían conocimiento sobre el uso del hierro, ni del bronce, ni de la erección de monolitos pesados, ni de la rueda, ni de la palanca, ni de curtir cueros, ni de la balanza, ni de conducciones de agua, ni de astronomía, ni de sistemas de contar, ni de escritura, ni del papel, mucho de lo cual sí tenían los aztecas y los incas.

Todo lo que podemos reconocer a nuestros aborígenes como "ingenieros" es la construcción de caminos con una técnica muy rudimentaria, aunque a veces con trazados muy audaces; la técnica de separación del oro de aluviones, la de su fundición y la de su elaboración a mano, la minería de la sal de socavón y su evaporación de aguas salinas, la muy primitiva alfarería y los hornos de

leña para cocer piezas de barro, la hilatura y el tejido del algodón y la lana. Pero casi nada más.

Los mismos españoles radicados en América ignoraron los múltiples desarrollos técnicos que surgieron en Europa cada vez con mayor rapidez en los siglos XVI, XVII y XVIII. Baste citar, por ejemplo, algunos de los importantísimos desarrollos técnicos europeos (ninguno español) que preanunciaban la aparición de la Revolución Industrial y que en América Latina permanecieron desconocidos hasta después de la Independencia: la invención del alto horno de carbón, por Abraham Darby, en Inglaterra, entre 1760 y 1780; los primeros aparatos de vapor, obra de Denis Papin, en Francia, en 1690; la primera bomba de vapor para agua, de Thomas Newcomen, en Inglaterra, en 1705; la máquina de vapor de James Watt, en Inglaterra, entre 1764 y 1768; el carruaje de vapor, de Nicolás Cugnot, en Francia, en 1769; las carreteras afirmadas, trabajo de Tressaquet en 1775 en Francia y de Thomas Telford y John Mac Adam en 1805 en Inglaterra.

En América no se conocía la sierra circular, inventada por Miller en 1777 en Inglaterra; ni la trilladora mecánica, de Andrew Meikle, en Escocia en 1784; ni la hélice, de Thomas Bramah, en Inglaterra en 1785; ni el alumbrado de gas, de William Mardich, en Londres en 1792; ni el telégrafo de señales, de Claude Chappe, en Francia en 1793; ni la prensa hidráulica de Bramah, en Inglaterra en 1795; ni el torno para roscar de Maudslay (1797); ni el torno para pulir, ni la prensa mecánica para imprimir, de Stanhope, en Inglaterra en 1800; ni el telar mecánico de Arkwright, ni la máquina de tejer de Joseph Marie Jacquard, en Francia en 1801; ni el sistema métrico decimal, inventado en Francia y adoptado en 1801.

Podrían enumerarse muchos más ejemplos de grandes obras de ingeniería mecánica, civil, metalúrgica y química que en Inglaterra y Francia se creaban o se inventaban a mediados y fines del siglo XVIII y a comienzos del siglo XIX, a los que España daba la espalda y de los cuales ni siquiera se tenían sospechas en sus colonias americanas: la máquina planeadora de metales (1802), el barco de vapor (Fulton, 1803), el envasado de alimentos en conserva (Appert, 1804), la primera locomotora de vapor (Trevithick, 1802-1804), la lámpara de minero (Davy, 1817), la máquina fresadora para metales (Whitney, 1818), etc. En esa época ya han estallado las guerras de independencia americanas.

Los conquistadores y colonizadores españoles trajeron el hierro, el bronce, el cobre, el reloj mecánico, la numeración, la brújula, los mapas, el trapiche, la aritmética, el péndulo (para relojes de iglesia), la fundición y el forjado de hierro y de cobre. La tecnología más desarrollada que los españoles llevaron a la Nueva Granada fue la de la minería, que representaba su mayor interés económico en estas colonias y de cuya tecnificación encargaron a ingenieros como

Luis Villegas y Avendaño, quien vino a dirigir las explotaciones de las minas de esmeraldas en Muzo.

Durante los tres siglos de dominación española en nuestro continente se construyeron muy pocas grandes obras en la Nueva Granada, todas relacionadas con la ingeniería militar. Las más importantes fueron las murallas de Cartagena, iniciadas en 1586 por el ingeniero militar italiano Bautista Antonelli, al servicio de España, con la ayuda del maestro de campo (título que equivale al de ingeniero militar) don Juan de Tejada, y concluidas en 1796 por el ingeniero militar don Antonio de Arévalo.

Otras obras fueron el fuerte de El Pastillillo, diseñado y construido por el ingeniero Bautista Mac Evan. El Canal del Dique, realizado entre 1649 y 1651, es obra del maestro de campo Pedro Zapata. En su trazado y construcción se utilizaron, quizá por primera vez entre nosotros, técnicas como la agrimensura, el trazado geométrico de rutas y el cálculo de caudales hidráulicos.

En las murallas y en el Canal del Dique trabajó don Antonio de Narváez (1733-1812), nacido en Cartagena y quien obtuvo su título de ingeniero en España y trató de establecer en su ciudad natal una escuela de ingeniería militar que desafortunadamente no prosperó.

Otra obra importante, bajo la iniciativa de Venero de Leyva, fue la construcción del primer camino público empedrado de Santafé a Honda (1570) y la de un camino para carruajes desde Santafé hasta Facatativá.

Estos y unos pocos nombres más dejaron los grandes templos y los pocos edificios que el régimen colonial construyó en Santafé, Cartagena y Popayán, obras trazadas y dirigidas por ingenieros y arquitectos empíricos, generalmente preparados en la práctica directa que habían adquirido en Europa, en la mayoría de los casos como parte de su vida militar, lo cual los convirtió en buenos diseñadores y constructores de fortificaciones, canales, caminos y edificios. Si bien en 1745 se había creado en Braunschweig la primera escuela formalmente dedicada a la preparación de ingenieros civiles, separándola de la que ya existía en esa ciudad para ingenieros militares del ejército prusiano, hubo que esperar el movimiento de la Revolución Francesa para que apareciera la primera gran escuela de ingenieros civiles y militares de Europa, L'École Polytechnique, en 1794. Para ese entonces en toda Europa Occidental la ingeniería se había configurado como una profesión con fisonomía propia, destinada a construir y a manejar edificios, puentes, canales, talleres, fábricas y minas.

Es interesante anotar que las primeras escuelas donde se impartieron estudios de ingeniería se localizaron en Francia y en Alemania en el siglo XVIII. Estas escuelas preparaban fundamentalmente ingenieros militares con una formación

basada en geometría, aritmética, álgebra, cálculo, mecánica, balística, hidráulica y fortificaciones. El nombre mismo de ingeniería provenía de *ingenius*, vocablo que los romanos daban a todo dispositivo mecánico para fines militares, tales como las catapultas, los arietes, los brulotes y las torres rodantes.

Rápidamente los gobiernos de aquellos países europeos y de otras latitudes vieron la necesidad de capacitar a los "oficiales ingenieros" para actividades análogas en tiempos de paz, como construir caminos, edificios, canales, túneles. De esta manera surgió la ingeniería civil para diferenciarla de la militar. Es interesante observar que al hacer esa distinción, los franceses utilizaron dos palabras distintas para el ingeniero (*ingénieur*) y para la ingeniería (*génie*). Así, decían *ingénieur du génie civile* e *ingénieur du génie militaire*. Esa distinción semántica, que no se hacía en ningún otro idioma, era un reconocimiento acertado a dos aspectos diferentes de la profesión: el de su contenido como cuerpo de conocimientos intelectuales y científicos (*le génie*) y el de la práctica sistemática y pragmática que constituye la vida profesional del ingeniero (*l'ingénieur*). Con el paso del tiempo, y a medida que aparecían nuevas ramas de la ingeniería que los demás idiomas se limitaban a registrar agregando un adjetivo a las palabras ingeniero e ingeniería (civil, de minas, de ferrocarriles, mecánica, etc.), los franceses conservaron su nomenclatura original y no decían *ingénieur civile* ni *ingénieur de mines*, sino que usaban las expresiones completas *ingénieur du génie civil*, *ingénieur du génie de mines*, *ingénieur du génie mécanique*, etcétera.

Capítulo 3

LAS FORTIFICACIONES DE CARTAGENA

1532-1533

1534-1535

1536-1537

1538-1539

1540-1541

1542-1543

1544-1545

1546-1547

1548-1549

1550-1551

1552-1553

1560-1561

1562-1563

1564-1565

1566-1567

1568-1569

1570-1571

1572-1573

1574-1575

1576-1577

1578-1579

1580-1581

1582-1583

1584-1585

1586-1587

1588-1589

1590-1591

1592-1593

1594-1595

1596-1597

1598-1599

1600-1601

1602-1603

1604-1605

1606-1607

Don Pedro de Heredia partió de España en mayo de 1532 con el fin de recorrer las costas del mar Caribe. Después de una breve estadía en la isla de La Española, viajó a las costas de tierra firme y el 14 de enero del año siguiente llegó a una isla que se denominaba en ese entonces Calamar. Tras algunos viajes de reconocimiento por el mar y por el interior, fundó allí a Cartagena, el primero de junio de 1533 (Debe advertirse que no existe todavía un pleno acuerdo sobre la fecha exacta de la fundación de Cartagena).

La cédula real que otorgó autoridad a Heredia sobre los nuevos territorios y la nueva ciudad, le ordenaba construir en ella una *casa fuerte*, sin duda porque los poderes de España advertían la posición estratégica de esta localidad. La casa fuerte era una primitiva fortificación que los españoles construían en sus posesiones de ultramar; su configuración correspondía a la transición entre el castillo de tipo medieval y una forma más moderna inspirada en la ingeniería militar del Renacimiento italiano. Su diseño era más bien anticuado, de murellas estrictamente verticales coronadas por almenas (de origen árabe), en una disposición que ya había sido superada por el poder de la artillería y de la pólvora, desde que éstas se adoptaron en los ejércitos europeos durante el siglo XIII. Al fundarse Cartagena ya distintos conquistadores habían construido otras casas fuertes en la América española, como Ovando en Higüey y Yaquino (isla La Española), Juan Ponce de León en Caparra (Puerto Rico), Hernán Cortés en San Juan de Ulúa (Veracruz), Villalobos en la isla Margarita, Cedeño en Trinidad, Pedro de Mendoza en el Río de la Plata, y Pedro de Valdivia en Santiago de Chile.

Basándose seguramente en las mediciones que hacían los marinos españoles con sus imprecisos instrumentos, las "relaciones de mando" ubicaban a Cartagena en los $10^{\circ}30'25''$ latitud norte y $302^{\circ}10'$ longitud oeste del meridiano de Tenerife. Hoy sabemos que las verdaderas coordenadas de la ciudad son $10^{\circ}25'30''$ latitud norte y $75^{\circ}32'25''$ longitud oeste del meridiano de Greenwich.

Desde su fundación, y durante todo el tiempo que España la mantuvo bajo su dominio —desde el siglo XVI hasta comienzos del siglo XIX—, Cartagena fue considerada por la metrópoli como la "Llave del Reyno" por su posición estratégica respecto al Chocó, el Atrato, Panamá, el Perú y Cuba. Así mismo, desde sus primeros momentos la ciudad se convirtió en el principal puerto de salida de grandes cantidades de oro que comenzó a producir la Nueva Granada, en un activo centro de comercio y en un muy próspero mercado de esclavos. La ciudad, que empezó a generar riqueza desde esa época, se convirtió también en un botín atractivo para los piratas que comenzaban a rondar por el Caribe en plan de guerra con España o por simple afán de rapiña. El primer ataque pirata a Cartagena lo hizo el bucanero holandés Roberto Baal en 1543, cuando la ciudad todavía no había erigido ningún tipo de fortificación. Esto no fue suficiente para movilizar a los gobernantes locales a construir defensas. Tuvieron que transcurrir 16 años más, cuando los piratas franceses Martín Coté y Jean de Beautemps asaltaron y robaron la ciudad, para que se iniciaran las obras de fortificación al año siguiente.

En 1566 el gobernador don Antón Dávalos de Luna erigió el fuerte del Boquerón, el primero que tuvo la ciudad. Este fuerte protegía el canal que comunica la bahía de las Animas con la laguna del Surgidero. En 1567 el gobernador interino Alonso de Vargas levantó una fortaleza con guarnición permanente en el extremo sur de la península de Tierrabomba para proteger la entrada a la bahía por la Boca Grande. Pero estas construcciones resultaron insuficientes cuando John Hawkins atacó y saqueó nuevamente la ciudad en 1568.

Los ataques de los piratas y la importancia de asegurar y proteger los embarques de oro desde la ciudad motivaron al comendador don Tiburcio Español, ingeniero militar, consejero de Felipe II y de Felipe III, a ordenar la construcción de los primeros tramos de la muralla para defender la plaza. Pero en 1586 las incipientes defensas resultaron impotentes para detener el asalto del marino inglés Francis Drake.

Los ataques de Hawkins y Drake anunciaban una rivalidad entre Inglaterra y España, que duraría 300 años. Por eso, en 1587 Felipe II hizo preparar el primer Plan de Defensa de los Dominios de Ultramar para hacer frente a Inglaterra en Hispanoamérica y envió a Cartagena a dos comisionados para dirigir

la construcción metódica de las fortificaciones: el mariscal de campo don Juan de Tejada y el ingeniero militar Bautista Antonelli; este último era italiano y había entrado al servicio de España cuando los ejércitos de esta potencia ocupaban por ese entonces la península.

Debe recordarse que el Renacimiento había introducido, especialmente en Italia, grandes avances en las técnicas militares. La artillería se había convertido en un arma con fuerza propia y con un alto nivel técnico. En Italia se sabía fundir cañones macizos y perforar el ánima con taladros movidos por fuerza hidráulica. Más aún, se había diferenciado la artillería de campaña dotada de cañones livianos, de la artillería para sitio, dotada de cañones pesados hasta de catorce toneladas. El propio Leonardo da Vinci había hecho aportes importantes al estudio de la balística y de las técnicas artilleras, así como al mejoramiento del diseño de las fortificaciones y de la construcción de estructuras de defensa.

Niccolo Tartaglia (1500-1557) fue otra figura importante en la ingeniería militar italiana, a la cual enriqueció al mismo tiempo que hacía importantes aportes al álgebra, en el campo de las matemáticas. Tartaglia fue un autodidacta que trabajó para varios príncipes de las ciudades-estado de Italia, como experto abaquista y matemático y como ingeniero en balística, fortificaciones y construcciones militares. En el campo de la balística, Tartaglia sabía construir una versión aproximada de la trayectoria de los proyectiles, con regla y compás, mucho antes de que naciera Galileo, quien descubrió la forma parabólica de la trayectoria de los proyectiles. Tartaglia también acertó al afirmar que el máximo alcance de un proyectil se logra al dispararlo a 45° por la dirección horizontal. En 1537 apareció su libro *Nuova scientia*, en el cual aplica raciocinios matemáticos a numerosos problemas balísticos. Hacia 1540 Tartaglia quiso colocarse al servicio del gobernador español de la plaza fuerte de Milán, don Alfonso de Avalos. Probablemente allí Tartaglia fue jefe y maestro de Bautista Antonelli, quien habría de continuar su aprendizaje de la artillería y de la poliorcética con aquél y con otros ingenieros italianos, así como por su propia experiencia.

La escuela italiana de fortificaciones que se desarrolló durante el Renacimiento se caracterizaba por la perfección de los dobles flancos en los baluartes, de los orejones, de las plazas bajas y de los ángulos fijantes. Los orejones eran invento de los holandeses pero habían sido extensamente aplicados por los italianos en las fortificaciones de Verona, Turín y Milán.

Entre 1587 y 1594, el ingeniero militar Antonelli preparó en Cartagena —alternando con trabajos en las fortificaciones de Puerto Rico, La Habana y San Juan de Ulúa— un magnífico estudio técnico y táctico para la defensa de la ciudad, en el cual se aprecia la fuerte influencia modernizadora que tuvieron sus maestros

italianos en la técnica de aquél. Su proyecto estaba basado en un mapa exacto de la ciudad, el primero elaborado con un alto nivel técnico y de acuerdo con los nuevos métodos cartográficos del siglo XVI, que fueron reformados unos años antes por Gerardo de Cremer (Mercator) en Holanda. Antonelli proyectó un fuerte en la Punta de Icacos y otro en la isla de Carex (hoy Tierrabomba) para controlar la entrada de barcos por la Boca Grande y varias baterías de cañones en diversos caños de la bahía. Para defender la ciudad trazó el primer recinto completamente cerrado por murallas, baluartes, revellines, contraguardias y fosos; y la entrada a la Plaza de Armas fue protegida con orejones. Los dos fuertes y las baterías fueron construidos provisionalmente por el gobernador e ingeniero militar Pedro de Acuña, pero al poco tiempo intensos temporales los destruyeron. Con el propósito de reconstruirlos y de completar las obras recomendadas por Antonelli, el gobernador Acuña hizo en 1597 una nueva "Planta de Cartagena de las Yndias y del Puerto Interior", de indudable interés pero inferior en calidad técnica y poliorcética a la de Antonelli.

En 1599 el general Luis Fajardo, adscrito a la Armada, elaboró un tercer proyecto de fortificaciones para la ciudad y el puerto, que muestra una definida influencia de la ingeniería militar holandesa. La figura que propone para la plaza se parece a la de Breda (fortificada por Roberto de Nassau en 1533) y a la de Steenwich (fortificada por Coqué en 1592).

Después de la muerte de Antonelli, y durante la primera parte del siglo XVII, se vio una intensa actividad de construcción de fortificaciones en la ciudad, durante las gobernaciones de los ingenieros don Pedro de Acuña y don Francisco de Murga. Los artífices ejecutores de tales obras fueron los ingenieros españoles Cristóbal de Roda (sobrino de Bautista Antonelli), Juan Bautista Antonelli (hijo), Turrillo de Yebra y Juan de Somovilla. Bajo su cuidadosa y estricta dirección técnica se construyeron en aquella época el baluarte de San Felipe (llamado después Santo Domingo); casi toda la muralla perimetral de la ciudad; el baluarte El Reducto y el de Getsemani; la puerta de la Media Luna, con fosos y baluartes artillados; la plataforma Santángel, en Tierrabomba; el Fuerte o Castillo Grande en el extremo suroriental de la península de Boca Grande, y sendos fuertes en las islas de Manga y Manzanillo.

El más brillante y activo de aquellos ingenieros fue Cristóbal de Roda, quien nació en 1561 en Italia. Desde muy joven Roda empezó su aprendizaje práctico como ingeniero militar. En 1578 se enroló en el ejército de España que ocupaba su patria. Vino con su tío Bautista Antonelli en 1591 a Cartagena, donde habría de pasar el resto de sus días, salvo por algunas salidas a Portobelo, Chagres y Panamá. Trabajó en las fortificaciones de Cartagena en pleno acuerdo con el

gobernador Pedro de Cuña; pero luego se enemistó con el gobernador Francisco de Murga, quien relevó a Roda de su cargo como ingeniero jefe de las fortificaciones. Después de 53 años de servicio a la Corona española, Roda murió muy pobre en Cartagena en 1631. Su subordinado, el ingeniero Turrillo de Yebra, lo reemplazó en la dirección de algunas obras militares entre 1625 y 1630.

Al retirarse Roda, el ingeniero Juan de Somovilla asumió la dirección de la obra de las murallas perimetrales, a órdenes del gobernador don Francisco de Murga, y posteriormente del gobernador don Luis Fernández de Córdoba. El primero de ellos elaboró con Somovilla un nuevo mapa de la ciudad, que incluía las fortificaciones recientemente construidas. Y con el segundo, Somovilla hizo los planos de un castillo para guardar la entrada de Bocachica, con el nombre de San Luis. En 1631 Somovilla regresó a España y llevó a Felipe IV los mapas de las nuevas fortificaciones. Don Francisco de Murga inició su gobernación en 1625. Era también un competente ingeniero militar que había servido en los Tercios de Flandes, en donde se había formado en su profesión, y había recibido una vigorosa influencia militar y poliorcética de los ingenieros de los Países Bajos. La escuela holandesa de ingeniería militar había logrado grandes avances, tanto en materia de artillería como de fortificaciones. La orientación técnica y el espíritu autoritario de Murga ocasionaron enfrentamientos con Cristóbal de Roda que desembocaron en el rechazo del trabajo de éste, quien se inspiraba en la escuela italiana de fortificaciones. El gobernador de Murga ordenó que sus ingenieros Lucas Baes y Juan de Somovilla levantaran un nuevo plano de la ciudad y del puerto; y él mismo, desde su alto cargo administrativo dirigió hábilmente la construcción de las nuevas fortificaciones. En 1635 tuvo el acierto de recomendar tempranamente la construcción del castillo de San Felipe. Las murallas perimetrales de la ciudad que construyeron Roda y Murgason, en esencia, las mismas que existen actualmente.

En 1645 fue llamado de Cuba a Cartagena el ingeniero militar Juan Bautista Antonelli hijo, quien comenzó la construcción del castillo de San Luis en Bocachica, y luego trabajó allí durante tres años hasta su muerte.

Los primeros años del siglo XVII habían registrado importantes progresos en Europa en el conocimiento de los principios de la mecánica en que se apoyaban la ingeniería militar y la balística de entonces. En 1590 Diego de Alava, funcionario de Felipe II, publicó su libro *Nueva ciencia*, en el cual perfeccionaba el estudio del movimiento de los proyectiles y demostraba que éstos seguían una línea curva. Poco después Jerónimo Muñoz, profesor de la Universidad de Salamanca, ahondó en este estudio y sugirió por primera vez que dicha curva tiene un eje de simetría vertical. Con base en estos progresos, y en otros avances italianos,

holandeses y franceses, se perfeccionó notablemente la técnica del cañoneo durante los primeros años del siglo XVII. Entre 1600 y 1610 se construyeron los primeros cañones con lámina rayada en espiral. En esta época también se dieron los importantes avances teóricos de Simón Stevin (1548-1620) en temas como el reposo de los cuerpos en un plano inclinado, los vasos comunicantes para líquidos y el sistema métrico decimal. Gracias a ellos, Stevin recibió del duque de Nassau el cargo de primer ingeniero de los diques de Holanda.

Fue precisamente el gran dominio que los holandeses habían adquirido en la construcción de canales y diques, así como el aprendizaje que los ingenieros españoles que servían en los Tercios de Flandes habían asimilado en los Países Bajos, lo que alentó al maestro de campo Pedro Zapata, gobernador de Cartagena, a proponer al rey, en 1649, que se construyera el Canal del Dique, entre el río Magdalena y la bahía de Cartagena. El propósito era convertir a esta ciudad en puerto de río y establecer así una línea de transporte fluvial sin interrupción entre dicha ciudad, sobre el mar, y el puerto de Honda, en el interior del país, en el camino hacia Santafé de Bogotá. La obra del Canal del Dique comenzó en 1650 y su construcción duró cinco años con mano de obra esclava. Este canal permitió que cuando el presidente de la Nueva Granada Andrés Díaz Venero de Leyva ordenó el establecimiento de la navegación por champanes por el Magdalena en 1564, estas embarcaciones pudieran desplazarse desde Cartagena hasta Honda con sus cargamentos de mercancías y pasajeros, y volver con los embarques de oro del Cauca, del Socorro y de Antioquia, dirigidos a la metrópoli. Pasado algún tiempo el canal se obstruyó y 70 años después, en 1725, otro gobernador tuvo que emprender la reconstrucción de esa vía fluvial.

Ya la producción de oro de la Nueva Granada había crecido considerablemente. Mientras en el siglo XVI había tenido un promedio anual de unas 60.000 onzas al año, a mediados del siglo XVII alcanzaba en promedio unas 115.000. Especialmente intenso fue el crecimiento de la producción aurífera en Antioquia, donde a mediados del siglo XVI se extraían unas 10.000 onzas anuales, y un siglo después, hacia 1650, se producían algo más de 25.000. Prácticamente toda la producción antioqueña se exportaba a través de Cartagena, al igual que todo el oro que provenía de las provincias de Socorro, Vélez, Chocó, Mariquita y parte de Popayán. Este movimiento de metales preciosos y su acumulación en el puerto de Cartagena en espera de los galeones españoles que venían a llevarlo a la península, daban a la ciudad un gran atractivo para los piratas ingleses y franceses que recorrían el Caribe, y obligaron a los españoles a intensificar sus esfuerzos por protegerla.

La creciente importancia estratégica y económica de Cartagena llevó a sus gobernadores a emprender en 1656 la construcción del castillo de San Felipe de Barajas, que había sido recomendada 26 años antes por el ingeniero y gobernador Francisco de Murga. La primera etapa de la fortificación, terminada en 1657, era más pequeña que la que conocemos hoy. El castillo y las otras obras de defensa de la ciudad fueron inspeccionados, por orden de la Corona, por el ingeniero Luis Venegas Osorio, quien recomendó —como varios antecesores suyos— completar las defensas, específicamente las de la entrada de la Bocachica, que era la única puerta de la bahía, pues en 1640 dos naves portuguesas que naufragaron en Boca Grande obstruyeron el paso.

El buen juicio de Venegas y otros ingenieros que insistían en un equipamiento defensivo más completo se puso de presente, en forma dramática, cuando en 1697 el barón de Pointis asaltó la ciudad y la saqueó bárbaramente. Como respuesta a ese ataque, el año siguiente el rey Carlos II envió como gobernador al maestro de campo don Juan Díaz Pimienta y como jefe de fortificaciones al ingeniero militar don Juan de Herrera y Sotomayor, con el encargo de reconstruir y complementar las obras de defensa del puerto y de la plaza, según el plan estructurado con la mejor técnica del momento.

Herrera había comenzado su carrera militar en 1667 en la compañía del Tercio de Flandes de Juan de Toledo, quien fue su superior e instructor en las artes de la ingeniería militar. En 1675 Juan de Herrera pasó a los Caballeros de Coraza, al mando de su padre, don José de Herrera, en el Alcázar de Toledo. En 1681 vino a América y visitó Buenos Aires y Chile. A finales del siglo XVII llegó a Cartagena, donde permaneció 30 años. Durante ese lapso adelantó el más sostenido trabajo de fortificaciones, sin duda el más importante que se había realizado hasta ese momento.

Entre las obras que Juan de Herrera proyectó, reformó o ejecutó, se cuentan:

1. La ampliación del castillo de San Felipe de Barajas.
2. El comienzo del castillo de San Luis en Bocachica.
3. La batería nueva de San José en la isla de Barú, en la entrada de Bocachica.
4. Las baterías artilladas de Santiago, San Felipe y Chamba en la isla de Tierrabomba.
5. Las baterías de Varadero y Punta Abanicos, en Manga y Getsemaní.
6. El Fuerte Grande o Fuerte de Santa Cruz, frente a la isla de Manzanillo, en la península de Boca Grande.
7. El fuerte de Manzanillo.

Por la originalidad de sus diseños, el vigor de su arquitectura militar y sus concepciones tácticas, el ingeniero Herrera y Sotomayor puede señalarse como el creador de lo que hoy se denomina Escuela de Fortificaciones Hispanoamericana en los textos de poliorcética. Las obras de Cartagena, junto con las de Veracruz, San Juan de Puerto Rico y La Habana, constituyen las más elevadas expresiones de la Escuela de Fortificaciones Hispanoamericana, a la cual los historiadores contemporáneos reconocen como un estilo de ingeniería militar desarrollado por los españoles en sus dominios de América. Además Herrera fundó una Academia de Matemáticas para preparar en Cartagena a sus jóvenes ayudantes en las técnicas de la ingeniería militar, las cuales dominaba. Esta academia funcionó algunos años, pero se clausuró en 1732 al morir su fundador. Uno de sus alumnos en la academia, el ingeniero Carlos Briones Hoyo y Abarca, colaboró con su maestro y superior Herrera y elaboró un completo informe para la Corona sobre las obras que éste realizó.

En 1695, cuando Cartagena fue atacada y saqueada por cuarta vez, por el corsario francés Jean Baptiste Ducasse, la guarnición pudo resistir mejor gracias a las nuevas obras que Herrera y sus ayudantes habían hecho poco tiempo antes.

En su ya larga rivalidad con Inglaterra, España declaró una nueva guerra a esa potencia en 1739. Dos años después, en desarrollo de las hostilidades, el almirante Edward Vernon puso sitio y atacó a Cartagena, pero tuvo que retirarse sin éxito debido a la solidez de las defensas fortificadas de la ciudad. Con ocasión de este episodio, las autoridades españolas resolvieron reforzar con amplitud y con intensidad las defensas amuralladas, en previsión de nuevos ataques de la marina inglesa. De esta manera, entre 1741 y 1800 se ve en la ciudad una bullente actividad constructiva de nuevos baluartes, bastiones, murallas, cortinas, fosos, hornabeques, tenazas y otras construcciones militares. A lo largo de 60 años varios destacados ingenieros proyectaron y dirigieron numerosas obras:

1. Carlos Desnaux y Juan Bautista Mac-Evan proyectaron y construyeron el fuerte El Pastelillo, entre 1741 y 1744.
2. Juan Bautista Mac-Evan e Ignacio Sala, entre 1748 y 1754, construyeron el fuerte de San Fernando y las baterías de Santa Bárbara y San José para defender el canal de Bocachica.
3. Lorenzo de Solís se ocupó entre 1753 y 1759 de reconstruir y reformar varias obras y de preparar un "Proyecto General para la Plaza de Cartagena de Yndias y el canal de Bocachica".

4. Antonio de Arévalo vivió y trabajó en la ciudad entre 1742 y 1800, y con su activa labor marcó el apogeo de la construcción de fortificaciones.
5. Juan Ximénez Donoso preparó en 1774 varios proyectos de nuevas obras que no alcanzaron a ser realizadas.
6. Agustín Crame, en 1778, proyectó y dirigió reformas de varias fortificaciones.
7. Juan Betín, entre 1780 y 1785, dirigió ampliaciones en el castillo de San Felipe y estuvo en Santa Marta proyectando obras de defensa para este puerto.

El coronel de ingenieros Carlos Desnaux era comandante del castillo de San Luis de Bocachica cuando Vernon atacó la ciudad. Aprovechando su experiencia militar redactó un informe en el cual recomendó la construcción de un fuerte nuevo (hoy llamado El Pastelillo). A fines del año siguiente llegó de España el coronel Juan Bautista Mac-Evan como "Yngeniero-director e Ynspector de las fortificaciones de Yndias". Mac-Evan había sido subalterno y aprendiz de don Antonio de Arévalo en los trabajos de fortificaciones del puerto de San Sebastián en España. En 1744 completó un gran proyecto general de defensa para la ciudad en el cual analiza el fuerte de El Pastelillo, la muralla Real, las murallas de Getsemaní, consideraciones político-militares sobre Cartagena, riesgos tácticos y militares de la ciudad, y presupuesto de gastos para la construcción de sus obras. Dirigió personalmente la construcción del fuerte de El Pastelillo, recomendada por Desnaux y por él mismo, y permaneció el resto de sus días en la ciudad, donde murió en 1751.

El mariscal de campo ingeniero Ignacio de Sala fue nombrado gobernador de la ciudad, a donde llegó en 1748 precedido de un gran prestigio como oficial y como ingeniero. En su patria había sido instructor y comandante de un alto número de ingenieros militares, y con ese fin había escrito ya tres libros: el *Tratado de la seguridad y conservación de los Estados por medio de fortalezas*, en 1746; el *Traité de sièges et de l'attaque des places par le Maréchal de Vauban*, en 1743; y el de *Ideas para un nuevo modelo de puentes*, en 1748. También había sido profesor en la primera Escuela Militar del Rey, la cual se fundó en Madrid por orden de Felipe V. Durante su gobernación en Cartagena preparó en 1756 un plan completo para terminar numerosas fortificaciones ya existentes, como los fuertes de El Pastelillo y de San Fernando, y las baterías de Santa Bárbara en Tierrabomba y San José en la isla de Barú. Después de cumplir su misión, Ignacio de Sala regresó a su patria en 1758.

El coronel de ingenieros Lorenzo de Solís había sido subalterno y discípulo de Sala en la escuela militar. Al morir Mac-Evan, en 1751, se nombró a Solís en el cargo de "Ynspector de Fortificaciones", y en esa condición levantó y redactó un nuevo "Proyecto General para la Plaza de Cartagena de Yndias" en 1754, que completaba y ampliaba el proyecto de Mac-Evan, el cual había sido elaborado doce años antes.

El personaje más meritorio entre los numerosos ingenieros militares españoles que trabajaron en Cartagena fue don Antonio de Arévalo, quien nació en Martín Muñoz de las Dehesas (Avila) el 31 de enero de 1717. A los 15 años ingresó como cadete en el puerto de Orán y a los 18 recibió su "Patente de Delineador" de la Junta de Fortificaciones de Madrid. En 1741 fue nombrado ingeniero extraordinario y ayudante del Comando de la Plaza de Cádiz, donde fue discípulo y oficial subalterno de don Ignacio de Sala. Al año siguiente se embarcó a órdenes de Mac-Evan para Cartagena, pero se detuvo algún tiempo por orden de su superior para trabajar en las defensas fortificadas de San Juan de Puerto Rico, La Guaira, Portobelo, Maracaibo y Santa Marta, en vista de que en ese momento arreciaba la guerra con Inglaterra. Cuando llegó a Cartagena se le encargó la conclusión de las obras de El Pastelillo. En 1746 viajó a Santafé para dirigir la construcción de calles y puentes en la capital del Virreinato. Al morir Mac-Evan, Arévalo volvió a Cartagena a órdenes de Solís, el nuevo "Yngeniero-director de Fortificaciones". A partir de entonces Arévalo realizó una formidable obra en un activo e incansable esfuerzo. Entre 1752 y 1760 demolió los restos del castillo de San Luis en Bocachica, proyectó el primer lazareto de Caño de Loro, llenó varias ciénagas y construyó refuerzos en las playas de la ciudad. En 1761, con motivo de otra guerra con Inglaterra, viajó al Darién con una expedición militar para rechazar un intento de invasión inglesa. De regreso en Cartagena, y para defender la ciudad contra posibles ataques, construyó nuevas baterías y refuerzos en los castillos de San Felipe y San Fernando. En varias ocasiones cumplió misiones militares y técnicas; por ejemplo en Riohacha, Maracaibo, Portobelo y Panamá, ocasiones en las cuales no sólo dirigió obras militares sino que fundó varias poblaciones. En 1773 el monarca Carlos III lo ascendió a brigadier general y lo nombró "Yngeniero-director de las Fortificaciones de Yndias". En 1782 fue gobernador interino de la ciudad. Ocho años después, tras realizar intensos trabajos, fue ascendido a teniente general y pidió el retiro del servicio activo, pero el rey no se lo concedió y lo mantuvo en el estado mayor de la plaza como teniente general en cuartel. Después de 68 años de servicio activo y esforzado a su patria y al rey, murió en 1800 en extrema pobreza.

Entre las innumerables obras que diseñó, proyectó o construyó don Antonio de Arévalo en Cartagena, es indispensable mencionar las siguientes:

1. La reconstrucción y ensanche de la batería de San José de Bocachica (1751 a 1757).
2. La continuación de las obras del castillo de San Fernando (1753 a 1759).
3. La demolición del castillo de San Luis en Bocachica (1756).
4. Las primeras estacadas y rastrillos de la Aduana y Chambacú (1756).
5. Las baterías artilladas que circundaban el castillo de San Felipe (1762-1769).
6. La escollera La Marina para proteger las murallas perimetrales de la plaza en su sección norte.
7. La batería del Angel San Rafael en el cerro del Horno, isla de Tierrabomba.
8. Las baterías artilladas de San Juan Francisco de Regis y Santiago, en los flancos del castillo de San Fernando (1762-1779).
9. El espigón del baluarte Santa Catalina, en los sectores norte y noreste de las murallas de la plaza, entre 1779 y 1808.
10. El hornabeque de Palo Alto (en dos periodos: 1782-1783 y 1796-1797).
11. La edificación de las bóvedas, bajo las murallas, sección noroeste (1792-1798).
12. El primer lazareto en el sitio de Caño de Loro, isla Barú.
13. La reedificación del baluarte de San José y los baluartes de Santa Clara, Ballestas, Santa Catalina y San Lucas (1760-1761).
14. La reparación de las baterías de La Media Luna y la construcción del puente giratorio, en 1769.
15. La construcción de nuevas baterías en San Felipe, en 1768.
16. La iniciación del muelle carenero de La Machina, en 1769.

Los 50 años que sirvió Herrera y Sotomayor (1681 a 1732) y los 58 que sirvió Arévalo (1742-1800) son los periodos de mayor intensidad y auge en las obras de fortificaciones de Cartagena, y son también la culminación del estilo arquitectónico militar que se denomina Escuela de Fortificaciones Hispanoamericana. Ambos periodos los determinaron las guerras entre Inglaterra y España durante los años 1761, 1763, 1776, 1778 y 1794, y el afán de los monarcas peninsulares de defender su valiosísima plaza naval en el Nuevo Reyno de Granada, de donde provenía la mayor parte del oro con que las colonias americanas surtían a la metrópoli.

Los contemporáneos de Arévalo fueron ingenieros españoles o criollos que también realizaron su obra a finales del siglo XVIII. Uno de ellos fue don Antonio Narváez Latorre, nacido en Cartagena en 1733, quien dirigió varias construcciones entre 1767 y 1780, así como la reconstrucción del Canal del Dique en la década 1780-1790. Intentó, sin éxito, crear una escuela de ingenieros militares en su ciudad natal, donde murió en 1812.

El coronel de ingenieros Juan Betín vino de España en 1780 y trabajó a órdenes de Arévalo en la construcción y reparación de varias obras en Cartagena. En 1884, en Santa Marta, intentó ampliar las fortificaciones que en 1743 había iniciado don Antonio de Arévalo.

Otro subalterno hábil y competente de Arévalo fue don Juan Ximénez Donoso, español, quien vino a servir en el cargo de "Yngeniero Ordinario del Comando de la Plaza de Cartagena". Durante la guerra de 1776 con Inglaterra, Ximénez presentó dos nuevos proyectos para reformar y completar las fortificaciones de la plaza.

Ante la inminencia de un nuevo conflicto armado con Inglaterra, España envió en 1778 al brigadier general e ingeniero Agustín Crame con el cargo de "Ynspector de Fortificaciones de Yndias". En desarrollo de su misión Crame proyectó una nueva fortaleza con el nombre de San Carlos, que se situaría en el cerro de San Lázaro, donde ya estaba la de San Felipe de Barajas, pero esta obra nunca se ejecutó.

La lista de distinguidos ingenieros militares que hicieron y reformaron a lo largo de los siglos las fortificaciones de Cartagena concluye con el coronel Manuel de Anguiano, ingeniero ordinario del comando de la plaza entre 1800 y 1810. Se dedicó a la reconstrucción de obras en la ciudad que ya eran pluriseculares y a programar en ellas nuevos trabajos, que fueron definitivamente cancelados por la declaratoria de independencia de la Nueva Granada.

Desde la fundación de la ciudad en 1533 transcurrieron casi tres siglos hasta el fin del dominio español en Cartagena, en 1811. Durante ese lapso diez monarcas gobernaron en España y en sus dominios de ultramar. Ellos fueron:

1. Carlos V, quien gobernó a España entre 1517 y 1556, cuando abdicó.
2. Felipe II, desde 1556, cuando recibió de su padre los dominios de América, hasta 1598, año de su muerte.
3. Felipe III, de 1598 a 1621.
4. Felipe IV, de 1621 a 1665.
5. Carlos II, quien sostuvo cuatro guerras con Luis XIV de Francia (1667, 1672, 1681 y 1688) y reinó desde 1665 hasta 1700.

6. Felipe V, primer monarca Borbón de España, quien reinó entre 1703 y 1746, con un breve interregno de pocos meses en 1724, cuando dejó la corona en manos de su hijo Luis I. Hizo un gobierno notablemente progresista.
7. Fernando VI reinó de 1746 a 1759; introdujo varias modificaciones en la administración de sus colonias.
8. Carlos III, el más progresista de los monarcas borbónicos, inspirado en los conceptos del despotismo ilustrado del siglo XVIII, gobernó de 1759 a 1788. En varias ocasiones combatió con Inglaterra, como cuando participó en la Guerra de los Siete Años, junto a Francia, entre 1761 y 1763.
9. Carlos IV, cuyo gobierno se extendió de 1788 a 1808.
10. Fernando VII, quien inició su gobierno en 1808 y poco después lo perdió en su propia patria a manos de Napoleón. Perdió también las posesiones españolas en América.

Felipe II envió la comisión encabezada por el ingeniero italiano Bautista Antonelli, primera que marchó a Cartagena a preparar los proyectos iniciales de fortificación de la ciudad. Como ya se dijo, en el envío de esta misión desempeñó un papel preponderante el ingeniero Tiburcio Spanoqui, quien durante muchos años fue consejero militar de Felipe II, y luego de su sucesor Felipe III.

Las numerosas obras ejecutadas por los ingenieros Cristóbal de Roda, Juan Bautista Antonelli (hijo), Alonso Turrillo de Yebra y Juan de Somovilla se hicieron por iniciativa del gobierno de Felipe III y se prolongaron durante algunos años en la administración de Felipe IV. Este nombró como gobernador de la plaza al ingeniero militar Francisco de Murga, quien ejecutó una gran obra técnica y administrativa, e introdujo en las nuevas construcciones militares importantes elementos asimilados de la escuela holandesa de ingeniería militar. Felipe IV aprobó la iniciativa de abrir el Canal del Dique, propuesta por el maestro de campo Pedro Zapata como gobernador de Cartagena, y ordenó la construcción del castillo que hoy lleva el nombre de su santo onomástico.

El almirante Jean Bernard Desjeans, barón de Pointis, atacó a Cartagena en 1697 como acto de guerra de uno de los conflictos que Carlos II sostuvo con Luis XIV de Francia, tratando de oponerse a las pretensiones del Rey Sol de establecer la dinastía borbónica en el tramo de España. En el curso de esta guerra Carlos II envió a Cartagena, en 1698, al ingeniero militar don Juan de Herrera y Sotomayor, uno de los más brillantes y eficaces que se recuerden en la historia de las fortificaciones de la ciudad. Cabe anotar, sin embargo, que la

mayor parte del trabajo de Herrera se realizó de 1720 en adelante, cuando ya Felipe V gobernaba la metrópoli y sus colonias.

Cuando el almirante Edward Vernon asaltó el puerto y la plaza de Cartagena en 1741, también lo hizo como acto de hostilidad en la guerra que en ese momento sostenía Felipe V contra Inglaterra. Este mismo monarca envió, para que construyeran nuevas defensas, a los ingenieros Carlos Desnaux y Juan Bautista Mac-Evan, quienes cumplieron su misión entre 1741 y 1744. Posteriormente los ingenieros Ignacio de Sala y Lorenzo de Solís vinieron por orden de Fernando VI y los seis años que cada uno permaneció trabajando en Cartagena se cumplieron bajo el reinado de este mismo monarca.

El más activo y creador de los grandes ingenieros militares de la Colonia, don Antonio de Arévalo, que trabajó en esta ciudad desde 1742 hasta 1800, fue comisionado también bajo el reinado de Felipe V, pero sus trabajos se prolongaron a lo largo de los gobiernos de sus sucesores Fernando VI, Carlos III y Carlos IV. Dentro de la vasta actividad que Carlos III cumplió por la administración de sus dominios, y con motivo de sus guerras contra Inglaterra, varios ingenieros militares vinieron durante su reinado para ampliar y reforzar las obras de defensa de la ciudad y del puerto. Algunos de ellos fueron los ingenieros españoles Juan Ximénez Donoso, Agustín Crame y Juan Betin, y el cartagenero Antonio Narváez Latorre.

Los hombres que proyectaron y construyeron las fortificaciones en Cartagena eran ingenieros en un sentido algo diferente del que hoy solemos atribuir a esta profesión. Aquéllos lo eran en el plano militar más completo. Dedicaban toda su vida a la carrera de las armas, como oficiales del ejército o de la marina españoles. Tanto su formación militar como su formación técnica la adquirían, en su mayor parte, en la dura escuela del servicio militar activo y combatiente, casi siempre a órdenes de otro oficial superior también del arma de ingenieros. Así se formaron Bautista Antonelli, su hijo Juan Bautista Antonelli, Cristóbal de Roda y Juan de Herrera y Sotomayor, entre otros. En sus primeros años de servicio algunos ingresaban y se instruían en alguna escuela naval (como don Antonio de Arévalo en Orán) o en los cuarteles especializados que surgían entonces como escuelas de formación de oficiales (donde se formó y enseñó, por ejemplo, don Ignacio de Sala). Fue solamente a mediados del siglo XVIII, con el progresista Felipe V, cuando se formalizó en España el establecimiento de academias militares, imitación de lo que estaba haciéndose en Francia, Prusia, Inglaterra y Holanda. Por esa misma época surgieron en Alemania y Francia las primeras escuelas de ingenieros civiles, con pñsumes muy parecidos a los que abarcaban los conocimientos de los buenos ingenieros militares de su tiempo.

No hay suficiente documentación conocida para examinar en qué forma fueron progresando los conocimientos y las capacidades de los ingenieros militares españoles en Cartagena a lo largo de tres siglos. Sin embargo, a través de los proyectos y de las construcciones dejados por ellos, de anotaciones dispersas en la literatura y de algunas conjeturas racionales, es posible determinar cuál era el bagaje de conocimiento que aquellos hombres adquirían, ya a fines del siglo XVIII, como resultado de su entrenamiento en escuelas formales, de su aprendizaje con oficiales superiores competentes, y de su propia experiencia en el campo.

Examinando las construcciones que dejaron, estudiando sus planos y mapas, considerando el estado de las ciencias en su tiempo y leyendo sus informes, se puede inferir que esos ingenieros militares tenían conocimientos bastante satisfactorios sobre los temas que hoy denominaríamos así:

1. Aritmética: los números naturales, sus cuatro operaciones elementales, potencias y raíces cuadradas y cúbicas, logaritmos, nociones sobre números primos, divisibilidad, múltiplos y submúltiplos.
2. Álgebra: ecuaciones de primero y segundo grados, polinomios enteros, las cuatro operaciones con polinomios, progresiones elementales, teorema del binomio de Newton, nociones de trigonometría plana y resolución de triángulos.
3. Geometría euclidiana: paralelas, triángulos y otros polígonos, métrica plana, ángulos, incidencia entre rectas, polígonos elementales, ángulos sólidos, métrica de sólidos.
4. Dibujo: dibujo geométrico, perspectiva, iconografía, levantamiento de planos y trazado de mapas.
5. Topografía: nivelación, medición de terrenos, perfiles, orografía, agrimensura y triangulación.
6. Cartografía: coordenadas geográficas, medidas de distancia, proyecciones estereográficas y proyección de Mercator.
7. Hidráulica: cauces abiertos, hidrografía, hidrostática elemental, obras hidráulicas y algo sobre construcciones navales.
8. Caminos: trazado y pavimentos.
9. Navegación: coordenadas celestes, elementos de trigonometría esférica, conocimiento de planetas y estrellas, efemérides, portulanos, meteorología empírica, arquitectura naval y puertos.
10. Conocimientos de materiales de construcción (especialmente madera, piedra, argamasa, bronce y hierro).
11. Artillería: cañones, caños y ánimas, pólvoras, voladuras y ordenanzas.

12. Balística exterior: trayectorias, formas de proyectiles, alcances, blancos, impactos y reglaje.
13. Arquitectura militar y civil: fortificaciones, murallas, fundaciones, estructuras ciclópeas, armazones en madera.
14. Armamento pesado militar y naval: cañones, culebrinas, brulotes, balistas, arietes.
15. Geografía elemental: terrenos, corografía, hidrografía de superficie, hipsometría.
16. Máquinas elementales: palancas, poleas y polipastos, cuñas, plano inclinado, cables, cadenas.
17. Minas: minerales naturales, metales comunes y minerales, nociones de geología, proceso químico de minerales.

Desde el punto de vista de la arquitectura militar, las obras de Cartagena constituyen una excelente y muy completa demostración de lo que en su tiempo se esperaba que tuvieran las fortificaciones militares. En efecto, los tratados de la época colonial, tanto del período barroco como del neoclásico, estipulaban las estructuras arquitectónicas que aparecían en este tipo de construcciones, y las clasificaban en los siguientes grupos:

1. Edificaciones principales: castillos, baluartes, bastiones, baterías, fuertes.
2. Construcciones esenciales: murallas, cortinas, fosos, caminos cubiertos, glacis.
3. Obras convenientes complementarias: orejones, revellines, contraguarnidos, casernas, espaldones, estribos protectores.
4. Obras accidentales: caballeros, plazas altas, plazas bajas, hornabeques, tenazas, casamatas, matacanes, traveses, espaldones, golas.
5. Accesorios: garitas, cuerpos de guardia, puertas, rastrillos, puentes, caponeras, almacenes, cuarteles, cisternas, hospitales, iglesia, casa castellana, aspilleras, almenas, poternas.

De todos estos elementos poliorcéticos es posible encontrar ejemplos muy bien acabados en Cartagena. En ellos se evidencia la prolongación que tuvieron en España los conceptos y las técnicas que en materia de ingeniería militar se habían desarrollado desde la Edad Media en Europa Occidental.

En cuanto a las técnicas de construcción de fortificaciones es poco lo que se sabe y escasos los documentos que existen, aparte de relatos informales y de lo que las consideraciones empíricas indican que debió ser necesario emplear en

aquellos tiempos, anteriores a la Revolución Industrial y con los recursos aún más escasos y pobres con que debió contarse en una plaza colonial. Los materiales de construcción fueron los que se emplearon en su época en todas partes: la piedra, el ladrillo de arcilla, la cal, la arena, la madera, el bronce y el hierro. No se había inventado el cemento *portland*. Estos materiales se transportaban a la obra en barcos, en carretas tiradas por bueyes o por hombres, o a hombro de esclavos. La mayoría de los obreros eran esclavos negros de propiedad del gobierno colonial o de señores acaudalados que los cedían o los arrendaban para ese fin. Con aquéllos trabajaban también operarios semicalificados: supervisores, albañiles, canteros, picapedreros, herreros, carpinteros, toneleros y tallistas.

La obra se hacía sobre “planos ortográficos” (que hoy llamamos planos isométricos), preparados previa y cuidadosamente por el ingeniero jefe, acompañados con varios dibujos de vistas exteriores de la obra como habría de quedar, los cuales eran denominados “iconografías” (hoy vista en perspectiva) y “escenografías” (hoy vista panorámica).

Para construir sus fortalezas y sus murallas en Cartagena, los ingenieros y los albañiles españoles preparaban un cemento de coral triturado, mezclado con arena de la playa, con una alta proporción de cuarzo. Para las estructuras más exigentes en cuanto a resistencia y durabilidad, se agregaba a la mezcla una porción de sangre de toro. El mortero o argamasa así formado resultaba de una extraordinaria resistencia. Todas las construcciones que aún están en pie y las ruinas que quedan de otras, en las que el tiempo y la erosión han desgastado los ladrillos e inclusive las piedras, conservan aún el cemento de las juntas casi intacto.

Hay diversas opiniones de los historiadores respecto a la fuente de donde provinieron las piedras para estas construcciones. Algunos piensan que fueron traídas por los buques españoles desde la isla de San Andrés (a casi mil kilómetros de distancia), mientras otros creen que fue de las islas Canarias. Hubo quienes dijeron que provenían de Flandes, pero esta hipótesis ha sido refutada. Cuando el coral se calcina produce una cal muy blanca, y se sabe que los españoles lo usaban en la mezcla para pegar las piedras y los ladrillos, pero se ignora cómo hacían para calcinarlo incorporándole arena. Pero es seguro que tanto los españoles como sus esclavos indígenas y negros conocían el procedimiento para hacer mortero, desde por lo menos 500 años atrás.

Si bien la obra física que los ingenieros españoles construyeron en Cartagena fue y es admirable como despliegue de técnicas y de conocimientos asimilados de diversas naciones europeas, aquéllos no dejaron en la Nueva Granada ninguna huella cultural, técnica o económica. No surgió de allí nada parecido a una escuela de ingeniería, a pesar de que lo intentaron hombres competentes como don Juan

de Herrera y Sotomayor y don Antonio Narváez Latorre. Por la terminología que hoy usamos para analizar la dinámica de la tecnología, podemos decir que las obras de Cartagena fueron un caso muy notable de aplicación de tecnología, pero ellas no comportaron ningún proceso de reproducción, de transmisión o de innovación de las tecnologías de su tiempo en el campo de la arquitectura militar, de la ingeniería castrense o de la poliorcética. Entre las varias razones para explicar este fenómeno de aparente frustración de la ingeniería militar de Cartagena respecto a la futura ingeniería de la República de la Nueva Granada, la más importante fue sin duda el movimiento de las guerras de independencia que rompió de manera transitoria pero definitiva los nexos administrativos y económicos con España. Pero también debe destacarse la obsolescencia que para fines del siglo XVIII presentaban las técnicas de diseño y construcción de fortificaciones a que España seguía aferrada, en tanto que ejércitos y marinas como los de Inglaterra y Francia, con más alto nivel técnico, habían desarrollado medios de combate muy superiores, especialmente en la construcción de piezas de artillería y en el aumento de su poder de fuego. No menos importante es el hecho de que Cartagena estaba muy distante y geográficamente muy aislada del resto del virreinato, para que los ingenieros coloniales y sus conocimientos se difundieran en el resto de la Nueva Granada.

Quizá en parte la escasa capacidad de difusión y de permanencia de la ingeniería militar española con relación al resto de nuestro país puede atribuirse a que ese conocimiento, en gran medida, no tenía el vigor de una obra original de la metrópoli, pues la mayor parte de los conceptos y de los recursos técnicos fundamentales de la ingeniería militar española fue asimilada de Italia, Francia, los Países Bajos y Alemania, así como de los árabes.

Esta herencia cultural y técnica y sus orígenes no hispánicos se ponen claramente de manifiesto con la misma terminología poliorcética castellana, en la cual muchas palabras provienen directamente de idiomas propios de las naciones indicadas. Así por ejemplo: del italiano provienen las palabras bastión (de *bastione*), revellín (de *rivellino*), fortaleza (de *fortezza*), parapeto (de *parapetto*), fajina (de *fascina*), foso (de *fosso*), gola (de *gola*), muralla (de *murallia*), cañón (de *canone*), caballero (de *cavaliere*), torreón (de *torreone*), cortina (de *cortina*), castillo (de *castel*), catapulta (de *catapulta*), balista (de *ballista*) y culebrina (de *culebrina*). Del francés provienen las voces glacis (de *glacis*), tenaza (de *tenaille*), tenallón (de *tenaillon*), poterna (de *posterle*), artillería (de *artillerie*), brulote (de *brulot*), caserna (de *caserne*), cuartel (de *quartier*) y trinchera (de *tranchet*). Del holandés vienen las palabras baluarte (de *bolwerk*), hornabeque (de *hornwerk*),

escarpa (de *skarp*), espigón (de *speke*). Del árabe provienen las palabras almena (de *al-minae*) y barbacana (de *bab-al-báqara*).

Probablemente la única manera como las imponentes construcciones militares de Cartagena contribuyen a sembrar un germen de interés duradero por la ingeniería en Colombia, fue la impresión que esas edificaciones debieron dejar en el ánimo del joven don Lino de Pombo, quien, entusiasmado por esas fortificaciones maravillosas, al enrolarse en las milicias patriotas de 1811, lo hizo en el pequeñísimo cuerpo de ingenieros de ese incipiente ejército; y quien posteriormente, en su exilio de España, ingresó a la escuela de ingenieros militares de Zaragoza, donde fue el primer neogranadino que obtuvo un grado académico como ingeniero. Por lo demás, ya se sabe del importante papel que posteriormente habría de desempeñar don Lino de Pombo como estimulador de vocaciones y como propagandista de la necesidad de establecer en nuestra patria los estudios de ingeniería. En gran medida fue la prédica del señor De Pombo lo que movió al General Mosquera a fundar, en 1848, el primer Colegio Militar de Ingeniería.

GLOSARIO DE INGENIERIA MILITAR

Aspillera (del catalán *espitlera* o *espillera*: tragaluz; probablemente del latín *specularia*: vidrieras de una ventana). Abertura larga y estrecha en un muro para disparar por ella. Aspillera apaisada: mayor dimensión en sentido horizontal. Aspillera invertida: más ancha por la parte exterior que por la interior del muro.

Baluarte (del francés antiguo *boloart*; del neerlandés *bolwerk*: fortificación). Obra de fortificación de figura pentagonal, que sobresale en el encuentro de dos cortinas, y se compone de dos caras que forman ángulo saliente, dos flancos que las unen al muro y una gola de entrada. Tenían como misión principal el fuego de flanco.

Barbacana. Obra de fortificación avanzada y aislada. Muro bajo a modo de antepecho. Tronera. Abertura que se deja en los muros para dar salida al agua o airear la tierra.

Caballero. Obra de fortificación defensiva, interior y bastante elevada sobre otras de una plaza, para protegerlas mejor con sus fuegos o dominarlas si las ocupare el enemigo.

Caponera. Obra de fortificación que primitivamente consistió en una estacada con aspilleras y troneras para defender el foso.

- Casamata.** Bóveda muy resistente para instalar piezas de artillería. Su invención se atribuye a Alberto Durero en Alemania.
- Caserna.** Bóveda a prueba de bomba que se construye debajo de los baluartes y sirve para alojar soldados y también para almacenar víveres y otras cosas.
- Contra guardia.** Obra exterior compuesta de dos caras que forman ángulo, edificada delante de los baluartes para cubrir sus frentes.
- Contramuralla.** Sinónimo de falsabraga: muro bajo construido detrás de una batería de sitio o de una trinchera para proteger a los soldados contra los golpes por la espalda y la metralla de los proyectiles explosivos.
- Cortina.** Lienzo de muralla que se localiza entre dos baluartes.
- Escarpa** (del germano *skarp*: agudo). Plano inclinado que forma la muralla del cuerpo principal de una plaza; plano inclinado opuestamente que forma el muro que sostiene las tierras del camino cubierto.
- Espaldón.** Valla artificial para resistir un tiro.
- Estribo protector.** Machón de mampostería destinado a fortalecer un muro.
- Fajina.** Haz de ramas delgadas muy apretadas, de las cuales se sirven los ingenieros militares para diversos usos, y muy señaladamente para revestimientos. Las hay de revestir, de coronar, incendiarias, etcétera
- Falsabraga.** Muro bajo para fortalecer la defensa; se levantaba delante del muro principal de una fortaleza.
- Fosos** (del italiano *fosso*). Excavación profunda que circuye la fortaleza.
- Glacis.** Declive desde el campo cubierto hacia la campaña.
- Gola** (del latín *gula*: garganta). Entrada desde la plaza al baluarte, o distancia de los ángulos de los flancos.
- Hornabeque** (del germano *Hornwerk-Horn*: cuerno, y *werk*: obra). Fortificación exterior que se compone de dos medios baluartes trabados con una cortina. Sirve para el mismo efecto que las tenazas, pero es más fuerte, pues los flancos defienden mutuamente sus caras y la cortina.
- Matacán.** Antigua obra voladiza de fortificación.
- Murallas** (del latín *muralia-muralis*: mural). Muro u obra defensiva que rodea una plaza fuerte o protege un territorio.
- Orejones.** Cuerpos que salen fuera del flanco de un baluarte cuyo frente se ha prolongado.
- Parapeto.** Muro que protege a los soldados hasta la altura del pecho.
- Poternas** (del francés antiguo *posterle*: puerta secreta). En las fortificaciones, puerta menor que cualquiera de las principales, y mayor que un portillo, que da al foso o al extremo de una rampa.

Rastrillo. Compuerta formada con una reja o verja fuerte y espesa, que se echa en las puertas de las plazas de armas para defender la entrada y que, por estar afianzada en unas cuerdas fuertes o cadenas, se levanta cuando se quiere dejar libre el paso.

Revellín. Obra exterior que cubre la cortina de un fuerte y la defiende.

Tenallón. (del francés *tenaillon*, de *tenaille*: tenaza). Especie de falsabraga hecha delante de las cortinas y los flancos de una fortificación.

Tenazas. Obra exterior con uno o dos ángulos retirados.

Traveses. Obra exterior para estorbar el paso en parajes angostos. Parapetos para ponerse al abrigo de los fuegos de enfilada, de flanco o de revés.

Rastrells. Compuerta formada con una teja o varias juntas y espesas, que se abren en las puertas de las plazas de armas para no fender la muralla y que, por estar alzadas en unas cuerdas fuertes o cables, se levantan cuando se quisiera dejar libre el paso.

Revolins. Opra exterior que cubre la cortina de un fuerte y la defende.

Tenallón. (del francés tenailon, de tenaille: tenaza). Espacio de muralla hecha delante de las cortinas y los flancos de una fortificación.

Tenazas. Opra exterior con uno o dos ángulos reñados.

Traveses. Opra exterior para estorbar el paso en puertas y ventanas. Parapetos para ponerse al abrigo de los fuegos de cañón, de trabuco de revo-

lución y de otros.

Trinchera. Opra exterior que se levanta para cubrirse de los fuegos de cañón y de otros.

Trinchera. Opra exterior que se levanta para cubrirse de los fuegos de cañón y de otros.

Trinchera. Opra exterior que se levanta para cubrirse de los fuegos de cañón y de otros.

Trinchera. Opra exterior que se levanta para cubrirse de los fuegos de cañón y de otros.

Trinchera. Opra exterior que se levanta para cubrirse de los fuegos de cañón y de otros.

Capítulo 4

LA INGENIERIA AL FINAL DE LA COLONIA

LO QUE NOS DEJO ESPAÑA

Al alborear el siglo XIX, cuando llegaba a su término el dominio español, en América Latina aún no aparecía una manifestación clara de la profesión de ingeniero. La tecnología incorporada a la sociedad americana en ese momento era rudimentaria y podía ser manejada por la gente del común sin ningún grado de preparación técnica especial. Ello puede comprobarse con sólo enumerar las piezas de equipo utilizadas para ejecutar las pocas y sencillas actividades productivas que se realizaban en nuestro medio desde el siglo XVI hasta comienzos del siglo XIX y que configuraban un perfil tecnológico análogo al que tenía la Europa culta de los siglos XIII y XIV. Estos instrumentos y tecnologías eran:

- El reloj mecánico, perfeccionado en Alemania desde 1370.
- La brújula, popularizada en Europa desde 1269.
- La fundición del hierro y del bronce, conocidas desde los 2000 y 3000 a.C., respectivamente.
- El puente de arco, en piedra o ladrillo, inventado por los romanos.
- La rueda y el carro, cuyo origen es de 10 mil ó 20 mil años a.C.
- La balanza, que ya los chinos y los antiguos egipcios conocían.
- El sistema tradicional de pesas y medidas españolas, desde la Edad Media.
- La acequia y el canal, que ya los romanos construían muy bien.
- La pólvora, copiada de los chinos y perfeccionada desde el año 846 en Alemania.

- La imprenta de tipos móviles, inventada por Gutenberg en 1440.
- El sistema hora-minuto-segundo, que venía desde los babilonios.
- El molino de trigo movido por agua, inventado en Holanda o Alemania en el siglo XII.
- El carro de bestias con ballestas, que se usaba desde miles de años a.C.
- La rueda de hilar de pedal, inventada en Alemania en 1530.
- El telar de madera, de operación manual, parecido al que usaban los caldeos y los egipcios.
- La bomba manual para agua, de madera, inventada en Alemania en 1548.
- Los mapas astronómicos, perfeccionados en Italia a partir de 1539.

En cuanto a las tecnologías conocidas en Europa, que aún no se usaban en la Nueva Granada a fines del siglo XVIII, citamos:

- El molino de viento (1105 en Francia).
- La grúa (1330 en Luneburgo).
- El barco con ruedas de paleta.
- La sembradora mecánica (1500, por Cavallina).
- El puente colgante (1550, por Palladio).
- El sistema decimal (1080, por Azachel, y 1585, por Simón Stevin).
- El microscopio (1590, por Jansen, y 1660, por A.V. Leuwenhock).
- La segadora (1524).
- El torno para hacer tornillos de hierro (1578, por Jacques Besson).
- El puente metálico rígido (1595, por Veranzio).
- El telescopio (1605, por Lippersheim).
- La máquina de vapor (1630, por David Ramsey).
- El torno para metales (ca. 1798, por Maudslay).
- La maquinaria textil.
- La tecnología siderúrgica y la fusión del hierro.
- La tecnología química.
- Todo tipo de motor térmico (por ejemplo, la bomba de Newcomen, 1705; el motor de Watt, 1781-1786).
- La tecnología hidráulica.
- Máquinas-herramientas para metales (por ejemplo, la prensa hidráulica, de Bramah, 1796; el torno de roscar, de Maudslay, 1797; el torno para metales de bancada lisa, de Maudslay, 1797).
- Toda forma de electricidad.
- Vehículos o barcos mecanizados o motorizados.

Hay que destacar que en España el rey Carlos III, con su espíritu favorable a la ilustración de la época, hacía esfuerzos para actualizar a su país en el desarrollo de las ciencias de la Europa del siglo XVIII. Fue él quien creó en su país las primeras grandes escuelas de ingenieros militares (Zaragoza, Madrid, Barcelona) y las primeras escuelas navales (Bilbao), donde se impartía preparación profesional militar con una sólida base científica según la pauta del Collège Militaire de París.

Movido por su interés en las colonias del Nuevo Mundo, en 1788 envió a la Nueva Granada una misión de ingenieros de minas que había sido contratada en Sajonia (Alemania), con el fin de estudiar nuestra geología y buscar minas de plata. La formaban los señores Emmanuel Gottlieb Dietrich, Cristian Friedrich Klem, Jakob Benjamin Wiesner, Johann Abraham, Friedrich Ningritz y Joachim Bayer, quienes recorrieron la Nueva Granada sin lograr un éxito importante en la búsqueda de nuevas fuentes de plata. Sus informes, que debieron contener importantísima información científica sobre nuestra geología y mineralogía, se perdieron o reposan en archivos de España.

Por la misma época vino a Santafé, como ingeniero militar, don Domingo Esquiaqui, nacido en Nápoles. Al retirarse del ejército se dedicó a ejercer como ingeniero civil, y como tal reconstruyó iglesias y edificios públicos, levantó el primer plano de Santafé y construyó el puente de El Común. Al estallar las guerras de independencia permaneció aquí como simpatizante de la causa criolla, y murió en Bogotá en 1820. Es seguro que para esos trabajos usó instrumentos y métodos típicos de ingeniería civil, como la brújula, la cadena de agrimensura, alguna forma de nivel (quizá de agua), el arco de mampostería y los platos isométricos. Lo mismo debió haber hecho el ingeniero militar Carlos Francisco Cabrera para elaborar un nuevo mapa de la ciudad en 1797, por orden del virrey Mendinueta.

Hacia 1792 el progresista Carlos III envió a Santafé al señor Bernardo Anillo como primer director de obras públicas. Él creó, en 1801, la primera Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas, en la cual se formaron constructores con un buen nivel técnico y científico, como los señores Francisco Urquinaona, Benedicto Domínguez del Castillo, Juan Bautista Estévez y Julián Torres Peia. Algunos de ellos servirían luego como oficiales de ingenieros en las guerras de independencia.

El mismo año de 1792 llegó de España don José Vicente Pascal Domingo Buix, nacido en Petrés (1759), y ya convertido en clérigo dominicano, bajo el nombre de fray Domingo de Petrés. Era un arquitecto autodidacta y como tal,

construyó varias iglesias, hospitales y monumentos en Santafé, Zipaquirá, Guaduas y Chiquinquirá.

LA EXPEDICION BOTANICA

El gran empuje dado a las ciencias básicas de la ingeniería en aquellos años provino de la obra monumental de Mutis y de sus colaboradores en la Expedición Botánica. Aquí sólo nos referiremos a los puntos más directamente tocantes con la ingeniería, no a su obra propiamente científica, que con autoridad ha sido estudiada por otros autores.

Mutis llegó a la Nueva Granada en 1760 como médico del virrey Messía de la Cerda. Posteriormente se dedicó en Pamplona en 1766, y en Ibagué en 1777, a la minería de oro e introdujo varias innovaciones técnicas en esa actividad. Parece que allí implantó, por primera vez en nuestro país, la técnica de la amalgamación para el oro y la plata, muchos años antes de que se hiciera en otros sitios de Colombia. Cuando Alejandro de Humboldt y Aimé Bonpland llegaron a Cartagena, en 1801, se dirigieron a Santafé con el propósito especial de conocer a Mutis, cuya obra científica ya se había divulgado en Europa.

Como director de la Expedición Botánica, Mutis se empeñó en que se construyera el Observatorio Astronómico, obra que proyectó y erigió fray Domingo de Petrés y que se terminó en 1803. La Expedición estimuló multitud de trabajos e investigaciones, entre ellos los de geografía, que por primera vez se estudiaba sistemáticamente en la Nueva Granada. Un buen ejemplo es el *Ensayo sobre la geografía económica de Antioquia*, obra de José Manuel Restrepo en 1809, pieza clásica como documento de estudio geográfico, e históricamente la primera de su género.

Durante su realización, de 1783 a 1815, la Expedición Botánica aclimató en nuestro estrecho ámbito cultural numerosas ciencias: medicina, botánica, zoología, climatología, física, química, mineralogía y geología; de ellas unas han sido y son herramientas esenciales para el ingeniero, pero todas son de su interés.

Así mismo, Mutis, Caldas y sus compañeros divulgaron el conocimiento de instrumentos que antes sólo muy pocas personas habían visto. Tal es el caso de la brújula, el microscopio, el barómetro, el nivel de agua, el termómetro, el reloj de precisión, el telescopio, la cadena de agrimensor, algunos reactivos químicos, etcétera.

En 1784 llegó a la Nueva Granada don Juan José D'Elhúyar, enviado por el gobierno de España a mejorar los sistemas mineros del virreinato. D'Elhúyar

era un mineralogista y geólogo, vasco de nacimiento, que durante ocho años había estudiado en París, Freiberg (Alemania) y Upsala (Suecia). En la Nueva Granada se dedicó a estudiar las minas de plata de la población de Santa Ana (hoy Falan) en la entonces provincia de Mariquita (hoy Tolima). Desafortunadamente su aislamiento en ese remoto sitio no le permitió producir una obra científica de mayor importancia, como hubiera podido hacerlo dadas sus capacidades y su preparación. Más afortunado fue su hermano Fausto D'Elhúyar, quien en México pudo llevar a cabo una obra más notoria en el campo de la mineralogía y de la metalurgia. De todas maneras, Juan José D'Elhúyar recopiló muchísimos especímenes de minerales y de rocas que enriquecieron las colecciones de la Expedición Botánica.

Cabe recordar que, también en 1784, vino a Antioquia, enviado por el gobierno de España, el ingeniero de minas Louis Laneret, quien enseñó a los mineros locales el uso de molinos de mineral para extraer el oro. Sin embargo, ni D'Elhúyar, ni los mineros de Sajonia que ya mencionamos, ni Laneret, dejaron una obra perdurable o continuadores o alumnos que prosiguieran su trabajo en el virreinato.

PRIMER COLEGIO MILITAR

En 1814, en plena guerra de independencia, don Juan del Corral fundó en Rio-negro (Antioquia) el Colegio Militar de Ingenieros, y llamó a Francisco José de Caldas para dirigirlo. El colegio inició labores en octubre bajo la dirección y docencia académica de Caldas y la orientación militar de Serviez. Entre sus alumnos estaba José María Córdoba.

Además de la dirección y la enseñanza, Caldas se empeñó en dos proyectos de industria militar: fabricar pólvora y fundir cañones, y en ambos tuvo éxito, pero en 1816 Caldas fue llamado por el gobierno central a Bogotá para fundar otra escuela militar. La reconquista española puso fin a todos estos intentos y a la vida de Caldas.

En el ámbito de la psicología, se han realizado estudios en los que se ha demostrado que el uso de la tecnología en el aula puede mejorar el aprendizaje de los estudiantes. En particular, el uso de plataformas de aprendizaje en línea ha demostrado ser efectivo para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes. Además, el uso de herramientas de colaboración en línea puede mejorar la comunicación y el trabajo en equipo de los estudiantes. En conclusión, el uso de la tecnología en el aula puede ser una herramienta efectiva para mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

PAISAJES URBANOS

El paisaje urbano es un elemento fundamental en la configuración de la identidad de una ciudad. Los espacios públicos, como parques, plazas y calles, son esenciales para la vida social y cultural de los habitantes. Además, el diseño urbano puede influir en la calidad de vida de los ciudadanos, promoviendo la sostenibilidad y el bienestar. En este sentido, es importante considerar el paisaje urbano como un recurso valioso que debe ser cuidado y desarrollado de manera responsable.

LA EDUCACIÓN EN EL SIGLO XXI

La educación en el siglo XXI enfrenta desafíos y oportunidades. El avance de la tecnología ha transformado el modo de aprender y enseñar, permitiendo el acceso a recursos educativos de calidad y el desarrollo de habilidades digitales. Sin embargo, también se enfrentan desafíos como la brecha digital y la necesidad de actualizar los currículos. Por lo tanto, es necesario implementar estrategias innovadoras que promuevan el aprendizaje continuo y el desarrollo integral de los estudiantes.

LA SOSTENIBILIDAD EN EL SIGLO XXI

La sostenibilidad es un concepto clave para el futuro de nuestra sociedad. Implica equilibrar el desarrollo económico, el bienestar social y el cuidado del medio ambiente. Para lograr esto, es necesario adoptar prácticas sostenibles en todos los aspectos de la vida, desde el consumo hasta la producción. La educación juega un papel fundamental en la promoción de la conciencia ambiental y la adopción de hábitos sostenibles.

Capítulo 5

INGENIERIA E INGENIEROS EN EL MUNDO, 1800-1850

LA HERENCIA DE LA ANTIGÜEDAD

Al comenzar el siglo XIX, en Europa y en Estados Unidos eran muy variadas las obras de la vida civil en que trabajaban los ingenieros. En gran parte como respuesta al enorme desarrollo industrial y a la actividad económica que se vivía en esos lugares, llegaba a su culminación el proceso de diferenciación de la ingeniería como actividad civil y la ingeniería como aplicación militar. Para recalcar su identidad, en Francia se llamaba a estas actividades con el nombre genérico de *génie civil*, para distinguirla de la *génie militaire* que era la noción que, desde los romanos y reafirmada en la Edad Media, se tenía de esa disciplina que se continuaba practicando y enseñando en algunos cuarteles especializados. De esa época proviene el nombre de ingeniería civil con que se ha denominado desde entonces la profesión del ingeniero constructor. A su lado sólo figuraban entonces los ingenieros militares (de quienes no tratamos aquí) y los ingenieros de minas especializados en las tareas de su nombre.

Con técnicas empíricas heredadas desde los remotos tiempos en que los ingenieros romanos habían cubierto a casi toda Europa y media Asia con sus famosas vías y calzadas de miles de "millas" pavimentadas de piedra, los ingenieros sabían trazar y construir caminos para carretas y peatones sobre largas distancias, puentes de piedra y de madera que los mismos romanos habían generalizado y que a comienzos del siglo XIX hacían con mejores técnicas y con luces un poco mayores. Dichas técnicas les permitían construir también largos

acueductos canalizados, aunque ninguno de ellos alcanzó la magnificencia arquitectónica de los acueductos romanos que han llegado hasta nuestros días.

Desde los siglos del medioevo los albañiles italianos y alemanes, organizados en pujantes gremios, habían aprendido a construir palacios de varios pisos, con elegantísima arquitectura y construcción imperecedera, que todavía se pueden apreciar en Roma, Florencia, Venecia y otras ciudades europeas. En el comienzo del siglo XIX los métodos de cálculo seguían siendo rudimentarios, pero los de dibujo eran más refinados gracias a los perfeccionamientos introducidos por los grandes arquitectos clásicos y del Renacimiento, como Vitruvio, Agripa, Miguel Angel, Leonardo da Vinci y Simon Stevin. También se seguían empleando los mismos materiales (piedra, ladrillo, arena, cal y mármol) para diseñar y construir edificios gubernamentales, mansiones de nuevos ricos burgueses y las nuevas grandes fábricas de la Revolución Industrial, pero su complejidad de cálculo y de construcción apenas permitía llegar hasta cuatro o cinco pisos de altura en las ciudades, porque no habían podido superar las varias decenas de metros de altura a que habían llegado los albañiles e ingenieros militares medievales con sus castillos fortificados, ni menos aún el centenar de metros o más que habían alcanzado las catedrales góticas, construidas por hombres empíricos y aprendices con muy poca instrucción escolar.

Los conocimientos y la experiencia ya acumulados en hidráulica les permitían a los ingenieros europeos diseñar y construir canales de irrigación, cauces para acequias, malecones y muelles en ríos y puertos marítimos, con mayores proporciones que los que los constructores medievales y renacentistas habían aprendido a hacer para las grandes ciudades costeras y fluviales como Londres, París, Hamburgo, Bremen, Estocolmo, Boston, Nueva York y Nápoles. Sin embargo, los materiales para estas obras y las máquinas hidráulicas que se instalaban en ellas, como las ruedas de agua, los arietes hidráulicos, los aljibes de operación manual y los tornillos de Arquímedes, seguían siendo casi los mismos que habían utilizado los griegos y los romanos.

Los ingenieros militares continuaban construyendo sus obras en fortificaciones de campaña o en plazas militares, pero este arte había sido completamente modificado por el desarrollo de la artillería pesada y el aumento de la potencia de la pólvora. Ya no se hacían obras monumentales y majestuosas de duración eterna, como los castillos medievales o las murallas de Cartagena. Las campañas napoleónicas habían orientado a los ingenieros militares hacia construcciones móviles, menos planeadas como defensa y más adaptadas al avance rápido y a la ofensiva como factores de apoyo a una artillería pesada capaz de hacer largas jornadas. Estos mismos cambios habían dado lugar a una impor-

tante industria de fabricación de artillería, que ocupaba a muchos ingenieros militares y a no pocos civiles.

Desde la más remota antigüedad los egipcios, los fenicios y los cretenses habían desarrollado altamente los métodos de diseño y de construcción de sus navíos, con los que habían recorrido todo el Mediterráneo. Griegos y romanos habían construido naves aún mayores con técnicas que preservaron los bizantinos y que la Europa medieval conservó en sus escasos astilleros de Venecia, Roma, Marsella, Cádiz, Londres y Bremen. Oficios como los de constructor de barcos, carpintero naval y fabricante de velas habían tenido sus gremios especializados y eran muy apreciados. Pero sólo a comienzos del siglo XIX se definió la noción y la profesión de la ingeniería naval, en los nuevos y más grandes astilleros de Plymouth, Lisboa, Brest, Londres, Boston, Cádiz, Hamburgo y Roma.

La Revolución Industrial abrió un nuevo campo de actividad para los ingenieros que se formaban en las escuelas técnicas ya existentes. En las nuevas fábricas, los ingenieros trabajaban en el diseño y construcción de nuevas máquinas; aprendían a operarlas y a manejar los equipos mecánicos para usar el calor: calderas, hornos, bombas, máquinas de vapor, máquinas textiles y molinos de toda clase. Esa línea de desarrollo profesional habría de ampliarse rápidamente, y gracias a ella a mediados del siglo XIX fue muy claro el concepto de ingeniero mecánico y en Inglaterra y Estados Unidos se fundaron escuelas técnicas destinadas a formar a este profesional. Anteriormente eran los ingenieros de *génie civil* quienes planeaban y construían industrias enteras y fábricas completas de textiles, vidrio, papel, altos hornos, fundiciones, forjas y astilleros.

Los ingenieros de minas procedían, desde el siglo XVIII, de escuelas especializadas de Alemania, Bohemia e Inglaterra. En los países mineros de Europa y en Estados Unidos seguían ocupándose en localizar, abrir y operar minas. Trabajaban en Francia, Gales, Sajonia, en la cuenca del Rhin, Pensilvania, Joachimstal, España, Carrara y en otros sitios, buscando y explotando minas de carbón, hierro, oro, cobre, estaño, y canteras de piedra y mármol, que eran los únicos minerales que entonces se aprovechaban a escala mayor.

Tanto para buscar minas como para construir caminos y obras hidráulicas, los ingenieros civiles hacían trabajos ya muy adelantados de agrimensura y topografía, e inclusive ya entraban en labores de geodesia y de precisión. Gracias a estos conocimientos, eran también empleados por los gobiernos para hacer la cartografía y el levantamiento corográfico de amplios terrenos, de ríos, de provincias y aun de los estados.

Como se ve, dentro de las limitaciones técnicas y científicas de su tiempo, los ingenieros ya poseían una amplia variedad de conocimientos que los habi-

litaban para emprender trabajos muy variados y para actuar como protagonistas vigorosos en las transformaciones y en la construcción del nuevo mundo industrializado que surgía en Europa Occidental y en Estados Unidos.

ESCUELAS FAMOSAS

La preparación formal de los ingenieros no fue reconocida en las venerables y antiguas universidades europeas y norteamericanas de París, Oxford, Bolonia, Harvard, Cracovia y Cambridge, en las cuales no sólo no los preparaban sino que si se les hubiera propuesto que lo hicieran, lo hubieran rechazado enfáticamente porque en ese momento (1820-1825) la palabra ingeniero tenía fuertes connotaciones de militar. Por eso los estadistas que a fines del siglo XVIII vieron la necesidad de formar tales profesionales, fundaron nuevos institutos especializados.

Quizá el primer instituto expresamente consagrado a formar ingenieros civiles y de minas fue la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Technische Hochschule Ingenieure) de Brunschweig, fundada bajo el gobierno ilustrado del rey Federico II de Prusia. En la misma época se fundó la Escuela de Minas (Bergbauwerkes Schule) en Freiberg, en Sajonia, que gozaba de la más alta reputación en Europa. En la misma línea el rey Adolfo Federico I de Suecia había creado la Escuela de Minas en Upsala, motivado por las grandes reservas de mineral de hierro de ese país que entonces comenzaban a explotarse. Allí estudiaron, entre otros ingenieros famosos, los hermanos Juan José y Fausto D'Elhúyar.

De una época cercana (finales del siglo XVIII) eran la Escuela de Ingenieros Militares y Civiles de Zaragoza y la Escuela de Ingenieros de Alcalá de Henares, ya entonces adscrita a la Universidad Complutense de esa ciudad, que habían sido creadas por el gobierno de Carlos III en España, junto con las escuelas navales en Bilbao y El Ferrol. En ambas escuelas se formó el primer ingeniero neogranadino, don Lino de Pombo.

Pero la más famosa escuela mundial para ingenieros era en ese entonces la École Polytechnique de París, fundada por Napoleón Bonaparte en 1794 como escuela de formación de los excelentes oficiales que el emperador quería para su ejército, y de funcionarios para administrar su imperio. Famosos personajes de la ciencia y de la técnica fueron profesores en aquellos años: Pierre Simon de Laplace, Agustín Cauchy, Simeon Denis Pisson, Gaspard Monge, Charles Agoustin de Coulomb, Louis Henri Navier y Emile Clapeyron fueron algunos de los famosos científicos que llegaron a adquirir fama mundial como grandes formadores de las ciencias en que se basa la ingeniería. Entre sus eminentes

alumnos, que serían después grandes ingenieros y científicos, se encuentran Leonard Sadi Carnot, fundador de la termodinámica, y Jean Victor Poncelet, uno de los creadores de la geometría proyectiva.

Poco después de la Politécnica habían sido fundadas la *École Nationale d'Arts et Métiers* y la *École Nationale de Ponts et Chaussées*, ambas en París, y ya famosas en el mundo técnico de sus días como centros de preparación de ingenieros, arquitectos, técnicos y profesionales superiores. En ese tiempo París era la capital mundial de la ciencia y de la técnica.

Al tenor de la Escuela Politécnica habían sido fundados en otros países diversos institutos avanzados para la formación técnica. Algunos de ellos eran el *Berliner Technische Hochschule*, en la capital prusiana, el Instituto Politécnico Federal de Zurich, en Suiza, y el *Imperial College of Science and Technology*, en Londres.

En los Estados Unidos aparecieron tempranamente algunos institutos tecnológicos para formar ingenieros; dos de los primeros fueron el *Rensselaer Polytechnical Institute* y el *Rice Institute of Technology*, que a mediados del siglo prepararon ingenieros colombianos y latinoamericanos.

EL SABER

Hoy es difícil encontrar fuentes primarias que muestren cuáles eran los conocimientos básicos que recibían los ingenieros que se formaban en escuelas como las mencionadas y en otras análogas de Europa y Estados Unidos, en los años iniciales del siglo XIX, cuando en América Latina aún no existía esa clase de instituciones. Sin embargo, por el examen de las obras y trabajos que ellos realizaron, pueden hacerse inferencias razonables acerca de los saberes básicos de esos hombres.

Las matemáticas ocupaban ya un papel central en la formación de ingenieros militares, ingenieros civiles e ingenieros de minas. La aritmética debía ser estudiada en los niveles elemental y medio, por lo menos en los capítulos referentes a las operaciones con números naturales, racionales y decimales, y logaritmos y —en centros más avanzados— algo de ecuaciones diofánticas. Se estudiaba toda la geometría euclidiana métrica del plano y la del espacio euclidiano tridimensional, así como lo referente a la goniometría y la trigonometría plana, con buenas nociones de la trigonometría esférica aplicada a la astronomía de posición. La geometría descriptiva acababa de salir casi en su totalidad de las manos de Monge y seguramente buena parte de ella se enseñaba a los

estudiantes de ingeniería, por su rico potencial de aplicaciones en la arquitectura, el dibujo y la mecánica de sólidos.

En el álgebra debían tratarse las operaciones con polinomios, lo mismo que las ecuaciones algebraicas de primero y segundo grados, y los sistemas lineales de varias ecuaciones con varias incógnitas. La teoría de números complejos estaba aún en formación con Gauss, Cauchy y Weierstrass y probablemente casi nada de ella se enseñaba a los estudiantes de ingeniería. Posiblemente se incluían también las progresiones y algunas funciones algebraicas distintas de los polinomios.

De lo que ya se denominaba geometría analítica se estudiaban las coordenadas cartesianas en el plano y en el espacio tridimensional, así como sus aplicaciones métricas; las rectas, otros lugares geométricos, la circunferencia y las otras secciones cónicas de Apolonio (la elipse, la parábola y la hipérbola).

Del cálculo diferencial e integral se enseñaban varias funciones elementales de frecuente aplicación, así como todos los principales resultados hallados desde Newton, Leibniz, Euler y los Bernoulli. Seguramente se agregaban numerosas reglas de derivación e integración, así como las aplicaciones a la geometría analítica y a la mecánica. Las ecuaciones diferenciales eran todavía una disciplina en formación en manos de Cauchy, Weierstrass, Clairaut, Kowalewska y otros, y aún no se enseñaban en forma generalizada.

Respecto a la física, se veían los diversos sistemas de unidades de medida, así como el recién implantado sistema métrico decimal; los principios de la estática y del equilibrio mecánico, aplicados a máquinas elementales simples; las leyes del movimiento de Newton, y las recientes nociones sobre trabajo, energía cinética y energía potencial. Es factible que se enseñaran los rudimentos sobre rozamiento y elasticidad de sólidos, algo de hidrostática y la noción cinética del calor (recién descubierta por Rumford). Además, las escalas de temperatura, partes de calorimetría y principios sobre los gases y su comportamiento, para apoyar algunas nociones de acústica. Uno o dos capítulos de óptica geométrica y unas brevísimas nociones de magnetismo y electrostática probablemente completaban ese programa. Casi nada se sabía aún sobre vibraciones, termodinámica, óptica física, hidrodinámica, teoría cinética de los gases, corrientes eléctricas, ni sobre estructura física de la materia, que fueron áreas desarrolladas en el resto del siglo por los grandes físicos decimonónicos Fizeau, Clausius, Joule, Helmholtz, Fresnel, Foucault, Young, Maxwell, Kelvin, Ampère, Ohm, Oersted, Henry, Thompson y otros.

La química era aún una actividad encerrada en laboratorios de científicos puros como Berthélot y Davy, y casi nadie la trabajaba con las realidades prácti-

cas de la materia. Sin embargo, por lo menos en las mejores escuelas, como la Politécnica de París y algunas de minas, algo se enseñaba de química mineral. Probablemente ya se difundían las nociones de Dalton sobre átomos de elementos y moléculas de compuestos, así como nociones de la nomenclatura recién desarrollada por Lavoisier y de las propiedades químicas del agua, algunos metales, sus minerales y algunos gases. También debieron abordarse los pesos atómicos y los pesos moleculares y probablemente ya era familiar la ley de conservación de la materia, descubierta pocos años antes por el mismo Lavoisier.

De las técnicas específicas del ingeniero se enseñaban cuestiones sobre suelos, rocas, terraplenes y excavaciones, el trazado y la construcción de caminos con los métodos de entonces, la agrimensura y la topografía y nociones sobre puentes. A esto se agregarían la geografía, la geodesia y la astronomía de posición, el dibujo, la arquitectura y la construcción de edificios y el uso de materiales. Debía también verse algo de geología (que Hutton y Lyell estaban desarrollando) y mineralogía (que Haüy había convertido en una nueva gran ciencia), y bastante sobre hidráulica empírica y teórica de canales abiertos. En las escuelas de minas se enseñaban técnicas de metalurgia extractiva para metales preciosos, cobre y hierro, y algunos procesos físicos para trabajarlos.

Las consideraciones anteriores sobre los contenidos de la enseñanza para los ingenieros de la época se basan en distintos elementos de juicio dispersos pero convergentes, que apuntan con claridad hacia los temas didácticos que se mencionan atrás. Entre estos elementos de juicio pueden citarse los siguientes:

1. El estudio detallado sobre el nivel de conocimiento que existió en Europa acerca de la aritmética, el álgebra, el cálculo, la geometría analítica y la geometría descriptiva.
2. El examen cuidadoso que el autor hizo con el profesor Luis de Greiff Bravo sobre el texto del álgebra que escribió don Lino de Pombo hacia 1840, y el cual usó en sus cátedras de la Universidad del Cauca y del Colegio Militar de Ingeniería. Don Lino se formó como ingeniero entre 1818 y 1822 en España, y continuó sus estudios en París.
3. El conocimiento de los libros de texto sobre aritmética y álgebra que escribió el ingeniero Indalecio Liévano, a mediados del siglo XIX, y que por muchos años se utilizaron en el Colegio Militar de Ingeniería y en la Universidad Nacional.
4. La información de la historia de la física sobre el estado del saber en sus ramas de mecánica, calor y electricidad, a comienzos del siglo pasado.

5. El conocimiento existente sobre la situación general de la tecnología, como el que ofrece el libro de Derry para la época indicada, y el estudio de libros sobre la historia internacional de la mecánica, la metalurgia, la teoría del calor, los ferrocarriles y otras disciplinas estrechamente vinculadas con la ingeniería.
6. El estudio de biografías de ingenieros como George Stephenson, Thomas Telford y Gustave Eiffel.
7. El análisis detallado que el autor realizó sobre el significado científico y profesional del trabajo de Agustín Codazzi en la Comisión Corográfica. Codazzi se formó como ingeniero entre 1810 y 1814, en la Academia Militar de Pavía, dirigida por oficiales franceses formados en la *École Polytechnique*.
8. La investigación detallada que el autor hizo sobre la ferrería de Pacho, fundada en 1824 por el ingeniero de minas alemán Jacobo Wiesner.

INSTRUMENTOS Y MATERIALES USADOS

A través de sus estudios y de sus trabajos, los ingenieros estaban familiarizados con un número ya amplio de instrumentos de trabajo. Quizá los dos más generalmente usados eran la brújula de mano y la cadena de agrimensor, para trazar y hacer caminos, localizar obras, medir terrenos, hacer cartografía, excavar canales, situar minas, etc. En casi todos estos trabajos se utilizaban el nivel visual de agua, la mira para medidas verticales y el teodolito o taquímetro óptico de precisión. El sextante para tomar coordenadas celestes, el barómetro anerode o de Bourdon para medir presiones atmosféricas y el termómetro eran otras tres herramientas que se empleaban en muchos trabajos de ingeniería a la intemperie. El martillo y el cincel, típicos de los albañiles desde la antigüedad, eran prácticamente las únicas herramientas para edificar. La escuadra, el compás y otros instrumentos de dibujo ya eran usuales para el ingeniero en sus trabajos, así como las tablas de logaritmos y las tablas trigonométricas.

Como materiales necesarios y comunes en sus obras de construcción, los ingenieros disponían de la pólvora negra para voladuras en tierra y roca. La piedra y la grava se usaban como elementos estructurales y agregados para mortero en construcciones ciclópeas de puentes, canales y edificios; generalmente se aglutinaban con morteros de cal.

La madera en su función estructural y de material auxiliar y ornamental, era uno de los pocos materiales de construcción adicionales. Sólo en edificios

grandes y suntuosos se usaban algunas piezas de hierro forjado y de bronce, aunque no como elementos estructurales sino más bien ornamentales.

LAS INNOVACIONES TECNICAS DE LA EPOCA

Los primeros decenios del siglo pasado fueron sumamente fructíferos en inventos e innovaciones que habrían de ampliar enormemente las capacidades de los ingenieros y sus áreas de trabajo. Para no extendernos excesivamente, baste mencionar algunos de los conseguidos entre 1820 y 1835 en Europa.

La más importante y nueva actividad de aquellos años fue la construcción de líneas ferroviarias, desde cuando George Stephenson colocó en funcionamiento sus primeros trenes en Inglaterra. Se logró trazar las nuevas vías (con especificaciones más rigurosas), construirlas, fabricar los rieles y los vehículos, dotarlas de servicios y operarlas regularmente. Esta actividad se extendió muy rápidamente tanto en Europa como en Norteamérica y otras grandes áreas del mundo.

Con la expansión de los ferrocarriles y de los caminos para ruedas vino la necesidad de nuevos y mayores puentes que ahora tenían que ser construidos, no solamente en piedra y madera, sino con hierro forjado. Muy poco después se hicieron los primeros puentes colgantes, de los cuales el famoso ingeniero inglés Thomas Telford construyó algunos de los más notables de esos primeros años.

El crecimiento de las ciudades y el aumento de los recursos económicos de los estados dieron lugar al ensanche y a la construcción de nuevos acueductos públicos con grandes canales, instalaciones para tratar el agua, redes de tubería metálica para distribuirla y grandes redes de alcantarillas subterráneas. Estas obras fueron un buen acicate para estimular los grandes avances que iban a tener los conocimientos de hidráulica en los siguientes decenios del siglo XIX.

Esa época vio también el extraordinario desarrollo de la navegación a vapor, en ríos y mares, y el consiguiente cambio acelerado de los buques de madera a los buques de hierro. El uso del vapor como fuerza motriz y del hierro como material de construcción permitió fabricar barcos mucho más grandes. Fue necesario transformar los astilleros para trabajar con las nuevas tecnologías y en escalas mucho mayores. Así ocurrió especialmente en los puertos ingleses, estadounidenses y franceses que se convirtieron en los mayores centros de la industria naval.

La extraordinaria expansión de la siderurgia implicó la construcción de nuevas plantas, mucho mayores que las conocidas hasta entonces. En pocos años la producción europea de hierro llegó a decuplicarse. Los ingenieros te-

nían que explotar nuevos yacimientos de mineral de hierro, transportarlo a largas distancias, producir el carbón coque, erigir nuevos y más grandes altos hornos y construir nuevas fundiciones y forjas más poderosas.

Al desarrollo del hierro se asoció el del carbón, lo cual obligó a abrir nuevas y mayores minas, muchas de ellas a grandes profundidades, lo que significaba más y mejores posibilidades para los ingenieros de Europa y Estados Unidos. El gran incremento en la coquización del carbón para abastecer las siderúrgicas, dio lugar a la invención de métodos para aprovechar los subproductos químicos de las coquerías, y a la construcción de las instalaciones adecuadas. En esta forma surgió la gran industria química pesada.

El crecimiento de la industria textil en Inglaterra requirió la industrialización y la expansión de la producción de materiales auxiliares como la soda cáustica, y la fabricación de vidrio exigió mayores cantidades de carbonato de sodio. Mientras tanto las industrias, en aumento muy rápido, necesitaban mayores cantidades de ácido sulfúrico y otros reactivos químicos. Esta expansión de la industria química europea fue un nuevo y vasto campo de trabajo para los ingenieros, cuando no se había acuñado el nombre ni se había definido la especialidad académica del ingeniero químico.

En 1830 Thomas Cochrane inventó el taladro neumático de aire comprimido para excavar pozos y túneles, y McCormick inició la revolución mecánica de la agricultura al inventar, en 1831, la cosechadora mecánica.

Un enorme avance en la técnica de máquinas motrices fue el desarrollo de la turbina de agua, gracias al trabajo de B. Fourneyron en Francia, entre 1827 y 1832. De ese modo se logró un mecanismo de conversión de energía con una eficiencia superior al 90% de la energía de entrada, algo nunca visto ni soñado hasta entonces.

El primer tercio del siglo XIX fue muy fértil en desarrollos tecnológicos, mecánicos e industriales, especialmente en Inglaterra y en Estados Unidos. Entre 1823 y 1843 Charles Babbage creó y perfeccionó su famosa máquina de calcular, en la que había trabajado Robert Clement, aprendiz de Bramah, el gran inventor de máquinas herramientas.

Uno de los primeros inventos de Faraday, en 1822, cuando trabajaba con Davy, fueron las aleaciones de acero. Y, como ya dijimos, en 1825 George Stephenson comenzó a desarrollar el transporte férreo como servicio para el público, con un éxito inusitado. Tal vez ello llevó a Jacob Perkins a diseñar la caldera de vapor de alta presión, que patentó en 1827, y a Albert Seguin, en Francia, a desarrollar la caldera multitubular que patentó en 1828.

Capítulo 6

INGENIERIA E INGENIEROS EN COLOMBIA, 1800-1850

COMIENZOS DEL SIGLO XIX

Vimos cómo a principios del siglo XIX la ingeniería era ya un oficio y una profesión establecidos, reconocidos y con fines propios en Europa. En 1825 Augusto Comte escribía:

Es fácil reconocer en el cuerpo científico, tal y como existe ahora, un cierto número de ingenieros, distintos a los hombres de ciencia propiamente dichos. Esta importante clase nació cuando la Teoría y la Práctica, que salieron de puntos distantes, se acercaron lo suficiente para darse la mano (...) El establecimiento de la clase de los ingenieros con sus propias características es de la mayor importancia porque esta clase constituirá, sin duda, el instrumento de coalición directo y necesario entre los hombres de ciencia y los industriales, por medio de los cuales solamente puede empezar un nuevo orden social.

Mientras todo esto sucedía en los países más desarrollados en el aspecto cultural, en Colombia era prácticamente desconocida la ingeniería como significación económica y social. Su conocimiento y oficio eran casi inexistentes, de no ser por las referencias a la ingeniería militar. Sólo unos pocos ingenieros vivían en nuestro país y cumplían funciones que eran de gran importancia para el desarrollo futuro. Los escasos eventos relacionados con la ingeniería en Colombia en estos primeros decenios del siglo XIX fueron la navegación por el río Magdalena, la siderúrgica de Pacho y unas pocas fábricas en Bogotá.

LA PRIMERA NAVEGACION DEL MAGDALENA

El Magdalena se navegaba en champanes desde que Venero de Leyva propició su uso en el río entre 1564 y 1575. Al inventar Fulton el barco de vapor en 1803 se abrió un mundo nuevo para la navegación. Fue así como sus buques comenzaron a recorrer el Hudson y otros ríos del mundo. En 1823 el gobierno de Santander concedió privilegio a Johann Bernhard Elbers para establecer la navegación de vapor por el río Magdalena. Dos años después el "Santander", de 250 toneladas, viajaba desde Barranquilla hasta Peñón de Conejo, y el "Gran Bolívar", de 300 toneladas, se desplazaba hasta Barranca. En 1829 Bolívar revocó el privilegio de Elbers y declaró libre la navegación de vapor por el río, pero el alemán trajo otro vapor, el "Libertador". Se estableció una ruinoso competencia hasta 1833, cuando se restableció el privilegio de Elbers, quien armó y puso a navegar el vapor "Susana", sin éxito económico, y hasta 1839 el río volvió a ser surcado sólo por balsas, canoas y champanes. En ese año un grupo de empresarios ingleses y antioqueños trajo un nuevo barco de vapor de 416 toneladas y 120 caballos de potencia, al mando de un capitán inglés, pero sólo duró hasta 1841 cuando lo hundió una bala en un episodio de la guerra civil de ese año.

Ya el camino del progreso estaba abierto y sería muy importante para el futuro. La navegación por el río Magdalena fue la precursora del uso de la caldera, el motor de vapor, de la lubricación, de las técnicas de alta presión y de la termodinámica aplicada en nuestro medio.

Aun en el atraso económico y técnico de ese momento, la siderúrgica atrajo el interés de capitalistas y técnicos y fue así como apareció la ferrería de Pacho en 1824, fundada por el ingeniero de minas Jacobo Wiesner, sajón. Fue él quien descubrió el hierro de Pacho y montó allí el primer alto horno.

Un poco más tarde, en la década de 1830, se fundaron en Bogotá algunas fábricas como las de tejidos de algodón, vidrio, lojería y papel, cuyo montaje implicó el trabajo de uno que otro ingeniero europeo. Dichas fábricas duraron muy poco tiempo.

ALGUNOS INGENIEROS DE LA EPOCA

En cuanto a los ingenieros, el primero a quien hay que recordar es al coronel Domingo de Esquiaqui, que había venido al virreinato a finales del siglo XVIII y había realizado planos y construcciones en Santafé para las autoridades españolas, como vimos en un capítulo anterior. Otro gran ingeniero español que llegó al vi-

reinato al terminar el siglo anterior, y que aún vivía entre nosotros en el decenio inaugural del siglo XIX, fue don Juan José D'Elhúyar, formado en las mejores escuelas de minas de Europa. También a tareas mineras, habían venido a la Nueva Granada, traídos por el arzobispo-*virrey* Caballero y Góngora, los ingenieros de minas sajones, Jacobo Wiesner, a quien ya mencionamos, y Joaquín Bayer, quien se instaló en Popayán. Ellos permanecieron en nuestra tierra y trabajaron en laboreo de minas en los primeros decenios del siglo XIX.

Don Lino de Pombo O'Donell fue el primer colombiano que tuvo una educación formal como ingeniero. Nació en Cartagena el 7 de enero de 1797 y se distinguió como aventajado discípulo del Sabio Caldas por la época en que éste dirigía el Observatorio Astronómico en los días de la Expedición Botánica, cuando Pombo se sintió especialmente atraído por las matemáticas y la física. Declarada la Independencia, ingresó a los ejércitos patriotas como joven oficial del cuerpo de ingenieros. Apresado por los españoles fue enviado a España donde sus tíos, los O'Donell, altos militares españoles, consiguieron su libertad y lograron que fuera admitido en la Universidad de Alcalá de Henares para estudiar matemáticas y luego en la Escuela de Ingenieros Militares de Zaragoza, donde se graduó como oficial de ingenieros. Posteriormente fue a París y allí perfeccionó sus estudios en la *École des Ponts et Chaussés*, que le dio su diploma en 1830. A su regreso al país enseñó matemáticas en Popayán y en Bogotá, y gracias a sus influencias familiares desempeñó altos puestos en los primeros gobiernos de la República. Después de servir largamente al país y a la ingeniería, falleció en Bogotá el 20 de noviembre de 1862.

En 1825 el gobierno de Santander envió al coronel Joaquín Acosta a hacer estudios técnicos en Francia (1826-1830) y aunque no llegó a graduarse formalmente como ingeniero, sí recibió en París varios cursos, probablemente en la *École d'Arts et Métiers*, de matemáticas, mecánica, química, mineralogía y geología. Al volver al país, además de varios servicios militares y diplomáticos, se dedicó a colaborar en la fundación de algunas pequeñas fábricas, a escribir el primer tratado de geología colombiana y a trazar un nuevo mapa perfeccionado de país. Además colaboró con la Comisión Corográfica.

Gracias a la política del gobierno, que en 1826 concedió ayudas pecuniaras a jóvenes para que fueran al exterior a hacer estudios considerados "útiles", el coronel Acosta continuó sus estudios entre 1845 y 1849. También fueron favorecidos con esta medida José Jerónimo Triana, quien viajó a estudiar ciencias naturales entre 1838 y 1842, y Eustacio Santamaría, quien en los primeros años de la década de 1850 estudió química en Francia y Alemania.

LA MISION BOUSSINGAULT

En 1822, al comenzar sus primeros y difíciles años de gobierno, el general Santander solicitó a Francisco Antonio Zea, embajador de Colombia en Europa, que le pidiera a Cuvier una misión científica para venir a reconocer el país, modernizar su minería, inventariar sus recursos naturales y formar una escuela de minas y un museo en Bogotá.

Como director de la misión fue nombrado Mariano de Rivero, un joven y brillante peruano, metalurgista e ingeniero de minas. Jean Baptiste Boussingault, recién graduado en la École de Mines de Saint Etienne era el mineralogista y químico de la comisión. Los otros miembros fueron Justin Marie Goudot, el médico François Desiré Roulin y Jacques Bourdon. El grupo llegó a fines de ese año y de inmediato recomendó que se fundara en Bogotá un museo y una escuela de minas. El gobierno y el Congreso lo dispusieron así al año siguiente mediante la Ley del 28 de julio de 1823, y en enero de 1824 comenzó a funcionar la institución.

De Rivero trajo e instaló un laboratorio y una biblioteca, construyó el Museo de Historia Natural y sirvió como director nacional de minas. Boussingault enseñó mineralogía y química durante dos años y dedicó otros dos al desarrollo de las minas de Santa Ana (hoy Falan), de Marmato y del Chocó. Roulin enseñó durante seis años fisiología y anatomía comparada. Los proyectos de esa escuela eran académicamente muy ambiciosos. El museo ofreció cursos de mineralogía, geología, química general y aplicada, botánica, matemática, física, astronomía, agricultura, zoología, anatomía, entomología y dibujo. En la escuela se enseñó matemáticas aplicadas a máquinas, física, mineralogía y geología, explotación de minas, química analítica, metalurgia, geometría descriptiva y dibujo.

De especial importancia como ingeniería fue el trabajo de Boussingault en las minas de Santa Ana, en las de Antioquia y en las del Chocó. Enseñó la amalgamación de la plata y del oro, el uso de la pólvora y la geometría subterránea, en 1825 y 1826. Permaneció en Colombia hasta 1832.

Lamentablemente el Museo y la Escuela sólo duraron hasta 1828, al marchar Rivero al Perú, Roulin a Francia y Boussingault a las minas de Marmato. Sin embargo, alcanzaron a dar algunos de los cursos de ingeniería que se habían propuesto, y, cuestión de gran importancia, en ellos se enseñó, por primera vez en Colombia, el sistema métrico decimal.

Pero de esta misión quedaron resultados técnico-científicos importantes, especialmente para el fomento de la minería de socavón, en campos como la geo-

logía estructural, la mineralogía y la química analítica, y prácticos como la amalgamación, el uso de la pólvora, el trazado de túneles y de caminos.

Después de vivir durante diez años en la Nueva Granada, Boussingault regresó a París en 1832. En esa ciudad murió en 1887.

Movidos por distintos intereses, a partir de 1822 vinieron al país ingenieros de minas franceses, alemanes, ingleses y suecos con miras a trabajar en el laboreo de las minas en distintas regiones del país, y especialmente en Antioquia cuyas minas de oro eran las más promisorias de la nueva república.

Don Carlos Segismundo de Greiff, quien había sido oficial del ejército sueco y se había graduado como ingeniero de minas en Upsala, viajó en 1826 a Antioquia, donde trabajó en sus minas y donde vivió hasta su muerte, en 1870, después de prestar muchos y valiosos servicios como ingeniero.

En 1829 llegó Tyrell Moore, ingeniero de minas inglés, formado en la Escuela de Minas de Freiberg en Sajonia. Implantó importantes avances técnicos en las minas de Antioquia y se radicó en esa provincia casi 25 años. Luego se trasladó a Bogotá y allí permaneció el resto de sus años.

En la década de 1830 Alejandro Johnson (inglés), Eduardo Walker (inglés), Pedro Nisser (sueco) y Carlos Degenhardt (alemán) trabajaron activamente buscando minas, desarrollándolas y mejorando sus técnicas. Algunos de ellos regresaron a sus patrias (como Nisser, después de varios años, y Degenhardt), pero otros permanecieron en nuestro país (como De Greiff, Walker y Johnson). En aquellos años vivió también en nuestro país, por poco tiempo, el ingeniero Robert Stephenson (hijo de George Stephenson, inventor de la locomotora), quien trabajó para una compañía inglesa en las minas de plata de Santa Ana (hoy Falan) en el Tolima, y don Enrique Haeusler, alemán, a quien se le deben muchas obras de ingeniería civil en Antioquia.

Por último, mencionemos al coronel Agustín Codazzi. Parece que él tuvo sólo una somera capacitación como ingeniero militar en los cuarteles y escuelas militares que Napoleón estableció brevemente en Italia, pero hoy nadie puede disputarle su condición bien probada de ingeniero eminente. En 1830, al disolverse la Gran Colombia, estaba en Maracaibo levantando el mapa de esa provincia y en Venezuela permaneció hasta 1848, cuando se dirigió a la Nueva Granada a iniciar la Comisión Corográfica.

En 1835 don Domingo Acosta sugirió al gobierno que enviara estudiantes a París a hacer estudios universitarios en matemáticas y en mecánica. Al año siguiente el general Santander hizo la misma propuesta, y en 1837 Lino de Pombo, como secretario del Interior, la reiteró. En esos mismos años el gobernador de Antioquia pidió al gobierno provincial enviar uno o dos jóvenes a

estudiar química a Europa. Aunque los gobiernos, por su pobreza, no pudieron cumplir estas recomendaciones, desde esa época, —alrededor de 1840—, varios jóvenes comenzaron a viajar por su cuenta a Inglaterra, a Estados Unidos y a Francia, con el fin de estudiar materias técnicas. Esto ocurrió también en otros países latinoamericanos, y comenzaron a figurar nombres de jóvenes de estas latitudes en la École des Ponts et Chaussées de París, en el Imperial College de Londres y en Rensselaer Polytechnic Institute, cada vez con mayor frecuencia. En Colombia, don Lino de Pombo y don Mariano Ospina Rodríguez estuvieron entre las personas que más se interesaron en que se enviaran jóvenes al exterior a hacer carreras técnicas o prácticas. Ospina, quien había estudiado en Europa durante su destierro por conspirador, enseñó en Medellín un curso sorprendentemente avanzado de física técnica en la década de 1830.

Como ya vimos, desde 1830 Lino de Pombo abogó sin éxito porque el gobierno fundara una escuela de ingeniería civil, con una sección para ingenieros militares. En 1836 el Congreso aprobó una ley que ordenaba dar instrucción académica a los oficiales del ejército en las universidades de Bogotá, Cartagena y Popayán, pero no tuvo efectos.

Quizá no había entonces ningún otro ingeniero en nuestra patria, salvo dos o tres más que la historia no ha recogido, pero todos ellos habían sembrado en esta tierra la semilla de lo que, con el curso del tiempo, es hoy una vigorosa profesión.

En esta forma es posible apreciar las grandes dificultades que fue necesario vencer en nuestro incipiente país para implantar el ejercicio y el estudio de la ingeniería, gracias a los esfuerzos desplegados entre 1830 y 1850 por personas como don Lino de Pombo, el coronel Joaquín Acosta, el general Mosquera, Agustín Codazzi y los ingenieros inmigrantes europeos que viajaron a Antioquia por aquellos años. Pero esto último constituye, por sí mismo, un nuevo capítulo de la historia de la ingeniería en Colombia.

MECANIZACION DE LA MINERIA DE ORO EN ANTIOQUIA

Por haber sido entregadas las minas de Marmato y Supía a compañías inglesas para responder por empréstitos contratados para subvencionar las guerras de independencia, fueron ellas las más beneficiadas con la presencia de los ingenieros europeos que vinieron a Colombia a partir de 1822, cuando llegó Jean Baptiste Boussingault. Le siguieron Moore, DeGireiff, Degenhardt, Walker, Nisser, Pashke y Johnson, entre otros. En esas minas, las de Marmato y Supía, y en Titiribí, Amalfi, Sonsón y otros pueblos ariferos de la vecina provincia

de Antioquia, estos ingenieros elevaron enormemente el nivel técnico de la minería, especialmente de la de veta. Por varios lustros enseñaron a obreros, capataces e ingenieros terrígenos las numerosas y novedosas técnicas de mineralogía, geología, hidráulica, mecánica aplicada, metalurgia física, metalurgia química, teoría del calor, química mineral y geofísica, que convirtieron la minería de veta, de la tecnología rudimentaria usada desde los aborígenes, en un trabajo de elevados conocimientos, el cual dio lugar a cuantiosas inversiones que configuraron así las primeras empresas capitalistas exitosas que operaron en Colombia. Fueron ellos quienes enseñaron a usar técnicas nuevas como el molino de pisones, la pólvora, el fósforo, la nivelación de canales, la construcción de ruedas hidráulicas, la amalgamación con mercurio, el uso de las barras de acero para rocas, la fundición industrial, la copelación de la planta, la refinación del oro al fuego, la construcción de hornos, la construcción de máquinas, el uso de nuevas herramientas, las prácticas de conservación de maquinaria, el cribado de minerales.

Además realizaron importantes contribuciones a la ingeniería haciendo cartografía, abriendo caminos, construyendo puentes, localizando pueblos, erigiendo edificios y hasta formando empresas de negocios. Algunos volvieron a Europa (Boussingault, Degenhardt, Paschke) pero otros se quedaron en el país (Walker, Nisser durante varios años, Moore, De Greiff, Haeusler) ejerciendo y enseñando ingeniería de obras civiles y de minas, y ciencias como física, metalurgia y mecánica. Sus obras y sus conocimientos se difundieron a través de sus colaboradores, que los propagaron al Chocó, Cauca y Nariño y, andando el tiempo, al Tolima y a Caldas. Además animaron a otros para venir a trabajar en las minas de la Nueva Granada, y formaron en la dura escuela del trabajo en las minas a los primeros ingenieros que hubo en Antioquia, autodidactos de esta especialidad, como Francisco de Paula Muñoz, Joaquín Uribe, Santiago Rodríguez y Mario Escobar.

LA TECNICA EN LAS PRIMERAS INDUSTRIAS NACIONALES

Las primeras fábricas, en sentido moderno, que hubo en el país, surgieron en Bogotá o en sus cercanías.

En 1824 nació la primera: la ferrería de Pacho. Fue un pequeño horno que montó Jacobo Wiesner para producir hierro en el yacimiento de mineral que él mismo había descubierto cerca a la población de Pacho y que habría de sobrevivir hasta fines del siglo XIX, a través de muchas vicisitudes. Su operación en

manos de Wiesner, de los ingenieros franceses que lo sucedieron y de los empresarios colombianos —al final— fue una escuela práctica de metalurgia química ferrosa, de mineralogía y de técnicas de combustión. En esa herrería y en otras que surgirían después (Samacá, La Pradera y Amagá) se aprendió el manejo del alto horno, la minería de carbón, el uso de técnicas de soplado, la fusión del hierro en crisol y el forjado del metal. Cabe recordar cómo a Samacá vinieron los ingenieros ingleses Martín Perry y James Bruce en 1855 a montar la herrería y a iniciar la explotación de las minas de carbón. Ellos construyeron el horno de fundición, una represa para tener fuerza motriz hidráulica y una alta chimenea para calderas. Las minas de carbón que ellos abrieron aún están hoy en explotación. En el mismo año mencionado, los ingenieros ingleses John James, Rafael Forest y Samuel Sayer fundaron la herrería de La Pradera. Estas herrerías habrían de operar durante muchos años en el siglo XIX.

En 1834 comenzó a funcionar la primera fábrica de loza, perteneciente a empresarios bogotanos, que duró hasta principios del siglo XX. Su dotación fue muy rudimentaria: dos hornos *slip*, tres estufas de secado y dos molinos de caballos, mientras que la técnica la proveían cuatro operarios calificados extranjeros, que no eran ingenieros pero que transmitieron a los 61 obreros colombianos conocimientos tecnológicos muy importantes sobre el manejo de altas temperaturas y la preparación y tratamiento de materiales cerámicos.

En 1837 se inició la primera fábrica de vidrio, que debió cerrar a los dos años, y en 1841 se intentó operar otra pero tuvo igual resultado adverso. Estos intentos tuvieron el mérito tecnológico muy importante de haber iniciado el manejo de productos químicos pesados como el carbonato de sodio, el conocimiento de la fusión cerámica, el soplado del vidrio hueco, el dominio de la combustión continua, el empleo térmico del carbón, el uso de materiales refractarios y la medida de altas temperaturas, experiencias que seguramente se aprovecharon en posteriores intentos, durante el mismo siglo, para montar otras fábricas de vidrio.

Don Joaquín Acosta organizó en 1836 la primera fábrica de papel para unos empresarios bogotanos, con un buen edificio, algunos equipos importados y algunas máquinas construidas localmente; tuvo que cerrar en 1839. Dos años después el mismo Acosta y otros empresarios la reabrieron y lograron sostenerla por varios años. No se sabe si este papel era producido en prensas mecánicas o en máquinas continuas como la que inventó en 1789 Louis Robert en Francia, y perfeccionó, en 1809, E. Dickinson en Estados Unidos. Lo evidente es que el proceso de pulpas que requería fue quizá el primero de ingeniería química industrializada que conoció el país, y que seguramente dirigía el coronel Acosta. Fue la primera vez que en el país se usó industrialmente la soda cáustica.

En 1733, cuando en Inglaterra John Kay inventó la lanzadera volante, se propició la invención de los primeros telares mecánicos, obra de Harrocks en 1813. Y en 1802 se inventó en ese mismo país la primera máquina preparadora de hilos de urdimbre para tejidos de algodón. Este debió ser el tipo de máquinas con que en 1836 se instaló en Bogotá la primera fábrica mecanizada de textiles, con 15 telares y máquinas para hilado, movidas por fuerza hidráulica del río San Francisco. Esta empresa perduró hasta cerca de 1850.

PRIMER GOBIERNO DE MOSQUERA

Con acierto anota Frank Safford que antes de la década de 1840 no existía en la Nueva Granada ni la ingeniería como profesión ni la base económica para ella, y que en esa época el país casi no disponía de agrimensores entrenados. No obstante, en 1845 llegó a la presidencia de la República el general Tomás Cipriano de Mosquera e inició uno de los gobiernos más progresistas que hubo en el siglo pasado. Además de una tremenda energía y una voluntad de hierro, Mosquera tenía una convicción, de corte positivista, respecto del virtual poder de la técnica y de la ciencia para mejorar la condición de los pueblos. Desde su posesión emprendió una serie de medidas que, directa o indirectamente, repercutieron positivamente en la ingeniería en nuestro país. Las principales decisiones de Mosquera en este sentido fueron:

- Reactivó la navegación a vapor por el río Magdalena.
- Inició la construcción del ferrocarril de Panamá (1849-1855).
- Adoptó oficialmente el sistema métrico decimal de pesas y medidas.
- Renovó la maquinaria de la Casa de la Moneda en Bogotá.
- Principió la construcción del Capitolio.
- Importó nuevos instrumentos para el Observatorio Astronómico.
- Expidió el primer plan nacional de construcción de caminos en el país.
- Reconstruyó el camino del Quindío, en el tramo de Ibagué a Cartago.
- Contrató en Francia a los químicos Bernard Levy y Giuseppe Eboli con la misión de mejorar los métodos de aleación y ensaye en las casas de moneda de Bogotá y de Popayán y para enseñar esa materia en colegios de ambas ciudades, y también a los naturalistas Eugène Rampon y Aimé Bergeron para enseñar ciencias naturales y matemáticas en Bogotá.
- Contrató en Inglaterra y en Francia a los ingenieros Thomas Reed, Henry Tracy y Antoine Poncet para estudiar y trazar la ruta de Bogotá al río Mag-

dalena; y en Polonia al ingeniero Stanislas Zawadski para estudiar y trazar la ruta de Cali a Buenaventura.

- Reequipó la Imprenta Nacional.
- Inició las gestiones para organizar la Comisión Corográfica.
- Apoyó la inversión de comerciantes cartageneros que contrataron la limpieza del Canal del Dique con el ingeniero norteamericano George M. Totten.

Pero su mayor servicio a la ingeniería fue la fundación del Colegio Militar. La Ley 6 de 1847 dispuso el establecimiento del Colegio, destinado a formar "oficiales científicos" de Estado Mayor, ingenieros militares, artilleros, caballeros, infantes e ingenieros civiles. Para formar a los últimos la ley ordenó que se enseñara aritmética, álgebra, "geometría especulativa y práctica", trigonometría rectilínea y esférica, geometría analítica, secciones cónicas "tratadas analítica y sintéticamente", geometría descriptiva y sus aplicaciones a las sombras, a la perspectiva, al corte de piedras y a la maquinaria; cálculos diferencial e integral, mecánica y maquinaria, cosmografía, arquitectura civil, caminos, puentes y calzadas, dibujo lineal y levantamiento de planos, mapas y cartas geográficas y resolución gráfica de problemas de geometría.

El Colegio Militar inició labores el dos de enero de 1848 bajo la dirección de los generales José María Ortega y Joaquín Barriga, con un buen cuerpo de profesores e instructores. Don Lino de Pombo, quien por mucho tiempo había abogado por la creación de una escuela de ingenieros, fue el profesor de "geometría práctica", trigonometría y geometría descriptiva. En enero de 1849 el coronel Agustín Codazzi presentó al presidente Mosquera un plan para la organización y los estudios del colegio, que se constituyó en la base para el funcionamiento del instituto.

En el nuevo Colegio Militar el profesor Aimé Bergeron, quien vino de París, enseñó cálculo diferencial e integral y astronomía. El coronel Joaquín Acosta enseñó mecánica y maquinaria. El coronel Agustín Codazzi, recién llegado al país, fue profesor de topografía y con sus alumnos trazó el primer mapa de Bogotá que se hizo después de la época colonial. Ramón Guerra Azuola dictaba dibujo lineal y resolución gráfica de problemas geométricos. El coronel Antonio R. de Narváez era profesor de cartografía. El Observatorio Astronómico fue adscrito al Colegio. Aunque don Lino de Pombo nunca fue director de la escuela, fue un permanente impulsador de la misma y quien la convirtió en institución de gran categoría.

En esa primera época el Colegio sólo funcionó hasta 1854 cuando se cerró debido al golpe de estado que dio el general Melo, pero ya había quedado es-

tablecido firmemente en Colombia el precedente de un elevado nivel académico y de una alta exigencia en los estudios de la ingeniería, que con pocas salvedades se mantiene hasta nuestros días. En su corta primera época graduó dos alumnos como ingenieros militares: el teniente coronel José Cornelio Borda y su primo, el capitán Alejandro Sarmiento.

PRIMEROS INGENIEROS COLOMBIANOS

Puede decirse que los primeros ingenieros colombianos fueron los alumnos del Colegio Militar en su curso inicial de 1848. Es del caso consignar sus nombres porque todos ellos desempeñaron posteriormente papeles claves en el país como constructores de caminos, militares, ferrocarrileros, químicos industriales, geodestas, astrónomos, agricultores, cartógrafos, mineralogistas, geólogos, profesores académicos, maquinistas, topógrafos, agrimensores, exploradores, y aun como gobernantes. Ellos fueron: Joaquín B. Barriga, José Cornelio Borda, Ignacio Ortega, Rafael Pombo, Nicolás Caycedo D'Elhúyar, Antonio Dussán Manrique, Juan Nepomuceno González Vásquez, Juan Manuel Ponce de León, Juan Francisco Urrutia, Juan Esteban Zamarra, Alejandro Ortega, Indalecio Liévaro, Manuel H. Peña y Fidel Pombo. Al graduarse la primera promoción, el director del Colegio Militar era el general José María Ortega. Posteriormente el colegio graduó a otros ingenieros eminentes.

Otra realización de gran importancia técnica de ese gobierno fue la de concretar la construcción del ferrocarril de Panamá. George Stephenson había construido la primera línea ferroviaria del mundo (Manchester-Liverpool) en 1830. En 185 el gobierno del general Santander hizo aprobar la primera ley que proyectaba ferrocarriles en Colombia, entre ellos el del istmo, y ese mismo año se contrató con un representante de una compañía norteamericana la construcción de la obra, pero por obstáculos de diverso orden se inició solamente en 1849, auspiciada por Mosquera. Era el primero que se construía en nuestro país y la obra demoró seis años hasta 1855, cuando fue dado al servicio durante la administración de Manuel María Mallarino.

Gracias a estímulos del gobierno de Mosquera, en 1847 se reanudó la navegación por el río Magdalena con dos vapores de 200 toneladas cada uno, con ruedas laterales, mandados por capitanes ingleses; en 1850 una empresa cartagenera navegó otro vapor, el primero con ruedas en la popa, y también en 1850, al declararse la libertad de navegación por el río, se formaron nuevas compañías y se trajeron nuevos barcos, cada vez más grandes y más potentes, y ya

casi totalmente operados por capitanes y maquinistas (o "ingenieros", como se los llamaba) colombianos.

Ya se señalaron los importantísimos efectos tecnológicos que tuvo la navegación a vapor para introducir al país nuevas técnicas y tecnologías.

En 1848 el general Mosquera trazó el plan para traer al país una misión que levantara el mapa geográfico de la Nueva Granada y un mapa de cada una de sus provincias. Decidió llamar al coronel italiano Agustín Codazzi, que por entonces estaba terminando de hacer esa misma clase de trabajo en Venezuela. Codazzi llegó a Cúcuta en enero de 1849 y mientras el Congreso discutía la propuesta de Mosquera, fue nombrado inspector y profesor en el Colegio Militar. En mayo de 1849 se expidió la ley autorizando la Comisión Corográfica y en enero de 1850 se hizo el contrato entre el gobierno y Codazzi, bajo la administración del general José Hilario López.

Eduardo Acevedo Latorre ha escrito de la Comisión Corográfica, con propiedad, que ella fue "el primero y más grande esfuerzo realizado en el siglo pasado para el conocimiento científico del país, y cuyos estudios han sido hasta hoy la base de todas las obras geográficas que conocemos". Es de anotar que todos los integrantes de la Comisión encargados de responsabilidades científicas eran colombianos, salvo los Codazzi. Por lo que significó en la historia de Colombia y por la importancia suma que tuvo, le dedicamos el capítulo siguiente.

Capítulo 7

LA COMISION COROGRAFICA

LA GEOGRAFIA GRANADINA ANTES DE CODAZZI

Los primeros informes sobre la geografía del territorio de lo que es hoy Colombia se tuvieron a través de los escritos de los cronistas españoles que vinieron en las expediciones conquistadoras del siglo XVI. Entre ellos pueden citarse los nombres de Juan Rodríguez Freyle y Pedro Cieza de León, quienes dejaron descripciones de los territorios donde hoy están Cundinamarca y Antioquia, respectivamente.

El primer mapa elaborado con la mejor cartografía de su época, de lo que hoy es Colombia, apareció en Europa en 1635, en la obra del famoso cartógrafo holandés Wilhelm Bleuw titulada *Tonnel des Aerdrycx ofte Nieuwe Atlas* y publicada en Amsterdam, la cual contiene una abundante colección de mapas de distintas partes del mundo. El mapa de nuestro territorio se llama *Terra Firma et Novum Regnum Granatense et Popayan*, y en él puede admirarse una notable coincidencia con el mapa exacto de lo que hoy es nuestro país, desde aquellos días en que muy poco se conocía acerca de la geografía del Nuevo Mundo.

Unos años después, en 1656 en París, Nicolás Sanson de Abbeville (1600-1667), geógrafo y consejero real de Luis XIII, publicó un atlas mundial que denominó *Cartes de Toutes les Parties du Monde*. Una de esas cartas presenta el Nuevo Reyno de Granada y Venezuela, además de otras referentes a las colonias españolas de América.

Durante los primeros años del siglo XVIII floreció en Europa un activo trabajo geográfico y cartográfico referente al Viejo y al Nuevo Mundo. Entre

los muchos participantes en esa actividad se destacó Guillaume Delisle (1675-1726), quien fue maestro de Luis XV y creó un nuevo sistema de geografías y mapas nacionales que rompió con los antiguos métodos de Ptolomeo, que todavía imperaban y que basaban los mapas solamente en las latitudes. Delisle inicia la confección de mapas con meridianos y longitudes basados en el meridiano de París. Por eso, a pesar de que su sistema presenta algunas imperfecciones, constituye sin duda la transición entre la cartografía antigua y la moderna. Delisle elaboró varios mapas sobre América Meridional que aparecieron en París en 1696, 1700 y 1703, y que él perfeccionaba a medida que obtenía nuevas y más precisas informaciones. Uno de estos mapas representa la parte norte de América del Sur, donde nuestro país se ve unido a Venezuela, a los territorios de las Guayanas y al norte del Brasil, con el nombre de Tierra Firme. Delisle señala que su mapa se basa en las descripciones de viajeros y geógrafos españoles como Herrera, Laet, Acuña y Rodríguez.

Parece que el primer mapa de Colombia hecho por nosotros mismos fue el *Plano Geográfico del Virreinato de Santa Fé de Bogotá y Nuevo Reyno de Granada*, ordenado por el progresista visitador don Francisco Moreno y Escandón y elaborado por el dibujante José Aparicio Morato, en el año 1772. Este mapa contiene abundante información sobre las dos costas, nuestros ríos y sus tributarios, las ciudades del virreinato y los principales rasgos del relieve.

Bajo el gobierno de los reyes borbónicos se encargó a algunos militares españoles expertos en geografía, la misión de hacer mapas de diversas partes de América Meridional. Fue así como durante la primera mitad del siglo XVIII se levantaron mapas en donde aparece nuestro territorio actual, y entre ellos deben señalarse por su admirable fidelidad el de don José Fidalgo, el de don Vicente Talledo y el de don Antonio de Churrusca, los tres ingenieros militares del ejército del rey.

En 1777 se publica en Florencia un mapa con el nombre de *Carta dei Paesi Sopra il Mare Meridionale da Panama a Guayaquil*, dibujado por el ingeniero hidrógrafo inglés Thomas Kitchin, y en el cual se muestran con bastante detalle todos los territorios de la Costa Atlántica de nuestro país y del istmo de Panamá, todo el centro de la actual Colombia, el Ecuador de hoy y buena parte de la cuenca amazónica. Es indudable que este mapa fue preparado tomando en cuenta los que ya anteriormente habían sido hechos por holandeses, franceses y españoles, y además recogió mucha información sobre nuestras costas que corsarios y navegantes ingleses debieron haber obtenido en sus incesantes rondas por nuestros mares.

Un nuevo mapa del virreinato de la Nueva Granada fue terminado en 1781 por don Francisco Javier Caro, por orden del arzobispo- virrey don Antonio Caballero y Góngora. El mapa se refiere a todos los territorios del virreinato, incluyendo Venezuela y Ecuador, y fue enviado por Caballero y Góngora al gobierno de España en ese mismo año. Pocos años después, en 1785, en París el geógrafo francés Rigoberto Bonne publica un *Atlas Encyclopédique* con numerosos mapas de todo el mundo, uno de los cuales se refiere a nuestro territorio y aparece con el nombre de *Carte de la Terre Ferme, de la Guayane et du Pays des Amazones*. Es muy verosímil que en la confección de esta carta su autor hubiera tenido en cuenta las observaciones y mediciones hechas por La Condamine con don Jorge Juan, en su expedición por nuestro virreinato en viaje al Ecuador.

Además de los mapas mencionados, obra de europeos, españoles y neogranadinos, la geografía del virreinato comenzaba a describirse sistemáticamente y a divulgarse en libros elaborados por oficiales y misioneros que habían recorrido estas tierras. A fines del siglo XVIII aparecen dos tratados que merecen señalarse especialmente. Uno de ellos fue escrito por don Antonio de Alcedo, ingeniero militar, capitán del ejército español y miembro de la Real Academia de Historia, con el título de *Diccionario jeográfico-histórico de las Indias Occidentales*, y en él se incluyen numerosos datos e informaciones, aunque algunos equivocados, sobre la geografía del Nuevo Reyno de Granada.

Otra obra de este tipo fue la que publicó en Quito el padre jesuita Luis de Velasco, con el nombre de *Historia del Reyno de Quito*. En ese libro hay una amplia descripción del actual territorio del Ecuador y también de lo que allí se designa como provincia de Popayán, y que incluye los territorios actuales de los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca.

En los años finales del siglo XVIII se levantó un completo plano geográfico del río Magdalena en toda su longitud, muy probablemente dirigido y dibujado por el ingeniero militar don Antonio de Arévalo, quien en aquellos años era ingeniero jefe de fortificaciones en Cartagena y quien por lo menos en una ocasión recorrió el río en ambos sentidos, en viaje hacia Santafé. Este mapa fue publicado en 1803 por orden del coronel ingeniero don Manuel Anguiano, comandante de la plaza en el puerto de Cartagena.

El barón Alejandro de Humboldt llegó a Cartagena en los primeros días de 1801, acompañado por otro hombre de ciencia, Aimé Bonpland. Para llegar a Santafé, Humboldt y Bonpland subieron por el Canal del Dique y a lo largo del Magdalena hasta Honda, en los meses de abril, mayo y junio, haciendo numerosas observaciones sobre la geografía, la fauna y la flora de las regiones veci-

nas de su recorrido fluvial, y estableciendo coordenadas geográficas de numerosos puntos en el río. Una vez en Santafé, y valiéndose de sus observaciones y dibujos, Humboldt hizo un cuidadoso mapa del río Magdalena, sus tributarios y sus regiones vecinas, en cuatro hojas. Este mapa, que sin duda fue elaborado en forma posterior e independiente del de don Antonio de Arévalo, es un admirable trabajo de observación geográfica y de técnica cartográfica, tanto más meritorio si se considera que fue preparado con los rudimentarios instrumentos que había en la Colonia en aquellos momentos, y reproducido en una de sus modestas imprentas.

El joven Francisco José de Caldas en sus varios viajes entre Popayán y Santafé había recorrido las regiones que atraviesa el alto Magdalena, particularmente la que va desde San Agustín y La Plata hasta la desembocadura del río Bogotá. Posiblemente inspirado por el mapa de Humboldt y tratando de completarlo, Caldas dibujó hacia 1805 una carta que tituló *Mapa de la parte alta del río Magdalena desde La Jagua hasta Honda*. Aunque su técnica cartográfica es inferior a la de Humboldt, este mapa contiene un completo inventario de los ríos y de las poblaciones vecinas del Magdalena en los actuales departamentos de Huila, Tolima y Cundinamarca.

Después de la declaratoria de independencia, el mismo Caldas inició en 1811 la elaboración de un atlas con el título de *Atlas de una parte de la América Meridional que comprende desde el Istmo de Panamá hasta la Boca del Amazonas y desde la Costa de Maracaibo y Venezuela hasta la orilla austral del Marañón*, y firmado por "Don Francisco José de Caldas Capitán de Ingenieros Cartógrafos del Estado y Director del Observatorio Astronómico". De esta obra de excelente factura cartográfica, Caldas sólo alcanzó a dibujar y editar 19 planchas que abarcan la Costa Atlántica desde el Golfo de Maracaibo hasta el Golfo de Urabá. Las guerras civiles de la Patria Boba y la reconquista de Morillo interrumpieron este ambicioso y magnífico trabajo.

Una vez constituida e independizada la República de Colombia (la Gran Colombia) aparece en Londres el libro atribuido al embajador Francisco Antonio Zea y editado por Baldwin, Gradock and Joy, denominado *Colombia. Being a Geographical, Statistical, Agricultural and Political Account of that Country, Adapted for the General Reader, the Merchant and the Colonist*. Parte esencial de este libro es un gran mapa de la Gran Colombia, rotulado con el título *Colombia tomado de Humboldt y de varias otras autoridades recientes*. Hay alguna posibilidad de que Zea haya sido el autor de este mapa, aunque es más probable que hubiera sido encargado a algún cartógrafo profesional inglés a quien Zea

pudo haber asesorado. De todas maneras éste es el primer mapa que se conoce del territorio de la Colombia actual ya en el período de la República.

Como vimos en el Capítulo 6 en forma más extensa, en 1822 llegó a Bogotá la misión científica y minera que el general Santander había ordenado a Zea que pidiera a Cuvier en París (misión Boussingault). Además de su trabajo científico, los miembros de esta misión contribuyeron no poco al conocimiento de la geografía colombiana. El geólogo y mineralogista Mariano de Rivero recorrió varias comarcas de los actuales departamentos de Boyacá y Santander, y escribió sobre ellas. El médico François Desiré Roulin recorrió esas mismas provincias, así como la de Mariquita, y escribió varias memorias descriptivas. El químico y geólogo Jean Baptiste Boussingault viajó por el Tolima, el Cauca, Antioquia y Santander visitando regiones auríferas, sobre las cuales escribió amplios y cuidadosos informes geográficos y geológicos. Las memorias de viaje de los tres fueron referencia obligada de todos los trabajos y cartas que se hicieron en los años posteriores acerca de nuestra geografía.

En 1827 don José Manuel Restrepo (1781-1863) publicó en París su *Atlas de la historia de la Revolución de la República de Colombia*, que comprendía un mapa general de los departamentos de la Gran Colombia y las doce cartas correspondientes a cada uno de ellos. Se sabe que el mapa general fue proyectado por el matemático y geógrafo José Lanz y continuado por otros geógrafos. Las doce cartas de los departamentos fueron hechas por el señor Restrepo, quien se basó en mapas coloniales y en los informes y cartografías de Talledo, Caldas, Humboldt, Rivero y Boussingault. Cabe recordar que el extenso territorio de la Gran Colombia incluía entonces lo que hoy son las repúblicas de Ecuador, Colombia, Venezuela y Panamá y partes de Nicaragua, Costa Rica, Perú y Brasil. Políticamente la república estaba dividida en 12 departamentos, a saber: Orinoco, Venezuela, Apure, Zulia, Boyacá, Cundinamarca, Magdalena, Istmo (con las tres provincias de Mosquitía, Chiriquí y Panamá), Cauca, Ecuador, Azuay y Guayaquil.

Por aquellos mismos años, entre 1826 y 1829, se publicó en París la monumental obra de Humboldt *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente*, en su versión española. En el tomo III aparece la descripción de las regiones que Humboldt visitó en Venezuela, en nuestra patria y en el Ecuador. Para ilustrarlo, el libro incluye un *Mapa general de Colombia formado según las observaciones e indagaciones astronómicas de Mr. A. de Humboldt*. En este mapa, como en el del señor Restrepo, se hace evidente que se tuvieron en cuenta los antiguos mapas coloniales, las observaciones de Caldas y los informes más recientes de Boussingault, Rivero y Roulin.

Juan Montenegro fue un meritorio geógrafo venezolano que en 1834, en Caracas, publicó un libro poco conocido pero muy valioso: *Geografía General*, dedicado a la historia y la geografía de numerosas repúblicas americanas. Uno de sus capítulos más amplios se dedica a la Nueva Granada, y su tratamiento es tan satisfactorio, en opinión de don Felipe Pérez, que aún a mediados del siglo pasado, cuando empezó la Comisión Corográfica, era la mejor y más completa geografía sobre nuestra República.

Codazzi vivió en Venezuela y trabajó en su levantamiento cartográfico desde cuando ese país se separó de la Gran Colombia. En el año de 1840 viajó a París para presentar ante la academia francesa de ciencia sus trabajos cartográficos y geográficos sobre Venezuela; a esa alta corporación expuso el *Atlas físico y político de la República de Venezuela*, en el cual el mapa décimo representa la República de la Gran Colombia como era antes de su disolución en 1830. Dicho mapa muestra los 12 departamentos que componían la vasta república, así como dos territorios que ella consideraba usurpados por el Brasil (en el río Negro y el río Solimões) y por Inglaterra (la Guayana Esequiba). Para dibujar ese mapa, es probable que Codazzi se hubiera basado en el que ya mencionamos con la obra de Humboldt. Esta carta contiene, por supuesto, toda la extensión de la Nueva Granada, sus ríos, cordilleras y ciudades principales.

El coronel Joaquín Acosta (1800-1852) fue un hombre extraordinario y multifacético que se desempeñó brillantemente como artillero, historiador, gobernante, diplomático, ingeniero, industrial y geólogo. En 1847 publicó en París su obra sobre la *Geología de la Nueva Granada*, y en ella incluyó un amplio *Mapa de la República de la Nueva Granada*, que elaboró con base en el de Humboldt (a quien Acosta dedicó su mapa), en el de Restrepo y en otros, así como en sus propias observaciones de militar y viajero. A su carta del país agregó un plano de Bogotá y sendos planos de los puertos de Sabanilla (hoy Puerto Salgar, en el Atlántico) y Cartagena.

En el mismo momento en que comenzaba la Comisión Corográfica, en 1850, llegó a la Nueva Granada el botánico y geólogo alemán Hermann Karsten, quien visitó extensamente a nuestro país y realizó amplias y valiosas investigaciones sobre geografía, minerales, geología y flora. A su regreso a Europa, Karsten publicó sus resultados en Viena en 1856, incluyendo un mapa geológico del territorio de nuestro país unido a Venezuela, y varios perfiles transversales este-oeste de nuestra orografía.

Con ocasión de las múltiples actividades de su vida, el general Tomás Cipriano de Mosquera (1798-1878) había recorrido todas las regiones de la Nue-

va Granada. En 1852, recién salido de su primera estancia en la Presidencia de la República, Mosquera publicó su *Memoria sobre la geografía física y política de la Nueva Granada*, junto con un *Diccionario geográfico* y un *Mapa de la República*. Mosquera explica que su mapa se basaba en la carta de nuestro país que Codazzi había incluido en el *Atlas de Venezuela*, con correcciones y modificaciones hechas por él mismo. Esa era la carta más reciente de la Nueva Granada que se conocía en los primeros años de la Comisión Corográfica.

En el mismo año de 1852 apareció también el *Resumen de la Geografía histórica, política, estadística y descriptiva de la Nueva Granada*, de don Antonio B. Cuervo, extractada de los manuscritos de su difunto padre, el coronel Miguel Cuervo, quien recorrió toda Colombia durante las guerras de independencia.

A mediados del siglo pasado un geógrafo español, don José María Royo, escribió y publicó su *Nueva geografía universal*, obra que apareció en sucesivas ediciones. Dice don Felipe Pérez que en ese libro enciclopédico se trata en forma somera pero apropiada sobre la geografía de la Nueva Granada.

Además de los trabajos mencionados, de tipo geográfico y cartográfico hechos por científicos o autodidactas muy competentes, gran parte del mediano conocimiento que se tenía sobre la geografía de la Nueva Granada a la venida de Codazzi, provenía de escritos y memorias de científicos y militares extranjeros que anteriormente habían visitado y recorrido lo que hoy es nuestro país. Puede recordarse que durante la primera mitad del siglo XIX lo habían hecho los naturalistas Alejandro de Humboldt y Aimé Bonpland en 1801; el médico francés François Desiré Roulin, de 1822 a 1824; el geólogo peruano Mariano de Rivero, en 1825; el coronel inglés John P. Hamilton, en 1819; el geógrafo francés Gaspar Mollien, en 1823; el químico y geólogo Jean Baptiste Boussingault, de 1822 a 1832; el coronel norteamericano William Duane, en 1820; el cónsul francés Auguste Le Moynes, en 1830; el militar e ingeniero sueco Carlos Segismundo de Greiff, quien llegó en 1826 a Antioquia y allí permaneció el resto de su vida; el geólogo y mineralogista alemán Hermann Karsten, en 1850; y el geógrafo francés Eliseo Reclus, de 1850 a 1854. Además, españoles y neogranadinos habían recorrido las regiones más pobladas del país y habían escrito sobre éste, como lo hicieron, por ejemplo, Mutis, Caldas, Restrepo, Mosquera y Acosta.

Sin embargo, a pesar de este considerable y valioso material cartográfico y documental, la geografía de lo que hoy es Colombia sólo era conocida de manera muy imperfecta. Las grandes distancias, la casi total carencia de caminos adecuados, las vastas selvas, las escarpadas y altísimas cordilleras, los ríos

caudalosos, los climas insalubres, lo despoblado del país y muchas otras grandes dificultades habían impedido, e impedían todavía, un conocimiento apropiado de nuestra geografía. La Amazonia y los Llanos eran, igual que hoy, prácticamente desconocidos y despoblados. Pero además muchos otros territorios eran casi totalmente *terra incógnita*. Así ocurría con el interior de la Costa Atlántica, el Chocó, La Guajira, la Costa Pacífica, todo el Magdalena Medio, el sur de Antioquia desde Sonsón hasta Cartago, y el hoy departamento del Huila. Cabe señalar que en 1851 el país tenía 2.244.000 habitantes, según el censo que se hizo bajo la administración del general José Hilario López.

Las graves limitaciones que esta situación imponía contra el desarrollo del país fueron advertidas por el espíritu inteligente, inquieto y progresista del general Mosquera, desde tempranas épocas. Por esta razón, cuando fue ministro del Interior durante el gobierno de José Ignacio de Márquez, Mosquera llevó al Congreso en 1839, y logró que se aprobara, una ley ordenando el levantamiento del mapa del país y facultando al gobierno para contratar con ese fin los ingenieros que fueran necesarios. Y cuando llegó a la presidencia en 1845, el ilustre general caucano se propuso hacer lo que no habían podido llevar a cabo sus predecesores a causa de la absurda guerra civil de 1840 y de la confusión política que siguió a ese conflicto. Pero a pesar de su dinamismo, el mismo Mosquera sólo pudo ocuparse del tema en los últimos meses de 1847 y los primeros de 1848. Es seguro que, para realizar su cometido, Mosquera recordó a Agustín Codazzi a quien había encontrado por primera vez en 1819, en Cartago, cuando Codazzi regresó de Urabá a través del Chocó. Además, Mosquera estaba bien al tanto de los trabajos cartográficos y corográficos cumplidos por Codazzi en Venezuela desde 1831 hasta ese momento. El hecho es que en febrero de 1848 el gobierno de Mosquera otorgó a Codazzi el grado de teniente coronel de ingenieros de la Nueva Granada, y lo invitó a venir al país para hacer el levantamiento del mapa de la república y como profesor del Colegio Militar, que Mosquera se preparaba a fundar. Por fortuna para el proyecto, por aquellos días el general José Antonio Páez, protector y aliado político de Codazzi, había sido derrocado de la presidencia por una revolución encabezada por el general José Tadeo Monagas, quien usurpó el poder y antipatizaba políticamente con Codazzi. Este resolvió aceptar la invitación del general Mosquera y en noviembre de 1848 salió de Venezuela por el camino de Maracaibo y Riohacha. El 13 de enero del año siguiente Codazzi llegó a Cúcuta, rumbo a Bogotá.

AGUSTIN CODAZZI

Codazzi fue un hombre muy especial. Soldado de las guerras napoleónicas, viajero por toda Europa, medio pirata del Caribe, oficial naval del almirante Brion, comerciante en ocasiones, excelente artista del dibujo, insaciable curioso de nuevas tierras y amigo de causas perdidas, Codazzi fue un prototipo eximio de la Europa del período romántico en que se formó. Por su vida errabunda, por sus luchas por la libertad de pueblos oprimidos, por su nostalgia hacia su país de origen, por su vida militar y por su amor a la libertad, Codazzi recuerda en varias formas a Lord Byron, arquetipo del romántico idealista.

Domenico Battista Agostino Codazzi y Bartolotti nació el 12 de julio de 1793, en la población de Lugo, en la región de la Romaña, políticamente enclavada entonces en los Estados Pontificios, al nordeste de Italia, no lejos del mar Adriático. Entre 1810 y 1812 se formó como oficial subalterno de artillería, al parecer en el cuartel y maestranza que los franceses habían establecido en Pava para formar un ejército patriota italiano. No es muy claro qué tipo de instrucción profesional recibió allí. Pero habida cuenta de su agitada vida posterior, y según el estudio de soberbias obras cartográficas sobre Venezuela y la Nueva Granada, hay que conjeturar que como cadete tuvo una excelente instrucción en las matemáticas de su época, en artillería y balística, en topografía, en dibujo y en geografía. Ascendido a subteniente, combatió con las tropas italianas que acompañaron a Napoleón en sus campañas desafortunadas de 1812 a 1814. Después viajó por Constantinopla, los Balcanes, los Países Bálticos y Holanda. Luego se desplazó a América del Norte, donde, en circunstancias no muy claras, se alistó para servir a sueldo en expediciones por el mar Caribe órdenes del almirante Brion y posteriormente del almirante Luis Aury, quien también ejercía la piratería. Unas veces para servir a los insurgentes de Venezuela y Nueva Granada, otras veces en expediciones de confusos propósitos, a veces en plan de contrabando, en ocasiones bajo bandera colombiana y en otras bajo bandera argentina, Codazzi recorrió el mar Caribe y el Golfo de Méxicco en todas las direcciones. En febrero de 1818, cuando tripulaba un barco fletado por los patriotas venezolanos y neogranadinos, para conseguirles armas y provisiones de contrabando, Codazzi recibió su primer grado militar en el ejército de Colombia, al ser nombrado capitán graduado de artillería. Su habilidad como artillero, navegante y geógrafo le valió en julio el ascenso a capitán efectivo de artillería, y en agosto del año siguiente a sargento mayor graduado de artillería. Es entonces cuando su comandante Luis Aury le entrega un mensaje pan que se lo llevara a Bolívar en Bogotá.

A pocos días de la victoria de Boyacá, Codazzi remonta el río Atrato, desciende por el San Juan hasta Nóvita y llega a Cartago después de atravesar 500 kilómetros de ríos en canoa, y regiones selváticas a pie. Conoce en Cartago al joven capitán Tomás Cipriano de Mosquera, cruza el camino del Quindío y llega a Bogotá donde se presenta a Santander y a Bolívar recientemente instalado en el poder de la nueva república. En 1820 es ascendido a sargento mayor efectivo de artillería y luego a teniente coronel efectivo de artillería. Vuelve al Caribe a continuar su trabajo con Aury al servicio de la incipiente armada de la república. En 1821 regresa a Italia donde permanece cinco años, al cabo de los cuales vuelve a Venezuela y Colombia, en 1826, llamado por su adhesión romántica a la causa de un nuevo país. Al año siguiente presencia en Bogotá el regreso de Bolívar desde el Perú y el encuentro con Santander, y los acompaña en el recorrido de Tocaima a la capital. En ese año es ascendido a primer comandante de artillería y viaja como militar ingeniero a Maracaibo a fortificar el puerto. Dos años después efectúa su primer trabajo cartográfico completo, que consiste en el mapa del Cantón del Zulia.

Al dividirse la Gran Colombia, Codazzi permanece en Venezuela. En 1830 el general Páez, primer presidente de esa república, lo nombra primer jefe del Estado Mayor del Ejército de Venezuela. El Congreso dicta una ley que lo encarga de levantar los planos de toda Venezuela, trazar itinerarios, registrar estadísticas, reconocer territorios y elaborar toda la información corográfica. En medio de la tormentosa vida política de Venezuela, Codazzi mezcla funciones cartográficas y militares y combate para sofocar rebeliones, casi siempre en defensa de su amigo y protector el general Páez. En 1833 es ascendido a comandante de ingenieros y en 1836 a coronel efectivo de ingenieros de Venezuela. En 1834 se casa con doña Aracelly Fernández de la Hoz, de familia cumaneña. Después de luchar en algunas contiendas civiles locales, inicia su extenso recorrido por el Orinoco y otras regiones de Venezuela. Páez lo distingue y lo apoya en varias ocasiones. Para permitirle trabajar en sus mapas, lo nombra como primer rector de la sección de matemáticas de la Escuela Militar de Caracas.

En 1840 viaja a París con su esposa y con Rafael María Baralt y Ramón Díaz, con el fin de publicar sus trabajos geográficos, que reciben el encomio de brillantes hombres de ciencia como Humboldt, Arago, Savary, Beaumont, Boussingault y Berthelot. Allí hace imprimir el *Atlas físico y político de la República de Venezuela* y el *Resumen de la geografía de Venezuela*. El gobierno francés le otorga la Gran Cruz de la Legión de Honor y regresa a su hogar en 1841. Para promover el poblamiento del país funda en los Andes venezolanos la Colonia Tobar, para inmigrantes alemanes. En los años siguientes parti-

cipa en nuevas luchas civiles, siempre en apoyo del partido de Páez, hasta que en 1847 el general de Apure es derrotado, derrocado y desterrado por Monagas, antiguo contendor de Codazzi. Es entonces cuando Codazzi decide aceptar la invitación que el general Mosquera le había hecho en febrero para trabajar en la Nueva Granada en el levantamiento de la carta, con el grado de teniente coronel de ingenieros.

Después de salir por Maracaibo, Aruba y Riohacha y de hacer un alto en Cúcuta, Codazzi llega en febrero de 1849 a Bogotá y se reúne con Mosquera. A la espera de obtener la anhelada ley sobre la Comisión Corográfica, Mosquera nombra a Codazzi como inspector del recién creado Colegio Militar. En este cargo el coronel de ingenieros prepara un plan de estudios para el Colegio, comienza a recopilar informes sobre la geografía del país, inicia sus clases como profesor de agrimensura y cartografía, y con sus primeros alumnos levanta un mapa de Bogotá y sus alrededores. Entre tanto el gobierno había obtenido en mayo de 1849 que el congreso expidiera la ley que autorizaba la organización de la Comisión Corográfica, y facultaba al Ejecutivo para que contratara con Codazzi la realización de aquélla.

El trabajo de Agustín Codazzi en la Comisión Corográfica marca un elevado hito en la historia del desarrollo del país, tanto en el campo geográfico, como en el administrativo, el económico, el cultural y el técnico. El conocimiento amplio y detallado que dio sobre el territorio de la Colombia actual, constituyó el fundamento de gran parte de las labores que se hicieron en el país en las épocas posteriores, y representa uno de los programas de investigación más ambiciosos que se hayan realizado en nuestra patria.

Por otra parte, la labor de Codazzi y sus resultados fueron un factor decisivo para que en Colombia se reconociera la importancia de la ingeniería como elemento indispensable para la vida del país y para su desarrollo. Los esfuerzos que algunos gobernantes lúcidos, como Santander y Mosquera, habían hecho por aclimatar esa profesión y sus conocimientos inherentes, dentro de las actividades nacionales, encontraron su plena culminación con los resultados de la Comisión Corográfica y con el impulso definitivo que ella le dio al ejercicio de la ingeniería.

CONTRATO DE LA COMISION COROGRAFICA

El presidente Mosquera autorizó a su secretario del Interior, don Victoriano de Diego Paredes, para firmar con Codazzi, el 1o. de enero de 1850, el contrato para

levantar la cartografía del país y dibujar sus mapas. En abril se posesiona como presidente el general José Hilario López y procede a refrendar el contrato.

Las cláusulas del contrato eran las siguientes:

Artículo 1o. Agustín Codazzi se compromete a formar una descripción completa de la Nueva Granada y a levantar una carta general de dicha República y un mapa corográfico de cada una de sus provincias, con los correspondientes itinerarios y descripciones particulares, todo, a más tardar, dentro del término de seis años contados desde el día 1o. de enero de 1850.

Artículo 2o. Tanto la descripción como los mapas de que trata el artículo anterior, tendrán la extensión, claridad y exactitud necesarias para que el país pueda ser estudiado y conocido en todas sus relaciones, principalmente en lo tocante a topografía, estadística y riquezas naturales.

Artículo 3o. A fin de que estos trabajos comprendan todos los puntos y materias que contribuyan a darles la mayor regularidad y perfección posibles, se ha estipulado, además, que Codazzi presentará anualmente en la oficina que el Gobierno designe, los planes de las provincias que haya explorado, en los cuales se determinarán y situarán todas las ciudades, villas, parroquias y vecindarios; los caminos y veredas que conducen de un pueblo a otro; las ventas, haciendas y hatos que puedan señalarse, sin causar confusión; los límites de los diversos cantones; las cordilleras, sus principales alturas y ramificaciones, las grandes selvas y su extensión. El curso de los ríos, su navegación y ventajitas. Los afluentes, quebradas y caños; y en fin, cuantos detalles puedan contener los planos, según la escala que se ha señalado para formarlos, y que, por regla general, es de una pulgada para cada legua cuadrada, como se demuestra en la siguiente: Escala de 4 leguas a 6.666 $\frac{1}{3}$ varas.

Artículo 4o. Cada una de las cartas provinciales irá acompañada de un itinerario y descripción general de la respectiva provincia, de los correspondientes itinerarios y descripciones particulares de los cantones en que ella esté dividida. Tanto los itinerarios provinciales, como los cantonales, deberán contener una relación detallada de los caminos, reducidos a jornadas de tropa y a leguas granadinas, con indicación de las horas que se empleen en transitarlos y de los puntos militares que sean propios para la defensa de las provincias y de los cantones; cualidades del terreno e inconvenientes que se presenten a los transeúntes en el paso de los ríos, quebradas, cerros, bosques y pantanos. Las descripciones de las provincias y de sus cantones serán la explicación detallada de todo lo concerniente a la geografía física y política de la respectiva provincia y de sus cantones, con minuciosa expresión de sus límites,

configuración, extensión, ventajas locales, serranías, ríos, etc., y con inclusión de noticias tan cabales como sea posible adquirirlas, acerca de las producciones naturales y manufacturadas de cada localidad, su población y estadística militar; comercio, ganadería, plantas apreciables, terrenos baldíos y su calidad; animales silvestres, minería, climas, estaciones y demás particularidades que sean dignas de anotarse.

Artículo 5o. Luego que se haya terminado la descripción geográfica y estadística y el levantamiento de todas las cartas corográficas, provinciales y cantonales, Codazzi formará y presentará, siempre dentro de los seis años expresados en el artículo 1o., la carta general de la República y la descripción completa o sea el resumen geográfico de que habla el mismo artículo, quedando bien entendido que estas obras y las demás que ya se han mencionado, así como los ejemplares de todas y cada una de dichas cartas que Codazzi deberá presentar también al Gobierno en la escala más conveniente para grabarlas en forma de Atlas, serán absolutamente semejantes, ya que no superiores, a las de igual clase que él ejecutó en Venezuela; y para que no ocurra dificultad ni disputa sobre este punto, Codazzi ha depositado en la Secretaría de Relaciones Exteriores las muestras que constan en el respectivo inventario.

Artículo 6o. Cuanto se ha estipulado en esta contrata con referencia al levantamiento de cartas corográficas y a la formación de los itinerarios y descripción geográfica y estadística de las provincias y de sus cantones, se entenderá asimismo respecto de los Territorios y de sus corregimientos.

Artículo 7o. Serán de cargo de Codazzi todos los gastos de guías, peones, bagaje, embarcaciones y cualesquiera otros que sean necesarios para sus viajes, residencias y operaciones, pero para hacer frente a tales gastos y remunerarle su trabajo, el Gobierno abonará a Codazzi por todo el tiempo de la duración de este contrato, treinta y tres mil doscientos dieciséis reales (33.216 rs) anuales, que se le pagarán con anticipación al principio de cada año.

Artículo 8o. El Gobierno proporcionará a Codazzi un ayudante para escribir los mapas, poner en limpio los cálculos, descripciones, itinerarios, y cumplir los demás encargos que él le encomiende o sean propios de esta comisión.

Artículo 9o. El Gobierno franqueará también a Codazzi un sextante, un horizonte artificial, dos barómetros, dos cronómetros, un teodolito, un nivel de anteojo, dos termómetros, una aguja pequeña, un nivel pequeño, y un higrómetro. Si alguno de estos instrumentos se inutilizare con el trabajo, se le repondrá con otro en buen estado de servicio, pero él los devolverá todos inmediatamente que termine sus operaciones.

Artículo 10o. El Gobierno pondrá a disposición de Codazzi los censos de población y los demás datos estadísticos que se hayan reunido o en lo sucesivo se reúnan en las Secretarías del Estado, y ordenará a las autoridades locales que le procuren cuantas noticias exija y puedan adquirirse, y que le den toda la protección, auxilios y facilidades que necesite y sean conducentes al mejor desempeño de su comisión.

Artículo 11o. Además de lo convenido en el artículo 8o., se ha estipulado que si los créditos que se abran anualmente al Poder Ejecutivo para dar cumplimiento a este contrato, alcanzaren para asignar una módica pensión y pagar los gastos de alguno o algunos jóvenes granadinos que hayan hecho un curso de filosofía y quieran acompañar y ayudar a Codazzi en calidad de adjuntos, éste quedara obligado a enseñar el uso de los instrumentos y a instruir en las operaciones de su cargo, a los jóvenes que el Gobierno designe al efecto.

Artículo 12o. Este contrato, y el adicional que le está anexo, se consideran perfeccionados desde que hayan sido aprobados por el Poder Ejecutivo; pero los gastos que son consiguientes no se computarán sino desde el 1o. de enero del año entrante.

El propósito de Codazzi era levantar un atlas con 52 mapas referentes a las 36 provincias que componían entonces la Nueva Granada, así como mapas geológicos “para los tres períodos geológicos” (los períodos primario, secundario y terciario en que se dividían las eras geológicas en aquel tiempo), más dos cartas hidrográficas —una de ellas para épocas geológicas remotas y otra actualizada— y mapas históricos, agrológicos, orográficos y otros. La Comisión se proponía recoger información sobre climatología, lluvias, agricultura, industrias nacionales, comercio extranjero, maderas y otros productos naturales importantes en las manufacturas, la fauna según climas, mineralogía, etcétera.

AYUDANTES DE CODAZZI

En cumplimiento de una de las cláusulas del contrato, el gobierno nombró a Manuel Ancízar como secretario del jefe de la Comisión, y “para redactar una obra describiendo la expedición geográfica en sus marchas y aventuras, las costumbres, las razas en que se divide la población, los monumentos antiguos y curiosidades naturales en todas las circunstancias dignas de mencionarse”. Ancízar había nacido en Fontibón en 1812 y había adquirido alguna cultura en Europa. Acompañó a Codazzi en sus dos primeras expediciones, en 1850 y 1851 respectivamente, en las cuales recorrieron los actuales departamentos de

Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander. En cumplimiento del encargo que recibiera escribió su conocido libro *Peregrinación de Alpha por las Provincias del Norte de la Nueva Granada, en 1850 y 1851*, que fue publicado en 1853. Ancizar dejó pronto la Comisión para servir como diplomático en la Argentina y otros países, y murió en Bogotá en 1882.

Para la segunda expedición, realizada en 1851, fue nombrado el bien reputado pintor venezolano Carmelo Fernández como dibujante de costumbres, paisajes y mapas. En su patria, Fernández había trabajado con Codazzi en el levantamiento y el dibujo de los mapas y el atlas de Venezuela. En sus viajes por Europa había perfeccionado notablemente sus técnicas como pintor. Fue el propio Codazzi quien lo llamó a trabajar a la Nueva Granada en la Comisión. En este cargo el pintor venezolano acompañó la segunda excursión, que recorrió las provincias de Tunja, Tundama, Ocaña, Socorro, Soto y Vélez. Como artista fue el mejor pintor de la Comisión, en la cual deplorablemente sólo duró un año debido a trastornos de salud que lo aquejaron en las tierras inhóspitas del río Magdalena.

A mediados de 1850, después del primer viaje, fue nombrado José Jerónimo Triana, el más notable botánico granadino de entonces, para realizar los estudios de la flora. Sirvió en la Comisión por cerca de siete años, hasta fines de 1856. En los varios viajes en que participó, Triana estudió y recolectó más de 4.000 especies botánicas, arriesgando a veces su vida para obtener un ejemplar raro en un sitio peligroso o para probar personalmente sus cualidades alimenticias o medicinales. Pocos años después de separarse de Codazzi, Triana viajó a Europa y allí publicó algunos de sus trabajos, entre 1864 y 1867, suscitando admiración de científicos de Francia y otros países. Luego, durante varios años, estudió en Madrid los materiales de la Expedición Botánica que aún estaban empacados. Este notable científico murió en París en 1890.

Al retirarse Ancizar, el gobierno nombró como secretario y cronista de la Comisión a Santiago Pérez Triana, naturalista destacado, que viajó con Codazzi en la expedición de 1852 y casi en todas las posteriores, incluyendo la que recorrió el Tolima y el Caquetá en 1857. Pérez hizo una valiosa labor de redacción de documentos y recopilación de materiales, pero hubo de retirarse (como todos sus compañeros) vencido por la rudeza de la experiencia de los viajes, la cual sólo Codazzi soportaba infatigablemente. Don Santiago Pérez fue posteriormente presidente del país y murió en Bogotá en 1900.

Cuando Fernández tuvo que abandonar la Comisión, se designó al paisajista inglés Enrique Price como dibujante y cartógrafo de la expedición. Acompañó la excursión de 1852 por los actuales departamentos de Tolima, Antioquia

y Caldas. El general José María Vergara y Vergara afirma en su obra sobre la Comisión, que Price hizo en su único viaje 300 acuarelas de costumbres y paisajes, lo que indica una fecundidad asombrosa. Pero Price también enfermó en las tierras malsanas del Magdalena y hubo de dejar su cargo para radicarse en Estados Unidos. Murió en Brooklyn en 1863.

Manuel María Paz nació en el hoy departamento de Nariño, entonces provincia de Pasto. Reemplazó a Price como dibujante y cartógrafo de la Comisión, a la cual se incorporó a fines de 1852 para acompañar a Codazzi hasta cuando éste murió, en 1859, luego de lo cual se disolvió la empresa. Según Vergara y Vergara, Paz dibujó más de 2.000 láminas de costumbres, paisajes y mapas, entre los cuales figuraron 32 magníficos dibujos de los monumentos agustinianos. Paz fue uno de los más persistentes acompañantes y fieles amigos de Codazzi. Posteriormente fue profesor en la primera Escuela de Bellas Artes de Bogotá, donde murió en 1902.

Manuel Ponce de León fue colaborador eminente de Codazzi en la Comisión Corográfica, y después continuó sus trabajos y publicó sus resultados. Nació en Bogotá el 10. de enero de 1829, y a comienzos de 1848 ingresó al Colegio Militar, con la primera promoción de alumnos que tuvo este instituto. Allí fue discípulo de topografía y agrimensura de Codazzi, y con otros compañeros le ayudó a levantar el mapa de Bogotá y sus alrededores en 1849. En mayo de 1852, a los 23 años de edad, se graduó como ingeniero civil. Codazzi lo llevó a la Comisión en 1855 y 1856 como auxiliar para sus trabajos de geodesia, topografía y cartografía. Después de morir Codazzi, Ponce de León propuso al gobierno de Ospina Rodríguez que se reunieran y se publicaran los informes y los mapas de la Comisión Corográfica. La propuesta condujo dos años después a que el gobierno de Mosquera contratara con Ponce de León esa labor, con la ayuda de Manuel María Paz. Por varios años Ponce de León se ocupó de este trabajo, hasta entregar en 1865 una primera carta del país y en 1889 el *Atlas geográfico*. Posteriormente fue uno de los fundadores de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, que presidió de 1890 a 1893. Después de una fecunda vida como ingeniero constructor de caminos y obras públicas, Ponce murió en Bogotá el 18 de enero de 1899.

Ramón Guerra Azuola nació en Tocaima en 1826. Se graduó primero en derecho y estudió luego ingeniería en el Colegio Militar, donde fue alumno de Codazzi. Por sus grandes habilidades como agrimensor y cartógrafo, el jefe de la Comisión lo llevó a servir en ella entre 1855 y 1857. En esa labor levantó planos y mapas, redactó informes y memorias, e hizo medidas y cálculos. Años después escribió un breve libro titulado *Personal de la Comisión Corográfica*.

Después de una vida activa como militar, constructor y profesor, Guerra Azuola murió en Bogotá en 1903. Dice Alfredo Bateman que "la mayor parte de los planos y mapas de la Comisión fueron dibujados por Guerra".

Otro de los jóvenes ingenieros que trabajó con Codazzi fue Indalecio Liévano. Nació en el Carmen de Apicalá (Tolima) en mayo de 1834, y a los 15 años entró con la primera promoción al Colegio Militar, donde fue también discípulo de Codazzi en topografía y cartografía. Colaboró con su profesor acompañándolo en la sexta expedición de la Comisión, que recorrió las hoyas de los ríos Bogotá y Sumapaz. Después de una vida llena de realizaciones profesionales, Liévano murió en Bogotá en noviembre de 1913.

Domingo Codazzi, hijo mayor del coronel, nació en Valencia (Venezuela) en 1835 y viajó con el resto de la familia a Bogotá, en 1849. Cuando su padre inició los viajes de la Comisión, al año siguiente, Domingo tenía 15 años de edad, pero ello no le impidió servir como ayudante y compañía de su padre durante cerca de cuatro años en esas expediciones. Posteriormente Domingo Codazzi y su hermano Lorenzo se hicieron ingenieros en el Colegio Militar y vivieron el resto de sus días en Colombia.

VIAJES DE LA COMISION

La primera excursión de la Comisión Corográfica partió de Bogotá el 3 de enero de 1850. Codazzi iba acompañado por su hijo Domingo y por Manuel Ancizar. El grupo se dirigió al norte, a través del valle de Ubaté, hacia la laguna de Fúquene. Luego siguió a Chiquinquirá, bajó hacia el valle del Magdalena, y después se devolvió hacia El Socorro, a donde llegó el 3 de febrero. Continuó recorriendo la provincia de Soto por Simacota, Zapatoca, la boca del río Sogamoso y Bucaramanga. En abril la Comisión estaba en Tamalameque y de allí marchó a Ocaña, a Cúcuta, a la Villa de Rosario, a Pamplona y a la Cordillera Oriental hasta sus vertientes en los Llanos. En este variado y extenso recorrido, la Comisión levanta mapas, escribe memorias, fija coordenadas y reconoce todos los ríos, tanto los que van al Magdalena, al occidente, como los que se dirigen al oriente hacia el Lago de Maracaibo y la hoya del Orinoco. En agosto retornan a Bogotá donde Codazzi inició luego sus clases en el Colegio Militar.

La segunda excursión comienza también en enero, esta vez de 1851. Van Codazzi, su hijo Domingo, Manuel Ancizar, José Jerónimo Triana y Carmelo Fernández. Visitan las cabeceras del río Bogotá y se dirigen luego a la laguna de Tota, para reconocer posteriormente las provincias de Tunja y Tundama, sin

excluir las regiones de ambas que descienden al valle del Magdalena. Siguen al nevado del Cocuy, que Codazzi explora y mide cuidadosamente, igual que toda la región aledaña. A su regreso a Bogotá exploran las minas de esmeraldas en Muzo, Somondoco y Coscuez, y en junio llegan a la capital.

Estos dos primeros viajes son los que admirablemente describe Manuel Ancízar en su *Peregrinación de Alpha*. Fueron de los menos difíciles y de los más fecundos en reconocimiento geográfico, producción de mapas y recolección de flora. Con buena razón, el secretario de Estado del gobierno de López manifiesta al Congreso a mediados de 1851 que ya se habían recorrido extensamente las provincias de Ocaña, Pamplona, Socorro, Santander, Soto, Tunja, Tundama y Vélez. En septiembre Codazzi rinde su primer informe y presenta los mapas de estas ocho provincias. Lamentablemente estos mapas aún hoy permanecen inéditos.

En enero de 1852 parte la tercera expedición de Bogotá. Acompañan al coronel Codazzi su hijo Domingo, José Jerónimo Triana, Enrique Price y Santiago Pérez Triana. Van a Espinal e Ibagué y ascienden a los nevados de la Cordillera Central: el Ruiz, el Cisne, el Santa Isabel y el Tolima. A través de la montaña llegan en abril a Rionegro, en la provincia de Córdoba (hoy en el departamento de Antioquia) y allí Codazzi estudia una posible vía al río Magdalena. Luego se dirigen a Medellín donde la Comisión reconoce el río Porce y la meseta del norte de la provincia de Medellín (hoy norte de Antioquia). Codazzi conoció allí a don Carlos S. de Greiff (1793-1870), ingeniero sueco radicado en esta provincia, la cual conocía detalladamente por su espíritu estudioso y por sus trabajos como ingeniero de minas. De Greiff suministró a Codazzi numerosos planos e informes sobre las tres provincias de Antioquia, Medellín y Córdoba. En mayo marchan a Santafé de Antioquia, donde Codazzi estudia la posibilidad de hacer navegable un trayecto del río Cauca. En Urrao examina la ruta para un posible camino al Chocó. En junio parte de Santafé de Antioquia, sube por las orillas del Cauca hasta Supía, Anserma y Cartago, de donde regresa a Ibagué para explorar detalladamente todo el centro del Tolima. En septiembre la Comisión vuelve a Bogotá.

Durante el tercer viaje de la Comisión, en marzo de 1852, como reconocimiento a la magnitud de la obra de Codazzi, el gobierno del general López lo ascendió a coronel de ingenieros.

La cuarta expedición fue sin duda la más extensa y la que produjo más material de informes, planos, dibujos y flora. La constituyeron Codazzi y su hijo Domingo, José Jerónimo Triana, Santiago Pérez y Manuel María Paz. El grupo partió en enero de 1853 a Honda. Bajó por el Magdalena hasta Barran-

quilla y en este trayecto Codazzi completó el dibujo de la parte baja del río, complementando así el anterior trabajo de Humboldt. De Barranquilla, en una pequeña embarcación de vela, navegó hasta Turbo en el Golfo de Urabá, a donde llegó el 10. de febrero. En pequeñas embarcaciones remontaron el río Atrato, y la Comisión exploró sus tributarios Napipí, Truandó y Juradó, con la idea de proyectar un posible canal interoceánico. Con este mismo trayecto en mente, Codazzi y sus acompañantes tramontan la cordillera del Baudó y bajan por el río de este nombre hasta la Costa Pacífica. Después navegan siguiendo la costa hacia Buenaventura, la isla de Gorgona, Tumaco y las bocas del Patía. Siguen por tierra explorando el valle del Patía hasta Barbacoas y ascienden la cordillera hacia Túquerres, Ipiales y Pasto, a donde llegan en julio. De allí, continúan a Popayán, suben al Puracé y al cerro de Guabas en la Cordillera Occidental, y luego van a Palmira. En agosto regresan a la capital de la República por la vía de Cartago, Quindío e Ibagué.

A fines de 1853 el gobierno tuvo la ingrata sorpresa de saber que las marinas de Estados Unidos, Inglaterra y Francia habían enviado comisiones a estudiar nuevamente, en el Chocó y Panamá, las posibilidades de un canal. Por su preparación como militar y como geógrafo, Codazzi fue comisionado de inmediato por el gobierno para unirse a esas comisiones navales y supervisar sus labores, en guarda de nuestra soberanía. En enero de 1854, viajando a lo largo del Magdalena y del Canal del Dique, llegó a Cartagena acompañado por Manuel María Paz, José Jerónimo Triana y Santiago Pérez. Era la quinta expedición. En un barco británico Codazzi fue al Chocó a estudiar con los ingleses la ruta de la bahía de Caledonia en el Atlántico, a través del río Chucunaque, al golfo de San Miguel en el Pacífico. Ni Codazzi ni las comisiones extranjeras pueden recorrer la ruta y aquél informa al gobierno que esa vía es inadecuada para un canal, debido a la altura de la cordillera del Darién y al curso torrentoso del Chucunaque. Luego Codazzi explora y descarta otras dos rutas: la de bahía San Blas-río Chepo, y la de bahía Chiriquí-Océano Pacífico. Después de grandes penalidades logra demostrar a los extranjeros las dificultades de estas rutas. Pero Codazzi pasó luego a Panamá y reconoció la ruta Colón-río Chagres-Panamá, la cual conceptuó como la única posible y conveniente. Posteriormente, hacia 1880, esta ruta fue adoptada con el nombre de ruta Reclús-Wysse-Sosa, y por ella se construyó finalmente el canal.

En Panamá, Codazzi dibuja el mapa de ese estado y encuentra a su viejo amigo el general Mosquera, quien regresaba de Estados Unidos. En junio Codazzi vuelve a Cartagena donde es nombrado jefe de Estado Mayor del Ejército que Mosquera organiza para encabezar la resistencia nacional contra el general

José María Melo, quien había depuesto al presidente Obando dos meses antes. Con su acostumbrada eficacia Codazzi organiza y pone en marcha el llamado ejército del norte; sube a Honda y fortifica esta ciudad. Luego participa en la campaña y en los combates de Bosa y Petaqueros que permiten recapturar la capital. En premio a sus servicios, en diciembre del mismo año Codazzi es ascendido a general graduado.

Entre septiembre de 1854 y mayo del año siguiente Codazzi trabaja en Bogotá en varios frentes:

1. Completa sus informes y sus mapas de los primeros viajes.
2. Redacta la relación de su viaje a Panamá y los resultados de los estudios para el canal.
3. Supervisa la impresión de la *Geografía provincial cantonal de las provincias de Socorro, Tundama, Tunja y Vélez*, que fue el único de sus informes que se imprimió en vida del autor.
4. Traza los mapas de Panamá y del Chocó, con miras a nuevos estudios canaleros.
5. Renegocia el contrato con el nuevo gobierno de Manuel María Mallarino con el fin de obtener un aplazamiento en los términos y mejores condiciones para su difícil trabajo.

La sexta excursión, en 1855, fue corta. Iban Codazzi, Manuel María Paz e Indalecio Liévano. Se dedican al levantamiento del mapa de la hoya del río Bogotá, del Salto de Tequendama hacia abajo. De Girardot suben por el río Sumapaz estudiando su cuenca hasta la región de Pandí. Codazzi regresa a Bogotá en abril, a asumir las funciones como jefe de Estado Mayor del Ejército, cargo que Mosquera le había confiado en el año anterior y que seguía desempeñando.

En su séptima expedición Codazzi lleva a Santiago Pérez, José Jerónimo Triana, Manuel María Paz y Ramón Guerra Azuola. Suben a la cordillera al oriente de Bogotá y luego bajan a Villavicencio. Descienden por el río Meta y luego atraviesan las vastas llanuras de San Martín y Casanare hasta llegar a los ríos Arauca y Sarare. Regresan por la vía del Llano cerca a las faldas de la cordillera, reconociendo los numerosos ríos que la atraviesan y después de atravesar las poblaciones de Tame, Labranzagrande, Medina, Gachalá y el cañón del río Guavio, llegan a la sabana de Bogotá en marzo, donde Codazzi se dedica a redactar sus informes.

Cabe recordar que políticamente la Nueva Granada se componía de 32 provincias y dos territorios. Las provincias eran las de Túquerres, Pasto, Barbaocoas,

Popayán, Buenaventura, Cauca, Chocó, Antioquia, Córdoba, Medellín, Neiva, Mariquita, Tequendama, Bogotá, Cundinamarca, Zipaquirá, Tunja, Casanare, Tundama, Socorro, Vélez, García Rovira, Pamplona, Soto, Santander, Ocaña, Mompós, Cartagena, Sabanilla, Santa Marta, Valledupar y Riohacha. Los territorios eran los de San Martín y Caquetá. La Comisión Corográfica ya había explorado 25 de las provincias y uno de los territorios, pero Codazzi comenzaba a sentirse ansioso por terminar su trabajo, entre otras razones porque los nuevos gobernantes empezaban a mirar con desinterés sus abrumadores esfuerzos.

En diciembre de 1856 Codazzi parte en su octava expedición, hacia el sur, acompañado sólo por Santiago Pérez y Manuel María Paz. Recorrió el sur del Tolima y todo el Huila actuales. Tramontó la Cordillera Oriental y llegó al río Caquetá cuyas aguas navegó en buen trecho, así como las de otros ríos de su misma cuenca. A través de la selva pasó al río Putumayo, visitó a Mocoa y fue a las cabeceras del Putumayo y al valle de Sibundoy. Luego subió hasta la estrella fluvial del Macizo Colombiano y reconoció las cabeceras del río Magdalena. Bajando por su cauce llegó a Timaná en abril y luego, durante un mes, visitó a San Agustín y sus monumentos arqueológicos. De esta región hizo un magnífico plano. En mayo regresa por el norte, recorre la llanura que se extiende entre la cordillera Central y el Magdalena para llegar a Ibagué y Girardot. En junio entra a Bogotá.

Ocupaba la presidencia Mariano Ospina Rodríguez, cuya mente miope y espíritu fenicio no le permitían entender la importancia de la obra de Codazzi. Además, en su sectarismo político, Ospina desconfiaba de Codazzi por su amistad con los anteriores presidentes López y Mosquera. Por tanto, la administración y sus funcionarios tratan de desacreditar y minimizar el trabajo de la Comisión, así como de hostilizarla y de desviar su labor a trabajos menores. El gobierno le exige que se ocupe del trazado de un camino desde Facatativá a Beltrán en el río Magdalena. A pesar de su poco entusiasmo por esta obra menor, Codazzi parte a hacerlo en su novena expedición, en enero de 1858, con la ayuda de sus hijos Lorenzo y Domingo (estudiantes de ingeniería), Manuel Ponce de León y su fiel dibujante y compañero Manuel María Paz. Este trabajo fue realizado en cinco meses, al cabo de los cuales Codazzi entrega el informe del trazado, junto con los mapas de todas las provincias, y sólo quedan pendientes los de la Costa Atlántica.

El gobierno de Ospina se niega a reconocer los honorarios del general pero le exige ampliar sus trabajos y sus informes. En este momento la división política del país era ya por estados y no por provincias, y a Codazzi le faltaban por estudiar los estados de Bolívar y del Magdalena. A pesar de su edad avan-

zada, y sin ningún auxilio del gobierno, realizó el viaje de reconocimiento a través de esos territorios de la Costa Atlántica. Salió en diciembre de 1858 en esta décima y última expedición, hacia Honda, sin más acompañante que su dibujante Manuel María Paz. Bajó por el Magdalena hasta la boca del río Cesar. Exploró las ciénagas de Simití, Zapatosa y Chimichagua. Remontó el Cesar y llegó a Valledupar. Luego se dirigió hacia la serranía de Perijá, en el límite con Venezuela, y en febrero de 1859 arribó al caserío de Espíritu Santo, al pie de la serranía. En la hacienda llamada Pueblito, próxima a dicho caserío, Codazzi se detuvo para reposar de sus fatigas. Pero la edad, el cansancio y la malaria pudieron más que su fortaleza y allí murió el 12 de febrero. El caserío Espíritu Santo lleva hoy el nombre del ilustre visitante que allí terminó la comisión.

Su dibujante Paz y su peón de estribo Carrasquel le dieron sepultura allí mismo. Sus restos, viajeros como su dueño, fueron exhumados años después y traídos a Bogotá en donde su hija Aracelly Codazzi los encontró fortuitamente. Al cabo de varios años fueron reclamados desde Venezuela por su esposa Aracelly Fernández de Codazzi y hoy reposan en la catedral de Valencia de ese país.

Los seis años en que Codazzi se propuso recorrer la Nueva Granada y levantar toda su cartografía resultaron insuficientes para ejecutar tan formidable trabajo, debido a lo dilatado y difícil del territorio, a los trastornos políticos y militares y a las dificultades administrativas y financieras con los últimos gobiernos. El gran ingeniero y militar italiano tardó diez años en la labor que, ya casi al final, se interrumpió por su muerte.

DESPUES DE CODAZZI

Después de que Codazzi falleció, el gobierno remitió los voluminosos paquetes de informes, mapas, dibujos y herbarios hechos por la Comisión, para que se guardaran en el Archivo Nacional, en el Observatorio Astronómico y en otras dependencias. En el mismo año de 1859 el gobierno de Ospina, a pesar de su trato descomedido hacia el general y geógrafo, se dio cuenta de la necesidad de aprovechar su inmenso trabajo. Con ese fin, el ministro de Gobierno, Miguel Antonio Sanclemente, llamó al ingeniero Manuel Ponce de León para convenir con él la edición y publicación de los abundantes informes y mapas que dejó la Comisión Corográfica, e intentó que el ingeniero Indalecio Liévano terminara el reconocimiento corográfico de los estados de Magdalena y Bolívar. Pero ni lo uno ni lo otro pudo hacerse debido, entre otras razones, al estallido de la

guerra civil que el general Mosquera, ahora presidente del estado del Cauca, declaró al gobierno central.

Después de terminada la guerra civil, y una vez consolidado firmemente en el poder, el Gran General llamó nuevamente al ingeniero Ponce de León y al dibujante Paz y contrató con ellos, en octubre de 1861, la tarea de redactar y publicar los informes de la Comisión Corográfica, así como la carta general de la república y las de los nueve estados de la unión. Igualmente Mosquera encargó a don Felipe Pérez para confeccionar un texto de geografía sobre el país. Los contratos correspondientes fueron firmados por el doctor Tomás Cuenca, ministro de Estado, por Ponce de León y Paz, uno de ellos, y por Pérez el otro.

El extenso trabajo de recopilación, estudio y edición ocupó a Ponce de León y a Paz por mucho tiempo. Ellos requirieron cuatro años para entregar un primer resultado concreto de su tarea, que consistió en la *Carta geográfica de los Estados Unidos de Colombia, antigua Nueva Granada. Construida de orden del Gobierno Jeneral con arreglo a los trabajos corográficos del Jeneral Agustín Codazzi y a otros documentos oficiales*. Este hermoso mapa mural aparece firmado por el ingeniero Ponce de León y por Manuel María Paz en Bogotá en 1864. En él se explica que fue publicado durante la administración del doctor Manuel Murillo Toro y bajo la inspección del Gran General Tomás Cipriano de Mosquera. Sus grandes dimensiones (1.69 m de ancho por 1.55 m de alto), la abundancia de detalles cartográficos y la alta calidad editorial requerida por el general Mosquera —siempre entusiasmado por la geografía colombiana— hicieron que este mapa se imprimiera en París y se convirtiera pronto en un verdadero clásico de la cartografía colombiana.

En cuanto a don Felipe Pérez, pudo terminar más pronto su encargo. Para realizarlo contó con todos los trabajos de la Comisión y con el libro escrito por don José María Samper, publicado en 1857, *Ensayo aproximado sobre la geografía política y estadística de los Estados que componían la Confederación Granadina*. En ese libro el señor Samper reprodujo el mapa de la república hecho por el coronel Acosta en 1847, y lo adaptó a la nueva división territorial de su momento.

LA OBRA DE CODAZZI

Entre sus múltiples habilidades, el ingeniero y militar italiano tenía la de ser un buen cronista, aun en lengua castellana. (Codazzi hablaba y escribía castellano y francés tan bien como su lengua nativa italiana). Además de sus *Memorias*,

que fueron escritas en Italia, y de su abundante literatura sobre la geografía de Venezuela, deben citarse, como trabajos publicados por Codazzi en la Nueva Granada, los siguientes:

- *Apuntaciones sobre inmigración y colonización*, 1850.
- *Jeografía física i política de la provincia de Ocaña*, 1850.
- *Resumen del diario histórico del Ejército del Atlántico, Istmo y Mompós, llamado después Ejército del Norte*, 1855.
- *Jeografía física i política de las provincias de la Nueva Granada*, 1856.
- *Descripción jeneral de los indios de la Nueva Granada*, 1857.
- *Descripción del territorio del Caquetá*, 1857.
- *Antigüedades indígenas. Ruinas de San Agustín*, 1858.
- *Cueva del Guácharo*, 1858.

De su puño y letra son también multitud de documentos y mapas levantados como resultado de los extensos viajes de la Comisión por el territorio del país. Digno de especial mención es el *Mapa corográfico de la provincia de Soto, levantado por Agustín Codazzi*, el cual su autor dibujó íntegramente. Esta bella carta mide 65 cm de ancho por 58 cm de alto. Fue dibujada junto con otras del noreste del país para acompañar su informe de 1851 sobre la *Jeografía cantonal de las provincias de Tunja, Tundama, Socorro y Vélez*. Como obra de dibujo cartográfico es de perfección acabada, dentro de las limitaciones técnicas que se tenían en su tiempo. Contiene, minuciosamente señalados, dibujados y rotulados, todas las divisiones políticas, los ríos, las alturas principales, las ciudades, villas, poblaciones y aldeas, la cuadrícula de latitudes y longitudes, los límites, los caminos, etc. A la cabeza del mapa, cerca de su título, está la rosa de los vientos y se anota la declinación magnética. Abarca los tres cantones de Pie de Cuesta, Girón y Bucaramanga que formaban la provincia de Soto. Contiene cuatro detalladas tablas:

1. La de los productos de los tres cantones, con los cuales éstos comerciaban.
2. Una sinóptica, en forma de matriz diagonal, de distancias entre sitios de la provincia.
3. La de las posiciones (coordinadas geográficas), altura, temperatura, situación y estadística de todos los puntos de la provincia.
4. Una de las calidades de los terrenos de los tres cantones.

Una sola persona —ni siquiera el infatigable y fecundo Codazzi— no podría haber dado cuenta del inmenso volumen de trabajos, corografía, memo-

rias, mapas, dibujos, colecciones de plantas, minerales y datos que recogió la Comisión Corográfica. La magnitud de esta labor, además de los trastornos políticos y administrativos que la rodearon y que la siguieron, y la pobreza de nuestros recursos técnicos, explica que para reseñar la obra de Codazzi haya de recurrirse a numerosos textos y documentos.

En resumen, la obra codazziana dio lugar a las siguientes publicaciones, las cuales presentan, al reunir las, una visión en conjunto de buena parte de aquélla, sin llegar a agotarla:

1. El famoso libro *Peregrinación de Alpha por las provincias del norte de la Nueva Granada, 1850-1851*, escrito por Ancízar y publicado en 1853.
2. El informe *Jeografía cantonal de las provincias de Tunja, Tundama, Socorro y Vélez*, escrito por el propio Codazzi en septiembre de 1851 y publicado por la Imprenta del Estado en 1856.
3. La *Jeografía física i política de los Estados Unidos de Colombia*, escrita por Felipe Pérez y publicada en 1862 en la imprenta de la nación.
4. La *Jeografía física i política de las provincias de la Nueva Granada*, escrita por Codazzi y compilada por Ponce de León, ilustrada con mapas y dibujos de Paz, que solamente fue impresa y publicada en este siglo, a partir de 1957, bajo la dirección de Eduardo Acevedo Latorre, en la imprenta del Banco de la República.
5. La colección de mapas de provincias dibujados por Codazzi y por sus ayudantes Fernández, Price y Paz, que en su mayor parte permanecen inéditos y se guardan en distintas instituciones nacionales.
6. Las publicaciones sobre la flora colombiana hechas por José Jerónimo Triana, con base en su herbario de más de 2.000 especímenes y en muchos dibujos de sus compañeros de Comisión, que su autor publicó en París entre 1864 y 1867.
7. La pequeña parte del herbario de Triana que se logró encontrar y recuperar, que hoy forma parte del Herbario Nacional Colombiano del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional, ubicado en Bogotá.
8. El libro *Apuntes de un viaje por el sur del país*, escrito por Santiago Pérez, el cual relata el recorrido de la octava expedición, en 1857, por Tolima, Huila, Caquetá y Putumayo. Fue publicado en 1860.
9. El ensayo *Personal de la Comisión Corográfica* escrito por Ramón Guerra Azuola y aparecido en 1891 en la *Revista Literaria de Bogotá*.
10. Los 152 dibujos que se conservan de los varios miles que hicieron los tres maravillosos dibujantes de la Comisión sobre paisajes, personajes, flora, fauna, escenas típicas y caminos de la república.

Los documentos y trabajos del propio Codazzi corrieron en general con mala fortuna. Durante la Comisión sólo se publicó el libro sobre Socorro, Vélez, Tunja y Tundama. El resto de la copiosa colección de la Comisión fue archivado por los gobiernos y enviado a distintos sitios: el Archivo Nacional, el Ministerio del Interior, la Cancillería, el Observatorio Astronómico, la Biblioteca Nacional, etc., lo que dio como resultado que la mayor parte de los documentos de Codazzi y sus colaboradores se extraviaran, al parecer irremisiblemente, y aún hoy no se conoce su paradero. Inclusive muchos materiales que Ponce de León, Paz y Felipe Pérez utilizaron para reseñarlos y editarlos, se perdieron posteriormente.

El extensísimo archivo particular de Codazzi fue recopilado por su hija Constanza Codazzi de Convers, quien lo legó a su nieto el ingeniero Rafael Convers Pinzón. Este último lo cedió posteriormente a la Sociedad Geográfica de Colombia, fundada en 1903, que hoy lo guarda en su archivo.

La última obra póstuma que se debe al trabajo monumental de Codazzi fue publicada 30 años después de su muerte, en 1889. Se trata del *Atlas geográfico de Colombia*, que fue dibujado también por Manuel Ponce de León, Felipe Pérez y Manuel María Paz, aprovechando los mapas y croquis hechos por la Comisión Corográfica. Este atlas contiene 21 bellos mapas sobre el país, sobre varios aspectos históricos y geográficos y sobre algunas provincias. Cabe señalar, sin embargo, que éstas son apenas 21 láminas de las 52 que Codazzi se había propuesto realizar cuando emprendió la Comisión.

Para salvar la obra de la Comisión Corográfica y para continuarla, el insigne y esclarecido presidente Rafael Reyes creó en 1909, 50 años después de la muerte de Codazzi, la Oficina de Longitudes que fue adscrita al Ministerio de Relaciones Exteriores, y en la cual se trabajó activamente en la demarcación de los límites geográficos de nuestro país con los países vecinos. Veintiséis años después, en 1935, otro presidente ilustre, Alfonso López Pumarejo, fundó el Instituto Geográfico, Militar y Catastral Agustín Codazzi, al cual se encargó de continuar y ampliar la demarcación de límites, el levantamiento de la carta geográfica de Colombia, la elaboración y conservación del catastro del país y el estudio de la geografía y de los recursos naturales.

En cierta forma la *Jeografía física i política de los Estados Unidos de Colombia*, escrita por Felipe Pérez, es el primer libro de geografía colombiana objetivo, metódico, detallado y completo. Se basó en los trabajos de la Comisión Corográfica y en estudios consultados y realizados por el mismo Pérez sobre los estados del Magdalena y Bolívar, que Codazzi no alcanzó a reseñar. Es evidente, además, que la escritura de la obra fue concebida

por su autor organizando su contenido según las divisiones políticas vigentes en 1862, y tratando a cada una de esas divisiones de acuerdo con una organización de temas geográficos que ya debía estar contenida, implícita o explícitamente, en los informes de Codazzi.

El libro se organiza así: primera parte: Distrito Federal, Estado de Panamá, Estado del Cauca, Territorio del Caquetá; y segunda parte: Estado del Tolima, Estado de Cundinamarca, Estado de Boyacá, Estado de Santander, Estado de Antioquia, Estado del Magdalena y Estado de Bolívar. Cada una de estas once divisiones territoriales se analiza de acuerdo con una misma pauta de exposición, la cual puede ilustrarse por la forma como se trata allí el Estado del Cauca:

Parte física

I	Situación	IX	Costas
II	Extensión	X	Puertos
III	Población	XI	Aspecto del país
IV	Límites	XII	Climas y estaciones
V	Montañas	XIII	Minerales
VI	Ríos	XIV	Vegetales
VII	Lagunas y ciénagas	XV	Animales
VIII	Islas	XVI	Particularidades

Parte política y económica

I	Historia	III	Agricultura y manufacturas
II	Gobierno, religión, rentas, etc.	IV	Comercio

Parte topográfica

I	División territorial
---	----------------------

Apéndice

I	Indios
II	Istmos interiores para comunicar de un río a otro, llamados comúnmente "arrastraderos".

En cuanto a la obra escrita por la Comisión, recopilada y revisada por Ponce de León, apareció con el nombre de *Geografía física i política de las provincias de la Nueva Granada por la Comisión Corográfica*. En 1856 fue publicado el único volumen que vio la luz en vida de Codazzi, el correspondiente a las provincias de Socorro, Vélez, Tunja y Tundama. De 1957 a 1959, el Banco de la República la publicó en cuatro volúmenes dentro de su serie Archivo de la Economía Nacional, así: No. 21 comprende las provincias de Socorro y Vélez. El No. 22, las de Tunja y Tundama. El No. 23, las de Soto, Santander, Pamploña, Ocaña, Antioquia y Medellín, y el No. 24, las de Córdoba, Cauca, Popayán, Pasto y Túquerres.

La presentación de la geografía de cada provincia sigue de cerca el orden que le dio Santiago Pérez, seguramente establecido por Codazzi, y puede identificarse en la que transcribimos sobre la provincia de Soto:

Provincia de Soto

- Situación
- Extensión
- Población
- Límites
- Montañas, sus ramificaciones y alturas
- Ríos, su origen y curso
- Lagunas y ciénagas
- Islas
- Aspecto del país
- Clima
- Estaciones
- División territorial
- Agricultura y manufacturas
- Minas
- Tintes, maderas y plantas preciosas
- Animales silvestres
- Comercio interior
- Comercio exterior
- Particularidades

AGUSTIN CODAZZI COMO INGENIERO

A pesar de la vastedad y excelencia del trabajo de Codazzi en la Comisión Corográfica, es difícil apreciar con claridad su preparación intelectual y profesional como ingeniero militar e ingeniero civil.

No se sabe con propiedad dónde recibió Codazzi su preparación académica. Biógrafos como Bateman aseguran que fue en escuelas militares de Bolonia y París. Otros, como Longhena, lo ponen en duda y afirman que se formó en el cuartel y maestranza de artillería en Pavía, fundado y probablemente dirigido por militares franceses. Pero es difícil que en un establecimiento como éstos, aun con oficiales formados en la École Polytechnique, se impartiera un entrenamiento técnico de tal calidad como el que demuestra Codazzi en muchos de sus trabajos cartográficos.

De todas maneras, de acuerdo con la orientación tradicional de las escuelas de artillería europeas, probablemente Codazzi recibió un excelente entrenamiento en matemáticas básicas y elementales, hasta el nivel de la geometría analítica y el cálculo. Y además de adquirir un buen conocimiento profesional sobre armamento, explosivos y fortificaciones, debió recibir también muy buenos conocimientos en agrimensura. En cuanto a la cartografía, las academias de artillería la han visto siempre como una materia auxiliar y es poco probable que Codazzi hubiese recibido una preparación amplia en ese tema. Todo parece indicar que, como cartógrafo y dibujante, Codazzi tuvo unas extraordinarias dotes naturales, que desarrolló y afinó posteriormente con su amplio ejercicio en Venezuela entre 1830 y 1849.

Es verosímil que en otros campos técnicos Codazzi se hubiera formado más sólidamente, si en realidad estudió en los institutos militares establecidos por los oficiales de Napoleón. Allí debió aprender a manejar con destreza no solamente los cañones, las culebrinas y los obuses, sino también la brújula, el teodolito, el telémetro y otros instrumentos propios de artilleros, ingenieros y geólogos. Por lo demás, considerando el poco tiempo que tuvo para recibir una educación formal (tan sólo entre 1808 y 1812), se deduce que, para alcanzar los conocimientos que demuestra, después de sus años como cadete y alférez de artillería, Codazzi debió ser un infatigable estudioso y autodidacta, lo cual le permitió aprender y demostrar, con la perfección que tienen sus obras, las técnicas cartográficas que empleó en ellas.

No hay pruebas conocidas de que Codazzi fuera descollante en matemáticas. Sin embargo, para su tiempo, y en nuestras incipientes repúblicas, sus conocimientos en este campo debían ser más que medianos cuando le merecieron

llegar a director de la sección de matemáticas en la Escuela Militar de Caracas y a inspector de estudios en el Colegio Militar de Bogotá.

Los atisbos indirectos y las apreciaciones conjeturales que proporcionan las pocas evidencias conocidas sobre su vida profesional, permiten aventurar la opinión de que Codazzi fue en esencia un buen oficial de artillería, con una buena formación académica a la francesa, dotado de excelentes aptitudes vocacionales innatas como ingeniero; que llegó a encontrar su máxima realización personal y profesional por el trabajo cartográfico en Venezuela y en la Nueva Granada, y que durante este trabajo se descubrió magníficas habilidades como las de cartógrafo, dibujante y topógrafo, que nunca antes había tenido ocasión de ejercitar, y en las cuales llegó a adquirir un descollante nivel.

Bien fuera en sus años como cadete artillero, o en los de oficial naval, o en los de sus excursiones geográficas, Codazzi debió aprender el manejo de los instrumentos propios de estas actividades al aire libre. Además, es evidente que para realizar el trabajo corográfico que ejecutó, le fue indispensable dominar el manejo de instrumentos que en su momento eran casi desconocidos en nuestro país, si no totalmente nuevos. Entre estos instrumentos cabe mencionar:

- La cadena de agrimensura, para medir distancias sobre el terreno y hacer planos.
- El teodolito óptico o taquímetro, para el trazado de rumbos y para usarlo como telescopio en la medición de coordenadas celestes.
- La mira vertical, para trabajos de nivelación de terrenos y caminos.
- El cronómetro de precisión, para determinar la hora con exactitud en sitios aislados.
- El grafómetro o semicírculo graduado, para medir ángulos verticales a grandes distancias.
- La brújula portátil, para tomar rumbos y orientaciones en recorridos de tierras y rutas.
- El sextante, para medir altitudes de estrellas y determinar así coordenadas geográficas.
- El barómetro aneroide de Bourdon, para medir presiones atmosféricas y calcular así altitudes topográficas sobre el terreno.
- El termómetro atmosférico, para medir temperaturas de climas y medir altitudes del terreno por el método hipsométrico.
- El nivel de burbuja manual, para nivelar superficies de pequeña extensión.
- El nivel visual de agua sobre trípode, para determinar diferencia de altitudes con mira vertical en las nivelaciones de terrenos.

- El higrómetro, para medir humedad relativa atmosférica en el ambiente.
- El horizonte artificial, para medir ángulos horizontales orientados, en largas distancias.
- El telémetro óptico, para medir distancias medias, como se hace en la práctica de artillería.
- El podómetro, para contar por pasos la longitud de caminos y recorridos.
- Las efemérides y el almanaque náutico, para conocer las posiciones de las estrellas y permitir el cálculo de longitudes y latitudes geográficas.

También es natural pensar que Codazzi fue quien transmitió a sus jóvenes discípulos y ayudantes el conocimiento y el dominio de tales instrumentos para el ejercicio de la ingeniería civil. Sin duda fue así como lo aprendieron Ponce de León, Liévano, Guerra Azuola y sus hijos Domingo y Lorenzo Codazzi; años después, todos ellos fueron distinguidos ingenieros.

Leyendo las largas listas de coordenadas geográficas que contiene la *Geografía física i política de las provincias de la Nueva Granada*, se advierte que Codazzi fue el primero en utilizar extensivamente los métodos para determinar tales coordenadas. En estos métodos es necesario determinar la hora exacta y la longitud del meridiano geográfico, lo cual puede hacerse por la observación de la posición del sol al mediodía, o por la observación del tránsito superior de una estrella notable, como Sirio o la Estrella Polar, gracias al teodolito.

Algunas pistas y conjeturas razonables permiten suponer cuáles eran los conocimientos teóricos en que Codazzi fundamentó su monumental labor geográfica. Tales pistas son las siguientes:

1. Lo que se conoce sobre el contenido de la enseñanza académica en las escuelas de artillería francesas a principios del siglo XIX.
2. La lectura de los informes escritos por Codazzi, que dan cuenta del resultado de sus investigaciones.
3. Los documentos de Humboldt, Arago y Boussingault, que comentan desde un punto de vista científico los trabajos de Codazzi en Venezuela.
4. Lo que se deduce del examen atento de los mapas elaborados por el propio Codazzi, como el bello y perfecto mapa de la provincia de Soto.
5. Las características técnicas y científicas de los trabajos póstumos que se hicieron sobre la obra de Codazzi, por parte de Ponce de León, Felipe Pérez y Ramón Guerra Azuola.

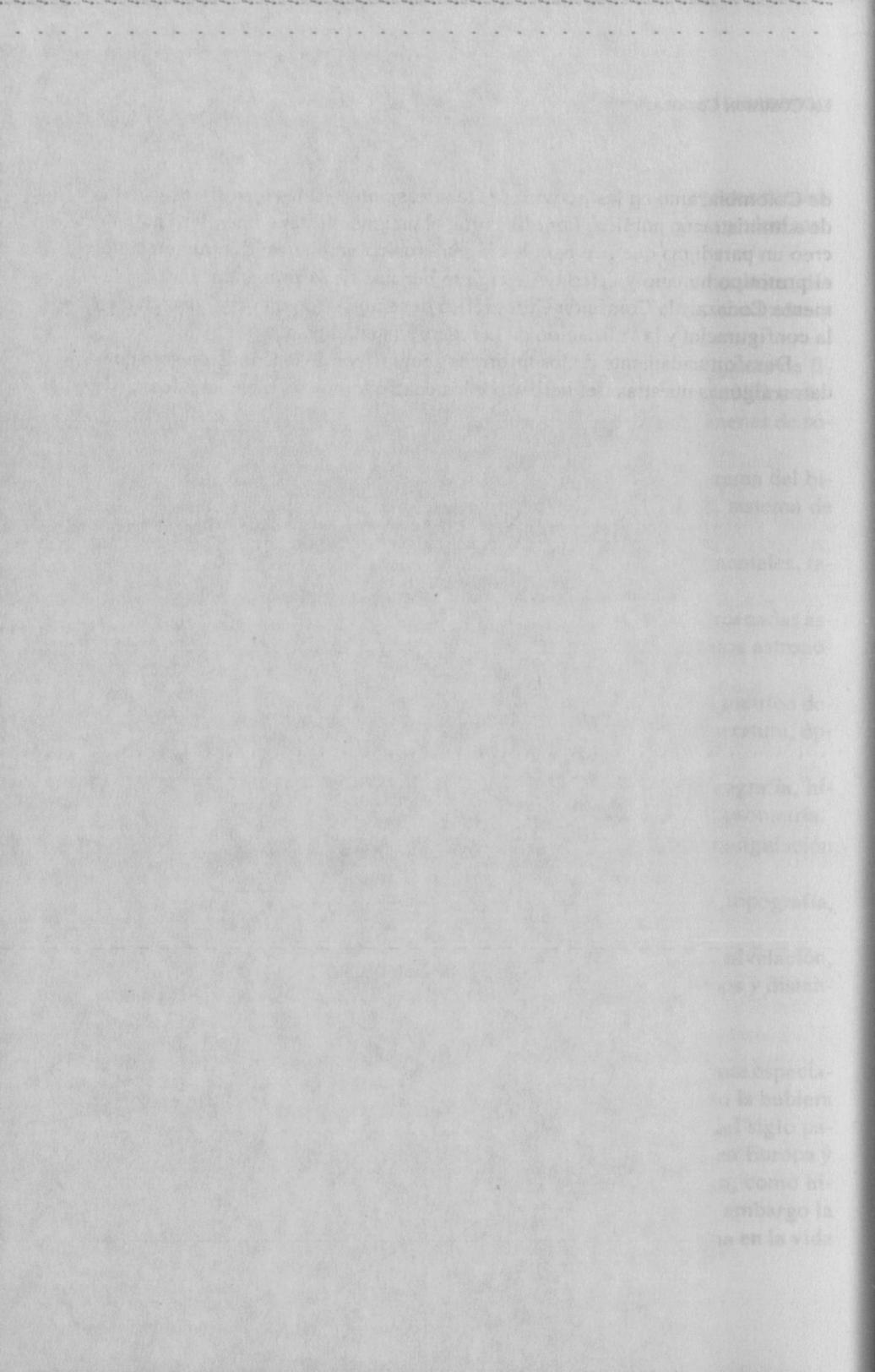
Sobre las bases indicadas, puede colegirse que Codazzi tenía buenos conocimientos académicos y prácticos en los siguientes campos científicos y técnicos:

1. Aritmética: las cuatro operaciones con números enteros, fraccionarios, decimales y mixtos; logaritmos y sus tablas; potencias y raíces cuadradas y cúbicas.
2. Geometría euclidiana elemental: principios de Euclides, semejanza de figuras, paralelas, triángulos, polígonos, círculos, áreas planas, sólidos elementales, poliedros regulares, cuerpos redondos, áreas y volúmenes de sólidos, proyecciones geométricas.
3. Algebra clásica: las cuatro operaciones entre polinomios, teorema del binomio de Newton, ecuaciones de primero y segundo grados, sistema de ecuaciones, ecuaciones de las cónicas.
4. Trigonometría plana: ángulos, funciones trigonométricas elementales, tablas trigonométricas, solución de triángulos planos.
5. Trigonometría esférica y astronomía: triángulos esféricos, coordenadas astronómicas, sistema solar, trayectorias zodiacales, instrumentos astronómicos.
6. Física elemental: unidades de longitudes y distancias, sistema métrico decimal, estática de sólidos, máquinas elementales, calor y temperatura, óptica geométrica.
7. Geografía: relieves de terrenos, coordenadas geográficas, corografía, hidrografía elemental, climatología, meteorología descriptiva, hipsometría.
8. Cartografía: proyecciones cartográficas, escalas métricas, triangulación cartográfica, restitución de planos, coordenadas gaussianas.
9. Dibujo: coordenadas planas, perspectivas, perfiles, panoramas, topografía, instrumentos de dibujo.
10. Agrimensura y topografía: medidas de distancias, terrenos, nivelación, mensuras, tránsito, curvas de nivel, trazado, poligonales, rumbos y distancias, geodesia, taquímetro, grafometría.

Como obra de ingeniería, la que realizó Codazzi era relativamente especializada, y un buen ingeniero europeo de su tiempo probablemente no la hubiera considerado un trabajo de altas exigencias técnicas. A mediados del siglo pasado el campo de la ingeniería civil estaba ya bastante adelantado en Europa y Estados Unidos, en temas que Codazzi quizá no conocía muy bien, como hidráulica, puentes, máquinas de vapor y edificaciones pesadas. Sin embargo la obra de Codazzi abrió de manera definitiva un campo a la ingeniería en la vida

de Colombia, tanto en las actividades técnicas como en las científicas y en las de administración pública. Por otra parte, el insigne militar e ingeniero italiano creó un paradigma que fue para los ingenieros colombianos, durante un siglo, el prototipo humano y ético del ejercicio heroico de la profesión. Indudablemente Codazzi y la Comisión Corográfica desempeñaron un papel decisivo en la configuración y la validación de la ingeniería en el país.

Desafortunadamente de los informes geográficos de la Comisión sólo quedaron algunas muestras del herbario y los cuatro tomos ya mencionados.



Capítulo 8

LA REVOLUCION MECANICA DE WATT

LA MAQUINA DE VAPOR

La máquina de vapor, que transformó la industria y los transportes del mundo y que solemos atribuir a James Watt, tuvo remotos precedentes en la antigüedad clásica. Su antecesor más antiguo fue un pequeño aparato que diseñó y construyó Herón de Alejandria (ca. 20 a.C.-ca. 105 d.C.) como curiosidad o casi como juguete, y al cual su inventor puso el nombre de eolípila. Era una esfera hueca de cobre, que podía girar sobre uno de sus diámetros y recibía por un tubo que le servía de eje el vapor producido por una caldera. Al salir el vapor por dos tubos acodados, acoplados a la esfera en puntos situados sobre un diámetro perpendicular al eje de rotación, se producen dos reacciones que forman un par de fuerzas de reacción que provoca la rotación de la esfera. Esta idea fue perfeccionada durante el Renacimiento por Leonardo da Vinci (1452-1519) y otros, empleando el humo caliente de la combustión de la madera o del carbón, lo cual, con el transcurso del tiempo ha conducido a las turbinas de gas de reacción de nuestros días.

En 1629 el científico italiano Giovanni Branca publicó su libro *La machine de 1629* y allí presentó dibujada y explicada su idea de una rueda de paletas movida por un chorro de vapor. Así mismo propuso una "rueda del fuego" movida por gases calientes de combustión; es una antecesora de la moderna turbina de gas. Por esa misma época el francés Salomón de Caus publicó en Frankfurt su libro *Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines*, en 1615, y allí propone un aparato para calentar el agua en un recipiente cerrado hasta cuyo

fondo llega un tubo, por el cual saldría un chorro de agua impulsado por la presión del vapor. Un aparato muy similar a éste había sido construido por el médico y físico italiano Giambattista della Porta (1535-1615) unos años antes.

El siglo XVII muestra un vivo interés por la ciencia y por el avance de la técnica en Inglaterra. En 1655, el marqués de Worcester, Edward Somerset, encarcelado en la Torre de Londres después de sitiado y rendido su castillo por las fuerzas del Parlamento (1646) durante la revolución de Cromwell contra Carlos I, escribe su libro *La centuria*. Allí, en forma no muy clara, para no perder la prioridad de sus muchas invenciones, describe, entre otras cosas, una máquina para elevar agua que él había construido en 1630 en su castillo. Excarcelado en 1660, fabricó otra cuyo dibujo han reconstruido algunos historiadores de la tecnología. Allí la presión del vapor impele hacia arriba el agua del depósito, produciéndose un vacío, que absorbe el agua inferior para llenar el depósito. En esencia, éste era el principio esencial de las máquinas posteriores de Savery y Newcomen. La máquina de Somerset significó un gran avance y estuvo en uso práctico hasta 1670. Por eso en 1663 el marqués de Worcester declaraba satisfecho que había descubierto el poder del vapor para elevar el agua y "para reventar cañones".

Pero fue Thomas Savery (1650-1715) quien por primera vez obtuvo un privilegio para construir y vender una máquina de su invención (1693). En realidad, la máquina de Savery aprovechaba varias ideas de la de Somerset, y aquella fue denominada por su autor "el amigo del minero", ya que su propósito principal era desaguar pozos de minas de carbón. Fue la primera máquina de vapor que tuvo un amplio uso práctico y que fue producida comercialmente. En su patente decía que era útil "para toda clase de trabajo". Tenía una caldera para calentar y evaporar agua, que en los primeros años estaba sujeta a un gran riesgo de explosión, hasta que John Théophile Desaguliers (1688-1744) introdujo en 1715 la válvula de seguridad inventada por Denis Papin (1667-1712) en Londres en 1679, además de otras mejoras. Savery expuso la primera descripción de su máquina en 1702. El poder impelente de la máquina de Savery era de 27 metros de columna de agua y para minas más profundas se instalaban dos o más en escalones sucesivos. Como la aspiración del agua se realizaba por la presión atmosférica la máquina debía instalarse cerca del agua a no más de cinco metros por encima de ella; y cualquier falla, al inundarse rápidamente la bomba, arruinaba toda la instalación. En 1707, en Francia, Denis Papin modificó la bomba de alta presión de Savery para allanar algunas de sus limitaciones. En realidad, Papin había sido el primero en diseñar y construir, en 1690,

un cilindro con un pistón accionado por la presión del vapor, que luego acopló a la máquina de Savery.

Thomas Newcomen (1663-1729) conoció bien la bomba de Savery y sus limitaciones, y en 1705 se dedicó a perfeccionarla y obtuvo una patente para una "bomba para extraer agua de minas profundas, accionada a vapor". En 1711 se formó una sociedad entre Savery, Newcomen y Cawley para fabricar y vender esta máquina que aventajaba notablemente a la de Savery. Una y otra tenían caldera separada del cilindro (Papin hervía el agua dentro del cilindro) y un balancín, que unía y movía alternativamente, en vaivén, el vástago del pistón accionado con vapor, con el vástago de la bomba de agua. Al subir el émbolo por la presión del vapor, bajaba por su peso el pistón de la bomba; el vapor se condensaba irrigando el cilindro matriz y la presión atmosférica hacía descender el émbolo de su cilindro levantando el de la bomba que eleva el agua. El trabajo útil no lo realiza el vapor sino la presión atmosférica. La máquina, como es obvio, no tenía condensador separado para el vapor. El cilindro de vapor cumplía dos funciones: motor del balancín por expansión del vapor y condensador del vapor para producir vacío. Era, pues, necesario abrir una llave para que le entrara vapor, enfriarlo rápidamente rociándolo con agua fría, llenarlo de vapor nuevamente, etc., y todo esto a mano. Desde luego, desperdiciaba gran cantidad de energía, y su operación era muy costosa, ya que consumía 25 kilos de hulla por caballo-hora de trabajo. Pero a pesar de todo, las máquinas de Newcomen tuvieron éxito desde 1712 y fueron usadas hasta 1830 en las minas de carbón, donde había mucho combustible barato.

La idea de usar el vapor en máquinas motrices ya era conocida por mecánicos e inventores. Así, por ejemplo, en 1723 el inventor alemán Jakob Leupold (1674-1727) publicó una verdadera enciclopedia en nueve tomos sobre las máquinas de su tiempo, *Theatrum Machinarum Generale*, que incluye el diseño de una máquina de vapor a alta presión, sin condensador, comparable a las que aparecerían en el siglo siguiente.

Pero James Watt (1736-1819), mecánico de la Universidad de Glasgow, quien conocía bien la máquina de Newcomen, se dedicó a perfeccionarla entre 1765 y 1769, y en este año terminó su primera máquina, de simple efecto, con caldera separada (con válvula de seguridad) y con condensador separado. Esta última era la primera gran innovación de Watt. Sus primeros prototipos fueron experimentales. En 1775 obtuvo la primera patente para su máquina.

Pero aun desde antes de los trabajos de Watt, las máquinas de vapor ya habían sido divulgadas en casi toda Europa. Así, en 1767, en Francia, el ingeniero Joseph Nicolas Cugnot (1725-1804) construyó y operó un coche triciclo

movido por vapor sobre el cual no se recuerda hoy su construcción interna; ése fue el primer antecesor de las locomotoras de vapor y de los coches automóviles que vendrían después. Años más tarde, en 1786, un mecánico inglés, William Murdock (1754-1839) construyó otro prototipo de coche movido por vapor que también funcionó con cierto éxito. Algo análogo intentó en 1785 el mecánico inglés John Symington.

En 1774 Watt inventa el motor de vapor de doble efecto. En 1779 construye las primeras máquinas (de simple efecto) para ser usadas industrialmente. En 1789 inventa el paralelogramo articulado para convertir el movimiento de vaivén del émbolo en movimiento circular. Entre 1781 y 1786 perfecciona el regulador centrífugo de velocidad, y en 1790 concibe y construye en sus máquinas el indicador de presión y volumen que hoy lleva su nombre.

Trabajando sobre las ideas de Watt, un constructor de máquinas, James Pickard, en la misma Inglaterra, en 1780, logró patentar un motor de vapor con algunas diferencias, pero que nunca logró tener el éxito comercial y práctico del de Watt. Lo mismo le ocurrió a un motor de vapor que Oliver Evans (1755-1819) patentó en Estados Unidos en 1789, y con el cual hizo rodar un carruaje diseñado y construido por él mismo en 1789.

En cambio Watt seguía trabajando con notable éxito. Hacia 1781 se asoció con su amigo el industrial Matthew Boulton (1728-1809) para establecer una fábrica de sus máquinas. Fue así como de 1781 a 1786 se desarrolló ampliamente en Inglaterra, como precedente histórico para todo el mundo, el uso de la máquina o motor de vapor de Watt como generador de energía y máquina motriz.

Influido por el éxito de la máquina de Watt y por los precedentes de Cugnot en Francia y Evans en Estados Unidos, en 1800 el ingeniero inglés Richard Trevithick (1771-1833) diseñó y construyó el primer motor de vapor de alta presión, de doble efecto, y al año siguiente construyó con él un carruaje movido por vapor, mucho más exitoso que sus precursores y que hoy puede considerarse como el predecesor de las locomotoras de vapor que años después debían mover los ferrocarriles del mundo. Luego, en 1804, Trevithick construyó la primera locomotora práctica, que rodaba sobre rieles de hierro, pero no logró desarrollarla industrialmente porque esos rieles eran demasiado livianos para soportar esa máquina y su tren de vagones.

Al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, comenzaba a conocerse y a generalizarse en la industria el uso de la máquina de vapor de Watt. En 1804 el ingeniero Oliver Evans construye el primer motor que se hizo en ese país usando vapor a alta presión. Y en 1815, en Francia, Antoine Edward patenta la máquina de vapor para ser aplicada industrialmente en ese país.

EL FERROCARRIL

Es en esta época cuando se unen la historia de la máquina de vapor y el nacimiento del ferrocarril. El germen de este último hay que buscarlo en las minas de carbón inglesas que despachaban el mineral a los centros de consumo en carretas tiradas por caballos por los pésimos caminos del siglo XVII. A comienzos del siglo siguiente se tienden los primeros rieles de madera en esos caminos. Eran varas de seis pies de longitud y cinco pulgadas de ancho, sostenidas por durmientes atravesados y colocados cada dos pies. Asimismo se le puso pestaña a las ruedas de los vagones para que no se descarrilaran. Poco después, en 1716, se pasa a los primeros rieles de madera cubiertos con tiras de hierro. Luego vino el riel de hierro maleable, que produjo por primera vez Abraham Darby III (1735-1791) en su taller siderúrgico de Coalbrookdale, en 1767. En realidad, desde 1738 había noticias del funcionamiento de un tranvía de mulas rodando sobre rieles de hierro fundido en Whitehaven, y desde 1755 comenzaron a operar trenes de carros con ruedas de hierro, cargados de carbón y tirados por caballos, como los que se construyen en 1797 en Shropshire, y el ferrocarril público para pasajeros y tirado por caballos que se tendió en 1801 entre Wandsworth y Croydon. No conocemos los nombres de quienes introdujeron estas importantes innovaciones tecnológicas, pero sí sabemos que ellas hicieron posible la idea del ferrocarril que vendría después.

Ya se mencionó que en 1769 el ingeniero francés Joseph Nicolas Cugnot construyó el primer vehículo autopropulsado que recuerda la historia: un triciclo accionado por vapor que podía transportar a cuatro personas a la velocidad de 3.6 kilómetros por hora. Se dijo también que análogos intentos hicieron Murdock, Symington y Evans, quienes tuvieron poco éxito. En cambio, entre 1801 y 1802 Richard Trevithick diseña y construye su carro accionado por una máquina de vapor que funcionó muy bien durante cuatro días, pero estalló luego porque inadvertidamente Trevithick olvidó reponer el agua de la caldera y ésta explotó al quedarse seca.

Dos años después Trevithick expuso públicamente los principios de su teoría del ferrocarril. Independientemente de él y sin conocerse mutuamente, un ingeniero francés, Jacques Vivien, hizo lo mismo en su país. Pero Vivien no procedió a construir un ferrocarril. En cambio Trevithick sí lo hizo. Acopló un motor de doble efecto, de presión alta, de los que fabricaban Watt y Boulton, a un vehículo colocado sobre rieles de hierro y logró que esta primera locomotora de vapor de la historia arrastrara con éxito un tren de diez toneladas a unos 16 kilómetros por hora.

Después de este paso, ocurrieron otros aceleradamente. Pronto el mecánico John Blacket halló el medio de evitar el patinaje de las locomotoras aumentando su peso. Además William Hadley produjo un tren a vapor para transportar carbón, que fue jocosamente denominado el "Puffing Bill", y una línea de fabricación de locomotoras para minas. Ya en 1814 había en la parte sur de Gales (South Wales) más de 400 millas de ferrocarriles dentro y alrededor de las minas.

Precisamente en 1814 fue cuando George Stephenson (1781-1848) construyó la famosa locomotora "Rocket", dotada de una caldera con 25 tubos, que marchaba sobre carriles de hierro a velocidades hasta de 14 kilómetros por hora, formalizando así el invento de la locomotora de vapor. En los años siguientes Stephenson estuvo dedicado a mejorar el diseño y la construcción de calderas, motores, locomotoras, trenes y carrileras. A esto último ayudó el hecho de que en 1820 fue inventado en su fábrica siderúrgica, por John Birkinshaw, un proceso y un equipo para laminar rieles de hierro.

El año de 1825 es el de inauguración del ferrocarril al servicio de la humanidad. Fue en ese momento cuando George Stephenson construyó el primer ferrocarril público del mundo: la línea Stockton-Darlington que comenzó a operar desde esa fecha. Stephenson lo dotó de locomotoras muy mejoradas, incluyendo los últimos perfeccionamientos de las calderas y de los motores de vapor. En 1827 se registró un nuevo avance técnico cuando Jacob Perkins inventó y patentó —también en Inglaterra— la caldera de vapor a muy alta presión (hasta 1400 libras por pulgada cuadrada) con la cual se podían hacer operar máquinas y locomotoras mucho más potentes. El mismo Perkins, que era un buen ingeniero, inventó el diagrama de presión-temperatura-volumen del vapor, que hoy llamamos la carta psicrométrica y que es indispensable para el diseño de calderas. En 1828, al otro lado del Canal de la Mancha, el ingeniero francés Marc Seguin (1786-1875) diseñó y patentó la caldera múltiple tubular.

Estos perfeccionamientos le permitían a Stephenson construir ferrocarriles más largos, locomotoras más potentes y trenes de mayor tamaño. Por eso en 1829 construyó la línea Liverpool-Manchester con locomotoras perfeccionadas para el uso público, y por esa línea comenzaron a circular los trenes regularmente desde el año siguiente. Aunque en 1829 el ingeniero John Ericsson proyectó una locomotora que competía bien con las de Stephenson, éste y su hijo Robert (1803-1859) respondieron al reto diseñando y construyendo en 1830 nuevas locomotoras de mayor tamaño y de mayor potencia, como la "Northumbrian" y la "Planet", que habrían de durar en uso público muchos años.

A partir de ese momento comienzan a aparecer líneas férreas aceleradamente. En 1825 se construye la primera de ellas en Francia. En 1825 el ingeniero inglés Brunel (1813-1885) construye el ferrocarril de Londres a Bristol. Dos años después el propio George Stephenson traza y construye la primera ferrovía en Bélgica, la de Bruselas a Malinas, y en 1825 se construye y se da al servicio una línea de mucho tráfico: la de Londres a Birmingham. En Francia, Alemania, Italia y Holanda comenzaron a tenderse febrilmente las ferrovías. España, siempre rezagada en la aplicación de innovaciones tecnológicas, sólo comenzó a construir su primer ferrocarril en 1828, entre Madrid y Aranjuez. Cinco años después fue terminada la línea Barcelona-Mataró.

En esos primeros años posteriores al invento de Stephenson, la técnica de las máquinas de vapor progresó rápidamente tanto en el diseño como en la construcción. Uno de los avances descolantes en ese camino fue el desarrollo en Estados Unidos del motor compuesto de vapor a alta presión, que fue realizado y patentado en aquel país por William McNaugh. Y tres años después, en Inglaterra, Lord Dundonald inventó la caldera de tubos de humo, o caldera pirotubular, que producía una más alta presión y que por eso hizo posible que se generalizara el uso de la máquina compuesta tanto en locomotoras como en barcos y en motores industriales.

El estudio teórico del motor de vapor hubo de esperar la maduración del genio técnico de William John Macquorn Rankine (1820-1872) quien, utilizando la teoría termodinámica ya desarrollada en su tiempo, estudió el ciclo de la máquina de vapor, ciclo que hoy lleva su nombre, y cuyo análisis apareció en su libro clásico *Handbook of Steam Engines*, publicado en Londres en 1859. En esa obra, Rankine introduce la termodinámica como herramienta básica de la ingeniería y acuña la mayor parte de los términos que actualmente son usados en ese campo. Es de recalcar que en 1824 el físico francés Benoit-Pierre Clapeyron (1790-1864) había desarrollado la primera versión de la segunda ley de la termodinámica con base en sus estudios sobre la teoría de la máquina de vapor.

Además, la máquina de vapor encontraba nuevos usos y se expandía por todas partes. A mediados del siglo XIX todas las fábricas de Inglaterra, Francia, Alemania y Estados Unidos habían abandonado otros métodos de obtener la energía y habían instalado sus máquinas de vapor para mover sus equipos. Boulton y Watt habían construido y vendido centenares de máquinas de vapor fabricadas en los talleres que ellos habían instalado años atrás. Y cuando la patente de Watt se venció, en toda Europa y en Estados Unidos aparecieron talleres fabricantes de máquinas de vapor.

Una nueva aplicación para el motor de Watt de alta presión y de doble efecto fue hallada por Elisha Graves Otis (1811-1861) en Estados Unidos al inventar y patentar el ascensor de personas y de carga movido por vapor, en 1860. Y unos años después, en 1881, fue instalado el primer motor de expansión de triple efecto, para uso marino, en el buque inglés Aberdeen. En 1887 el ingeniero sueco Gustav de Laval (1845-1913) patentó en Inglaterra la primera turbina de vapor de álabes, de una etapa, como alternativa al motor reciprocativo original de Watt. Y en 1884 Charles Parsons (1854-1931), también en Inglaterra, inventó la turbina de vapor de múltiples etapas, que tenía un rendimiento termodinámico hasta del 30% del calor del vapor, convertido en trabajo mecánico, lo que la hacía particularmente útil en barcos.

Pero en los ferrocarriles seguía usándose exclusivamente el motor reciprocativo de émbolo de Watt. No obstante, en 1847 en Estados Unidos el ingeniero M. G. Farmer diseñó y obtuvo la primera patente para una locomotora eléctrica, apoyándose en los progresos que recientemente se habían alcanzado en el diseño y en la construcción de motores eléctricos de corriente directa. Dos años después, en 1849, otro inventor estadounidense, R. Page, logró un diseño mejor y obtuvo otra patente para otra locomotora eléctrica perfeccionada.

El primer gran túnel ferroviario en Europa fue construido en 1853, el de San Gotardo, para dar paso a la línea Viena-Trieste, a través de los Alpes. Ya había en Europa y en América, en total, casi cien mil kilómetros de ferrocarriles. En 1862 se terminó la larga ferrovía de Varsovia a San Petersburgo, así como la de Roma-Nápoles y la de Argel-Blida, que fue una de las primeras que se tendieron en África. En 1860 se concluyó en Estados Unidos la primera línea que unía las costas oriental y occidental de ese país: el ferrocarril Unión-Pacífico.

Ya los ferrocarriles del mundo se construían con rieles de acero y no de hierro forjado, desde que en 1862 en Inglaterra se produjeron los primeros rieles en aquel metal y se montaron las instalaciones para producirlos industrialmente. Con rieles de acero y equipos ingleses se construyó en 1872 el primer ferrocarril del Japón. Y con rieles de hierro y equipo norteamericano se inició en 1875 la construcción del ferrocarril de Antioquia.

En esos años hubo otras innovaciones importantes en materia de ferrocarriles. Por ejemplo, en 1872 George Westinghouse (1867-1914) patentó en Estados Unidos el freno de aire automático para trenes. En 1874 es patentada en ese mismo país la primera locomotora de diseño aerodinámico. Y en 1875 el ingeniero alemán Werner Siemens, radicado en Inglaterra, diseñó y puso en prueba experimental el primer tranvía eléctrico.

Hasta 1885 había tendidos en todo el mundo unos 500 mil kilómetros de carrileras. Pero se usaban distintas anchuras entre rieles, entre las que prevalecían las de Stephenson de cuatro pies, y la americana de una yarda (tres pies). En el año mencionado se estandarizó en Europa y en Estados Unidos el uso de la trocha de Stephenson de cuatro pies. Cabe recordar que este punto ocasionó en 1881 una aguda polémica entre el ingeniero Francisco Javier Cisneros, que propugnaba por la vía de una yarda para Colombia, y los ingenieros Manuel Ponce de León y Abelardo Ramos, que abogaban por la trocha de cuatro pies. En los países de extensos territorios planos era desde luego más recomendable la trocha de cuatro pies. Este era el ancho de vía del ferrocarril Canadian Pacific, que en 1886 llegó hasta la ciudad de Vancouver en el Océano Pacífico desde la costa oriental de ese país. Y de cuatro pies de ancho se construyó entre 1891 y 1901, el ferrocarril Transiberiano.

Desde el comienzo de su existencia entre Stockton y Darlington, el ferrocarril se había extendido aceleradamente por todo el mundo. En efecto, la longitud de las líneas férreas había crecido, como lo muestran las cifras siguientes:

Año	Longitud (km)
1830	332
1840	8.641
1850	38.443
1860	107.935
1870	207.923
1880	367.020
1890	615.927
1900	740.478
1927	900.000

Cuando en 1890 se formó la Oficina Internacional de Transportes Ferroviarios, ya había ferrovías prácticamente por todo el mundo.

LA NAVEGACION A VAPOR

En 1781, el año en que Watt y Boulton se asociaron para comenzar a construir industrialmente las máquinas diseñadas por el primero de ellos, un inventor francés tuvo la idea de aplicar el vapor a la navegación. Así, entre 1781 y 1783 el barón Jouffroy d'Abbans trabajó en diseñar y construir un pequeño barco de

madera movido por vapor, accionado por paletas laterales rotatorias, el cual puso a prueba en el río Saone, cerca de Lyon, con el nombre de Pyreschape y con resultado favorable.

Un hecho importante (aunque no tuvo que ver con el vapor) fue la construcción en 1787 del primer bote con casco hecho de lamina de hierro, que fue realizado por John Wilkinson (1728-1808), en Midlands, Inglaterra. Fue una enorme sorpresa para sus conciudadanos que pensaban que un barco metálico no podía flotar. Y abrió la puerta para los grandes barcos de vapor que vendrían después. En el mismo año de 1787, al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, el inventor John Fitch (1743-1798) puso a flote en el río Delaware el primer barco de vapor que funcionó en el Nuevo Mundo, y que se propulsaba con hélices. El camino de la navegación a vapor quedaba así abierto. Pero aun así es digno de notar el éxito de William Symington en Inglaterra cuando en 1801 construyó el primer barco inglés de vapor, un remolcador accionado por ruedas de paletas movidas por una máquina de vapor de doble efecto y que navegó con éxito en el río Támesis. Y dentro de la emulación entre norteamericanos y británicos en esta carrera hacia el progreso técnico, al año siguiente, en Estados Unidos, el ingeniero John C. Stevens botó al agua un barco de vapor operado con hélices y más grande que el barco de Fitch. En todos estos casos fue el desarrollo de la caldera de vapor de alta presión lo que permitió aplicar el motor de vapor a los barcos.

La historia cita como fecha memorable la de 1803, cuando el ingeniero norteamericano Robert Fulton (1765-1815) ensayó con éxito una nave de vapor, movida por ruedas de paletas en el río Sena. Pero Napoleón, que gobernaba a Francia, y cuyo interés buscaba Fulton, se mostró indiferente a esta novedad y Fulton regresó a su patria. En 1807 logró establecer la navegación regular en barcos de vapor por el río Hudson, entre las ciudades de Nueva York y Albany, con el barco "Clermont" movido por ruedas laterales de paletas, que fue el primer buque que operó en forma práctica y comercial en todo el mundo. En gran parte su éxito se debió al motor de vapor a alta presión y de doble efecto, que R. Trevithick ya había perfeccionado en 1800, tal como se dijo.

En 1803 el constructor de barcos Adam Dallery en Inglaterra expuso la idea, nueva en ese país, de usar hélices en lugar de ruedas de paletas. Siguiendo esta idea, dos años después su compatriota Stevens construyó un pequeño barco de vapor con hélices gemelas que navegó con éxito. Casi simultáneamente, en 1804, el inventor norteamericano Oliver Evans, construyó un original vehículo anfibia movido por vapor. Y siete años después (1811) el primer barco de vapor de gran tamaño, el "Orleans", surcaba las aguas del río Ohio.

Ya era claro para armadores y oficiales navales que el barco de vapor no era sólo una posibilidad sino un avance técnico necesario. En 1816 un buque comercial inglés, el "Elisha", fue el primer barco de vapor que cruzó el Canal de la Mancha. Y de ese momento en adelante, la navegación a vapor avanzó aceleradamente. En 1817 es botado en los astilleros de Sevilla el primer barco de vapor que se construyó en España. Y en 1819 el "Savannah" de bandera norteamericana, barco de vela pero también con paletas laterales de madera movidas por vapor, fue el primero en atravesar el Atlántico con la fuerza del vapor, que le permitió hacerlo a la velocidad media de seis nudos, en 27 días, lo que constituyó un verdadero récord histórico.

Aaron Mando y logró un nuevo adelanto, al construir en 1822 un barco de vapor con paletas laterales de hierro, el cual hizo navegar exitosamente en el río Támesis. Tres años después, en 1825, un buque de vapor de paletas hizo el recorrido desde Inglaterra a la India en el asombroso lapso de 113 días.

Fue por aquellos años, en 1823, cuando el empresario alemán Juan Bernardo Elbers trajo a Colombia, por primera vez, los primeros barcos de vapor que navegaron el Magdalena. Eran accionados por calderas de vapor y motores de Watt de doble acción, y eran impulsados por una rueda giratoria en la popa. Los barcos del Magdalena fueron la primera expresión del desarrollo tecnológico de la Revolución Industrial en Colombia. Desde entonces la navegación a vapor comenzó a penetrar en todos los grandes ríos del mundo y a remplazar la navegación a vela en los mares.

CONCLUSION

No puede decirse que la máquina motriz de vapor fue un invento exclusivo de Watt. Pero fue él quien la convirtió de un dispositivo rudimentario e ineficiente, de usos muy limitados, en la gran fuente de potencia mecánica que impulsaría la prodigiosa transformación industrial y tecnológica del siglo XIX en Europa y los Estados Unidos. Desde los últimos años del siglo XVIII el carbón, la caldera y el motor de vapor comenzaron a mover coches, ferrocarriles, barcos, telares, bombas de agua, máquinas, herramientas y aparatos de toda clase. La máquina de vapor se convirtió en el paradigma del mundo industrializado. Y no solamente fue la gran herramienta práctica que transformó el mundo y multiplicó por miles las limitadas capacidades mecánicas del hombre y los animales, sino que produjo también una verdadera revolución en la visión del mundo. Una ciencia íntegra como la termodinámica fue construida sobre lo que pensaban Carnot, Clapeyron y Rankine de la

máquina de vapor. Si fuera necesario mencionar media docena de las creaciones físicas del hombre que más hayan transformado el mundo para ventaja suya, una de ellas tendría que ser el motor de vapor, que Watt convirtió en uno de los instrumentos más útiles que ha tenido la humanidad.

Capítulo 9

FERRERIAS, METALURGIA E INGENIERIA

ORO Y HIERRO COMO ESCUELAS DE METALURGIA

Cuando los españoles conquistaron y colonizaron sus territorios en América trajeron consigo el hierro y el acero, que ellos usaban para fabricar armas, herramientas e implementos mecánicos. Todos estos objetos estaban fabricados del metal que producían los hornos de Cataluña, Vizcaya y Toledo. En la Hispanoamérica colonial nunca se produjo hierro ni acero. El trabajo de estos metales se limitaba al de unos pocos herreros en Santafé de Bogotá, Popayán y Cartagena, quienes forjaban a mano rejas para ventanas, pequeñas herramientas agrícolas, herraduras para bestias, faroles y objetos decorativos. Aparte de la forja, la única actividad metalúrgica que ejercieron los españoles en nuestra tierra fue la de fundir campanas de bronce para las iglesias, las cuales sólo se requerían de vez en cuando y en bajo número. Sólo se sabe de un interés pasajero que tuvo don Pedro Fermín de Vargas en que se produjera hierro en la Colonia.

Fueron los libros que trajeron Mutis y sus discípulos, a raíz de la Expedición Botánica, los que probablemente introdujeron en nuestro país las primeras nociones de metalurgia. Es seguro que entre los libros de Juan José D'Elhúyar venían varios que se referían a los minerales de hierro y de cobre, y a la forma de procesarlos para obtener estos metales. Un buen indicio de que el movimiento de la Expedición Botánica debió alimentar el interés por el estudio de los metales, es que Francisco José de Caldas, en 1814, al llegar a Rionegro (Antioquia) a fundar la Escuela Militar que esa provincia le encargó, se empeñó con

éxito en fundir bronce para fabricar los primeros cañones hechos en nuestra patria, los cuales se destinaron a los incipientes ejércitos libertadores.

En los años que siguieron a las guerras de independencia, se intensificó notablemente la minería de oro en la Nueva Granada y ello creó una demanda más amplia y más intensa por artículos y herramientas de hierro. Por otra parte, el nuevo ejército demandaba implementos y armas que no podían adquirirse totalmente en el exterior.

En ese comienzo de nuestra vida independiente, y para intensificar y tecnificar la minería aurífera, vinieron a nuestro país químicos e ingenieros de minas europeos, muy bien preparados en la metalurgia de su tiempo y formados en famosas escuelas del Viejo Mundo, como Freiberg (Alemania), Upsala (Suecia) y París. Cabe recordar a los ya mencionados Jean Baptiste Boussingault, Mariano de Rivero, Tyrell Moore, Eduardo Walker, Pedro Nisser, Carlos Degenhardt y Carlos Segismundo de Greiff.

Mientras tanto, por esa misma época y hasta mediados del siglo XIX, la producción y uso del hierro en Europa y Estados Unidos tuvo una extraordinaria expansión. Por ejemplo, en Inglaterra se produjeron 170.000 toneladas de hierro en 1802, y la expansión de esta industria la llevó a un millón de toneladas en 1835 y a 3.8 millones de toneladas en 1860, como se muestra a continuación:

PRODUCCION DE HIERRO CRUDO
EN INGLATERRA, 1802-1860

Año	Producción (toneladas)
1802	170.000
1806	250.000
1820	400.000
1825	581.000
1830	653.000
1835	1.000.000
1840	1.396.000
1847	2.000.000
1852	2.701.000
1855	3.218.000
1858	3.456.000
1860	3.826.000

Fuente: John Percy, *Traité Complet de Metallurgie*.

En cuanto a Francia, que en 1819 produjo tan sólo 74.000 toneladas de hierro crudo, en 1850 elevó su producción a 246.000 toneladas; y en 1860 a 559.000 toneladas. En aquella época la producción de acero era insignificante, por el alto costo que entonces tenía el proceso de cementación con que se fabricaba al mezclar hierro gris y hierro forjado maleable descarbonizado.

La tabla anexa muestra la producción de hierro gris crudo, en 1855, en los países de Occidente:

PRODUCCION DE HIERRO GRIS
EN VARIOS PAISES, 1855

País	Toneladas
Gran Bretaña	3.000.000
Francia	750.000
Estados Unidos	750.000
Prusia	430.000
Austria	250.000
Bélgica	200.000
Rusia	200.000
Suecia	150.000
Estados alemanes	100.000
Otros países	300.000

Fuente: John Percy, *Traité Complet de Metallurgie*.

PRIMERA FERRERIA EN PACHO

En 1804 don Jacobo Wiesner, ingeniero de minas, llegó a América con una misión de colegas alemanes traída por el virrey-arzobispo Caballero y Góngora con el propósito de estudiar los recursos de oro y plata en la Nueva Granada. En 1824, recién terminada la guerra de independencia, el señor Wiesner montó en Pacho (Cundinamarca) un pequeño alto horno para obtener hierro, utilizando un yacimiento mineral que él mismo había descubierto en ese sitio. Puede decirse que en ese momento nació la siderurgia en Colombia, porque fue la primera vez que se produjo ese metal en nuestro territorio.

Wiesner había estudiado ingeniería de minas y metalurgia en Freiberg y él mismo dirigió la construcción de sus modestas instalaciones. En ellas producía hierro primario en forma de fundición gris, de la cual vaciaba algunos pocos artículos de baja elaboración.

En 1827 el gobierno otorgó a la Sociedad Franco-Colombiana de Minas un privilegio para establecer una fábrica de hierro en el país. Esa sociedad procedió a adquirir y ensanchar las instalaciones del señor Wiesner en Pacho, las cuales amplió y complementó en 1830 con técnicos franceses. La Sociedad Franco-Colombiana era propiedad de españoles como Leandro Egea y franceses como Bernardo Daste y tuvo como directores a altos personajes de su época; por ejemplo, José Manuel Restrepo y José María del Castillo y Rada. Pocos años después las instalaciones y el privilegio fueron vendidos a la Compañía Granadina. A lo largo de todo el siglo la ferrería de Pacho operó intermitentemente; tuvo diversos propietarios y sorteó muchísimas dificultades.

La Compañía Franco-Colombiana construyó un nuevo alto horno, de diez metros de altura y con una capacidad de producción de aproximadamente cuatro toneladas diarias de hierro fundido. Esa misma empresa construyó uno o dos hornos de pudelado para descarburizar el hierro y hacerlo maleable, así como un martillo de vapor para forjarlo y un laminador de cilindros para producir barras y planchas.

En esas condiciones la ferrería de Pacho convertía mineral de hierro, con carbón vegetal y caliza, en arrabio de hierro gris, del cual vaciaba piezas fundidas, las cuales transformaba, en parte, en el hierro maleable que vendía en forma de planchas y barras. La capacidad de producción de la ferrería ascendió desde unos 300 quintales mensuales al comenzar, hasta unos 600 al final, es decir desde unas 180 hasta unas 360 toneladas por año.

La tecnología que se usaba en Pacho era relativamente nueva, aun en la esfera internacional. Recuérdese que menos de 50 años atrás, en 1784, Henry Cort y Peter Onion habían inventado en Inglaterra el procedimiento del pudelado y el forjado para convertir el hierro gris crudo en hierro maleable. Poco después Cort mejoró el método a través de la fundición al fuego con coque, en un horno de reverbero, para descarburizarlo, y luego reemplazó los martillos y lo forjó con cilindros laminadores.

El privilegio que en 1827 se concedió por 15 años a la Compañía Franco-Colombiana, fue prorrogado al vencerse, por otros seis años, es decir hasta 1848.

Hacia 1835 la ferrería fue comprada por el señor Pablo Morales, en asocio con Diego Davidson y Alejandro MacDowell. Poco después la adquirió el empresario y técnico inglés Roberto H. Bunch, quien trajo nuevos técnicos desde

Inglaterra. A mediados del siglo la ferrería producía y vendía rejas para balcones y ventanas, yunques, bigornias, pisones de molinos, barras para trabajar la tierra y planchas. Algunos de estos productos eran de hierro gris fundido y otros de hierro maleable, forjado o fundido. Se consideraba que la calidad del material era muy buena y se lo comparaba con el mejor hierro de Vizcaya. En esa época Bunch construía un horno de reverbero para pudelar el arrabio del hierro gris; producía unos 32 quintales diarios (cerca de una y media toneladas), y se decía, no sin razón, que era "la mejor ferrería que hay en la América del Sur". En ese momento sólo México y Brasil tenían dos o tres ferrerías cada uno. La época en que la dirigió el señor Bunch, en los años 1850, fue la mejor en cuanto a los resultados técnicos y económicos de la empresa. En esa época la ferrería adoptó el coque como reductor y combustible para el alto horno, lo que estaba generalizándose en las siderúrgicas de Estados Unidos.

En años posteriores suspendió trabajos en varias ocasiones, cambió de dueño con frecuencia, se reestructuró en otras tantas oportunidades, trajo nuevos técnicos extranjeros, y tuvo que arrostrar muchas dificultades financieras y comerciales. En la década de 1880, enfrentó complicadas dificultades legales que agravaron su situación. Finalmente en 1896, después de 72 años de vicisitudes, la ferrería de Pacho cerró su producción definitivamente.

Dice Ospina Vásquez, muy fundadamente, que esta ferrería y las otras que hubo en el siglo pasado fueron "una escuela valiosa en el arte del empresario", y que contribuyeron a atenuar el corte feudal que tendía a adquirir, en América Latina, el poder económico de las clases pudientes.

FERRERÍA DE SAMACA

La ferrería de Pacho fue la única del país entre 1824 y 1855, hasta cuando los señores Martín Perry y Santiago Bruce, antiguos empleados de la ferrería de Pacho, comenzaron a construir en Samacá (Boyacá) un establecimiento pequeño y rudimentario para beneficiar el material de hierro de esa localidad. En esa época la ferrería de Pacho operaba con considerable éxito y eso fue lo que sin duda movió a los señores Perry y Bruce a iniciar la de Samacá.

Pero esta nueva empresa corrió con menos suerte. Su montaje inicial era sumamente pobre y no logró producir hierro durante muchos años. Pasó de unas manos a otras en varias ocasiones, y sólo se convirtió en empresa productora cuando la compró el estado de Boyacá por iniciativa de su presidente José Eusebio Otálora. El estado hizo grandes inversiones para construir un nuevo

alto horno, hornos de pudelado, hornos para fabricar ladrillos refractarios e instalaciones de agua, y para importar un completo y moderno equipo mecánico. En 1882 se hizo la primera fundición que dejó al horno completamente averiado, pero lo repararon. Hasta 1884 la ferrería trabajó en medio de no pocas dificultades y en ese año sus muchos y graves problemas obligaron a cerrarla.

En 1885 el estado de Boyacá decide prescindir de la ferrería de Samacá y adaptar sus instalaciones para convertirlas en una fábrica textil que tuvo éxito y perduró hasta bien avanzado el siglo XX.

FERRERIA DE LA PRADERA

Cuando en 1855 Perry y Bruce iniciaron el montaje de la ferrería de Samacá, otros dos antiguos técnicos ingleses de la ferrería de Pacho, Jean James y Rafael Forest, asociados con Samuel Sayer, emprendieron la explotación de un yacimiento de mineral de hierro, pocos kilómetros al norte de Subachoque (Cundinamarca). Tal como las otras dos ferrerías, comenzó con un montaje muy rudimentario, que incluía un alto horno pequeño y un cubilote para fundir el hierro. Esta empresa fue la ferrería de La Pradera. Durante varios años trabajó intermitentemente en pequeña escala y cambió de dueño en varias ocasiones. En 1877 la compraron y pusieron nuevamente en actividad Carlos Manrique, Tomás Agnew y Lorenzo Codazzi, uno de los dos hijos ingenieros de Agustín Codazzi.

Un grupo de nuevos dueños edificó, en 1881, un alto horno mayor, que producía tres toneladas diarias de arrabio. Se instaló también un nuevo cubilote, hornos para hacer coque, hornos para fabricar refractarios, hornos de pudelado, un martillo de vapor para maleabilizar el hierro pudelado y cilindros de laminación. Con estos equipos modernos y de buen nivel técnico, La Pradera aumentó y diversificó su producción en forma notable. Fabricaba masas modeladoras y fondos para trapiches, herramientas agrícolas, barras de hierro forjado y planchas en hierro maleable. Su buen desarrollo técnico le permitió producir también, en 1881, rieles que fueron encargados por el gobierno nacional para construir el ferrocarril de La Sabana, y lograr en 1882 que la producción diaria llegara hasta un nivel máximo de 4.8 toneladas por día. En estos años la empresa corrió con un buen éxito en el aspecto técnico y con resultados aceptables en el plano económico.

En 1890 se terminó de construir un alto horno, nuevo y con mayor capacidad, adaptado para emplear coque. El uso de éste como combustible y reductor

en altos hornos era entonces una innovación relativamente reciente, que en los Estados Unidos sólo se había generalizado entre 1850 y 1860.

Hay varios indicios que sugieren que la ferrería de La Pradera fue la más grande y desarrollada en el país en los años finales del siglo XIX. En 1886 empleaba 76 obreros y producía unas cuatro toneladas diarias de arrabio fundido. El gobierno había ordenado a su favor varios estímulos como subsidios, préstamos a bajo interés y pedidos por 3.000 toneladas de rieles de hierro para ferrocarril. Vicente Restrepo y Liborio Zerda, que en ese tiempo disfrutaban de prestigio como químicos e ingenieros de minas, hicieron algunos estudios sobre la ferrería de La Pradera, como los habían hecho también para la de Samacá, con el fin de decidir ensanches o construcciones en sus instalaciones, o para ayudar al gobierno en la determinación de conceder auxilios que ayudaron a la empresa a sobrevivir por varios años, hasta después de concluir el siglo XIX.

En 1905 el empresario y gerente de la empresa, general Julio Barriga, había decidido traer de Europa un mejor equipo para la ferrería, pero la crisis monetaria de ese año y las exigencias del gobierno para pagar anteriores créditos impidieron realizar ese propósito. El general Barriga murió en ese año y la ferrería cerró su producción; otros propietarios se esforzaron en mantenerla operando por otros diez años, intermitentemente y con muchas dificultades, pero en 1916 cerró definitivamente.

FERRERIA DE AMAGA

En Antioquia se despertó el interés por producir hierro desde los primeros años de vida republicana de la Nueva Granada. En 1833 un médico francés produjo el primer lingote de hierro en Medellín, a partir del mineral local, producido probablemente con carbón vegetal y caliza en un horno de fabricación casera. Dos años después el gobierno nacional otorgó una concesión a Carlos Rodríguez para montar una ferrería en Antioquia, pero no se llevó a cabo. En 1857 el gobierno confirió otro privilegio con el mismo fin, pero tampoco esta vez tuvo resultados prácticos.

El estado soberano de Antioquia concedió un privilegio a Francisco Antonio Alvarez, Pascasio Uribe y Eugenio Martín Uribe para montar una ferrería en Amagá en 1864. Un año después, estos tres vigorosos empresarios antioqueños, construyeron sus instalaciones en el paraje de La Clara, cerca de la población de Amagá en el estado de Antioquia. El compromiso de los empresarios era llegar a producir 1.200 toneladas anuales de hierro colado, forjado y malea-

ble. La ferrería de Amagá era al parecer un poco más pequeña que las de Pacho y La Pradera. Nunca recibió subsidio ni apoyo oficial pero el acierto comercial en la índole de sus productos le permitió durar hasta bien entrado el siglo XX.

Los fundadores compraron tierras y bosques, explotaron minas de hierro y de carbón, construyeron edificios y hornos, abrieron caminos e instalaron equipos, aunque algunos de ellos un poco anticuados. El primer alto horno era un antiguo modelo inglés muy pequeño y entró en producción en 1867. Comenzó a trabajar con carbón vegetal pero algunos años después fue convertido para trabajar con coque obtenido de hullas de Titiribí, porque las de Amagá no coquizaban bien. En los primeros años la dirección técnica estuvo a cargo del ingeniero de minas francés Eugéne Bonnet. Un tiempo después le sucedió otro ingeniero francés, Eugéne Lutz.

A pesar de sus deficiencias técnicas, en 1870 su producción de hierro crudo llegaba a las 1.200 toneladas anuales y era en ese entonces la empresa industrial más importante del estado de Antioquia, gracias a que desde el comienzo se orientó certeramente a producir máquinas agrícolas y mineras sencillas, como despulpadoras, ruedas Pelton, bocartes para molinos y arrastres para minas, artículos que producían en hierro fundido, gris o blanco. Por la mala calidad del carbón, y quizá por falta de equipos adecuados, esta ferrería nunca pudo procesar hierro maleable. Se mantuvo produciendo en medio de muchas dificultades financieras y técnicas. En América Latina, en esa época, solamente México, y quizás el Brasil, tenían una actividad siderúrgica mayor que Colombia. Al finalizar el siglo se reconoció que la actividad de la ferrería no solamente beneficiaba a la minería y la agricultura por el suministro de implementos y herramientas, sino que servía para impulsar y adquirir nuevos conocimientos en ingeniería, metalurgia y mecánica.

Después de varias reorganizaciones y refinanciamientos, esta empresa pudo entrar al siglo XX con cierto éxito. La reactivación económica de 1906, acierto de las reformas económicas del general Reyes, la benefició porque determinó un aumento en la demanda de ruedas Pelton, despulpadoras, alambres y láminas galvanizadas que eran productos aprestigiados de la ferrería de Amagá.

En 1916 instaló un nuevo alto horno, capaz de producir dos toneladas diarias de hierro crudo. Trabajaban entonces 60 obreros en la empresa. En esos años entra en la producción, más compleja, de molinos californianos, bombas para agua y montacargas. Su mercado se había ampliado y se había acercado gracias a que hacia 1914 había llegado hasta Amagá el ferrocarril que venía desde Medellín. En estas condiciones la ferrería trabajó a lo largo de todos los años veinte. En 1931 terminó de construir un horno nuevo de mayores dimen-

siones, con capacidad de cinco toneladas diarias, soplado con aire caliente. En ese año ocupaba ya 100 trabajadores. Pero este ensanche se hizo justamente en el momento de estallar la gran crisis financiera y económica, a la cual la ferrería no fue capaz de sobreponerse y desde entonces prácticamente terminó su vida productora de hierro primario.

FACTORES DE FACTIBILIDAD DE LAS FERRERIAS

Si se considera el atraso de la economía colombiana en el siglo XIX, así como sus enormes limitaciones técnicas, resulta realmente admirable que en el país hubieran nacido y funcionado las cuatro ferrerías indicadas: Pacho, La Pradera, Samacá y Amagá, y que lo hicieran en forma relativamente satisfactoria. Pese a todas las dificultades que las aquejaron, las ferrerías hicieron un sustancial aporte a la economía del país y fueron en su tiempo un importante factor de industrialización que desplegó entre nosotros una tecnología compleja y avanzada para su época. A pesar de que ellas no ocuparan a ingenieros colombianos, puede decirse también que representaron un paso avanzado en las técnicas de la ingeniería de aquel tiempo, no sólo en aspectos puramente metalúrgicos, sino en las construcciones, el uso de la energía hidráulica y las altas temperaturas, entre otras, que han sido siempre áreas pertenecientes al conocimiento y a la profesión de los ingenieros.

Varios factores pueden explicar la aparición, entre nosotros, de estos primeros establecimientos fabriles en el campo siderúrgico. El primero de ellos fue la existencia de yacimientos de mineral de hierro que, aun cuando eran pequeños en cantidad, contenían materiales de buena calidad y estaban convenientemente situados cerca de yacimientos de carbón y de caliza, tanto en Cundinamarca como en Boyacá y en Antioquia. En segundo lugar, desde los primeros años de la República se estableció una demanda interna pequeña pero constante de productos de hierro fundido y de hierro forjado, tales como herramientas, partes para máquinas de minería, rieles, barras para ventanas, etc., al tiempo que el abastecimiento, desde Europa o Estados Unidos, de estos productos tan pesados resultaba muy costoso por los altos fletes. En tercer lugar, hay que recordar que el gobierno nacional apoyó financieramente y comercialmente a las ferrerías de Cundinamarca y Boyacá, concediéndoles privilegios de producción, préstamos con muy bajo interés, pedidos de productos con buenos precios, y otros. El estado de Boyacá otorgó grandes subsidios a la ferrería de Samacá y finalmente se hizo cargo de su operación. En Antioquia el gobierno

del estado no extendió ayudas financieras a la ferrería pero sí le otorgó el privilegio de producción que fue sin duda un soporte importante para ella cuando se creó.

Otro factor esencial para la vida de las ferrerías fue el hecho de que la tecnología necesaria permitía construir plantas pequeñas, con una inversión comparativamente moderada, que los socios colombianos y extranjeros inmigrantes pudieron sufragar con recursos propios. No debe olvidarse tampoco que el país disponía de abundantes bosques para producir carbón vegetal a bajo costo, así como buenas minas de hulla, indispensables en las ferrerías para calentar los hornos y para convertir el mineral de hierro en metal, por reducción química con carbón.

Un aspecto fundamental en la vida de las ferrerías fue el aporte en conocimiento y experiencia técnica de los inmigrantes y visitantes que las fundaron y las operaron. Tales fueron los casos de Wiesner, Daste, Perry, Bruce, Forest, Bunch, Bonnet, Agnew, Lutz y otros. Cabe también mencionar el mérito que corresponde al espíritu empresarial que ellos aportaron junto con el de los inversionistas colombianos que arriesgaron sus modestos recursos financieros en dichas empresas, como José María del Castillo y Rada, Lorenzo Codazzi, Pascasio Uribe y otros varios.

TECNOLOGIA DE LAS FERRERIAS EN EL SIGLO XIX

En el siglo XIX el acero era un producto muy poco conocido, aun en países desarrollados como Inglaterra y Estados Unidos. La industria siderúrgica internacional consistía básicamente en obtener hierro primario (también llamado hierro crudo, arrabio, fundición bruta o *pig iron*) que en su mayor parte volvía a fundirse, en crisol o en cubilote, para colar objetos de hierro gris o de hierro blanco. Otra parte menor del hierro primario se pasaba a hornos de pudelado donde se calentaba a altas temperaturas y se agitaba al aire, a mano, para oxidar el exceso de carbón del hierro crudo; una vez pudelado y descarburizado, el hierro se pasaba a un martillo, o bien a cilindros laminadores, para forjarlo y darle maleabilidad, y producir objetos de hierro forjado como barras, rieles, o piezas mecánicas de mayor resistencia, las cuales se vendían en el comercio junto con las piezas de hierro fundido y con barras y planchas de hierro forjado.

Hacia 1850 Inglaterra era el país más desarrollado del mundo con una producción de aproximadamente 2.5 millones de toneladas anuales de hierro, tanto

forjado como de fundición, mientras su producción de acero era apenas de unas 40.000 toneladas anuales.

La operación industrial de las ferrerías nacionales trataba de emular a la siderurgia internacional. Todas partían del mineral de hierro, lo cargaban en un alto horno con carbón vegetal o con coque, agregaban caliza como fundente, encendían el alto horno al cual insuflaban aire, y lo mantenían en combustión durante un lapso de 18 a 25 horas para obtener así el hierro fundido en lingotes. Después, en un horno de cubilote, o al crisol, lo convertían en artículos comerciales de hierro fundido, o lo pasaban a un horno de pudelado para convertirlo en hierro maleable, que se pasaba luego al martillo para elaborarlo como hierro forjado en barras o planchas.

Considerando las operaciones mecánicas y metalúrgicas de una ferrería típica de aquéllas, puede decirse que ellas incluían en esencia las siguientes operaciones unitarias:

1. Trituración de los minerales de hierro y de caliza para el alto horno, y de arcillas para producir ladrillos refractarios. En etapas iniciales y rudimentarias de las ferrerías se hacía en forma manual. Cuando ellas crecieron y se modernizaron se trabajaba con molinos de piones movidos por fuerza hidráulica.
2. Reducción del mineral a arrabio, en altos hornos. Inicialmente estos hornos eran muy pequeños (de 4 a 6 m de altura y de 1 a 1.5 toneladas de producción por día). En las primeras épocas utilizaban carbón vegetal, pero a fines del siglo trabajaban con coque. Con el tiempo hubo hornos hasta de 6 a 7 toneladas de hierro diarias.
3. Coquización de la hulla en pequeños hornos de colmena, sin recuperar los subproductos.
4. Soplado de aire al alto horno con fuelles movidos por fuerza hidráulica. En las primeras épocas se aplicaba aire frío, pero posteriormente, con altos hornos más grandes, este aire era previamente calentado.
5. Colado del hierro crudo o arrabio, directamente en moldes, para elaborar algunos objetos o para formar lingotes.
6. Refundición de los lingotes de hierro crudo, en crisol o en cubilotes, para moldear objetos de hierro gris y hierro blanco.
7. Pudelado del hierro crudo o arrabio en horno de reverbero, con agitación a mano, para descarburizarlo y obtener así hierro maleable, en lotes intermitentes de bolas de aproximadamente una arroba cada una.

8. Recalentamiento de las bolas de hierro maleable para pasarlas al martillo, en una forja o martillo-pilón, accionado por vapor, con el fin de obtener hierro maleable forjado (en inglés, *wrought-iron*).
9. Como procedimiento alternativo al de martillo-pilón, las bolas de hierro pudelado y calientes eran forjadas en cilindros laminadores, accionados por vapor o fuerza hidráulica, los cuales producían el hierro maleable forjado, en forma de planchas o barras.
10. Ocasionalmente, el hierro maleable también era refundido, en crisol o en cubilotes, para colar objetos fundidos de este material.
11. Producción de ladrillos refractarios, a partir de arcillas molidas, mezcladas y moldeadas a mano o en máquina y cocidas en horno a alta temperatura. Estos ladrillos eran indispensables para efectuar los recubrimientos internos del alto horno, del horno de reverbero, del cubilote, de los hornos para fundir en crisol y de los hornos cerámicos donde se procesaban los mismos ladrillos.

Una relación de los equipos que la ferrería de Samacá poseía en 1884, cuando estaba en el mejor momento técnico de su breve vida productiva, sirve para describir con muy buena aproximación lo que en ese tiempo podían tener las otras ferrerías del país en sus respectivas instalaciones. En ese momento la dotación de la de Samacá consistía en:

1. Varios hornitos de colmena para hacer coque a partir de hulla.
2. Seis calderas de vapor y una de locomotora para generar potencia mecánica.
3. Varios motores de vapor que accionaban el ventilador del alto horno, una sierra para madera y otras máquinas, y las bombas de agua para las calderas.
4. El alto horno de 15 m de alto y 12 de diámetro en la base, con 35 m³ de capacidad interior, capaz de producir siete toneladas de hierro crudo en 24 horas, equipado con sopladores y con una estufa para calentar el aire de entrada.
5. Un horno de cubilote (o de cuba) para refundir los lingotes de arrabio.
6. Una sala de moldes para vaciar piezas fundidas en hierro.
7. Un horno de reverbero, de pudelado, para convertir la fundición blanca del alto horno en hierro maleable; su capacidad era de 30 quintales cada 24 horas.

8. Un martillo o forja para lingotear el hierro maleable, con capacidad de 15 quintales por día.
9. Una unidad de cilindros laminadores, accionados por agua, para elaborar planchas de hierro maleable.
10. Un horno de recalentamiento de los lingotes de hierro maleable formados en el martillo, para laminarlos.
11. Un horno para quemar caliza y convertirla en cal viva con la cual se cargaba el alto horno, junto con el coque y el mineral de hierro.
12. Taller y herrería dotado de tornos, taladros, cepillo para hierro, acanaladora, desbastadora, pulidora, afiladora para herramientas, motor de vapor, fraguas y yunques.
13. Carpintería dotada de cepilladora, escopleadora, afiladora para herramientas y otras máquinas para trabajar madera.

Además de estos equipos, bastante completos para la finalidad que se perseguía, Samacá compró en Inglaterra dotación adicional, que en ese tiempo era bastante sofisticada; se trataba de maquinaria para laminar rieles, para hacer hierro en barras, para trefilar alambres, para preparar el hierro pudelado para los cilindros laminadores, para cortar las puntas de los rieles, para enderezar y enrollar barras, para hacer ladrillos refractarios, para fabricar tuercas y tornillos, así como un martillo de vapor más grande, una grúa, un torno y un pequeño martillo de vapor.

Puede verse que las ferrerías utilizaban una tecnología muy actualizada en su tiempo, incluyendo, por ejemplo, el sople por aire caliente al alto horno, que había sido inventado por Beaumont Neilson en 1829, y el martillo de vapor de alta potencia que habían inventado separadamente James Nasmyth en Inglaterra en 1839 y George Bourdon en Francia en 1840.

Los técnicos que dirigieron las operaciones en las ferrerías eran todos extranjeros (ingleses, norteamericanos o franceses), formados en sus países de origen como ingenieros de escuela o como practicantes empíricos, y que al venir a Colombia ya estaban curtidos en el ejercicio de los oficios de las ferrerías. Ese fue el caso de Bernardo Daste en Pacho; de Eugène Bonnet y Eugène Lutz en Amagá; de Martín Perry, James Bruce, Michael Southan y Theodore Brown en Samacá, y de John James y Rafael Forest en La Pradera. Como el Colegio Militar de Ingeniería se fundó en 1849 y en él no se enseñaba nada sobre metalurgia, y como en 1850 se prohibió absurdamente la expedición de títulos profesionales, los pocos egresados de ese instituto no estuvieron en condiciones de hacerse cargo de las complicadas y exóticas tareas técnicas de las

ferrerías antes de que éstas se cerraran. En contraste, en Antioquia algunos ingenieros civiles y de minas de las primeras promociones de la Escuela Nacional de Minas trabajaron en la ferrería de Amagá, pero nunca dirigieron las operaciones más especializadas como la del alto horno o el pudelado.

FUNDICIONES EN ANTIOQUIA AL FINAL DEL SIGLO

El desarrollo de la minería aurífera en Antioquia determinó a lo largo del siglo XIX una acumulación paulatina de capacidades empresariales y conocimientos técnicos, tanto por inmigrantes europeos y sus descendientes como por personas oriundas de la región. Ese desarrollo minero —en especial el de la minería de filón— planteó una gran demanda de piezas y partes metálicas y mecánicas para equipo de minas, al mismo tiempo que la expansión de las siembras de café intensificó la demanda de aparatos y herramientas para el cultivo y beneficio de este grano. En estas circunstancias, durante el último tercio del siglo pasado surgieron en Medellín y en las poblaciones aledañas varias empresas pequeñas de fundición y taller mecánico, que mantuvieron vivo en ese departamento el interés por las técnicas metalúrgicas, que ya se había manifestado desde la fundación de la ferrería de Amagá.

La más importante de esas industrias fue la fundición y taller de maquinaria que instaló entre 1870 y 1873 el inmigrante alemán William Reginaldo Wolff, cerca de la población de Titiribí, para la empresa minera El Zancudo. La fundición fue uno de los establecimientos industriales más importantes del país tanto por los artículos que producía, como porque en ella se popularizaron y diversificaron los conocimientos y la experiencia empírica asociados con esta actividad técnica. El taller estuvo en actividad por muchos años y en él se construían partes para molinos de mineral, piezas de hierro y repuestos de toda clase para los equipos de la mina. Tiene el mérito de haber sido allí donde se construyó el primer molino californiano que se fabricó en Colombia. Tenía constante comunicación con diseñadores y constructores de maquinaria de Europa. Posteriormente el señor Wolff instaló en Medellín su propia fundición, en la cual produjo distintos implementos para agricultura y partes para equipo minero.

Hacia 1875 algunos empresarios antioqueños asociados al señor Augusto Freydel, quien aportaba el conocimiento técnico, establecieron otra empresa para fabricar planchas de hierro, trapiches, fondos de hierro para trapiches, fondos de cobre y pisones de bronce. Esta empresa también duró hasta fines del siglo pasado.

En 1888 el señor Jesús Villa, hermano del conocido ingeniero José María Villa, estableció otra empresa en Medellín para trabajar en fundición y forja de hierro y cobre, y para hacer trapiches, herramientas mineras y armas de fuego. En la misma época un pequeño capitalista y un mecánico de la población de Girardota crearon la Fundición de Metales de Girardota (1888), la cual sirvió por mucho tiempo como fundidora de partes y taller de reparación para el ferrocarril de Antioquia; llegó a tener instalaciones y capacidad técnica tan buenas que allí se repararon y reconstruyeron muchas máquinas, que entonces se estaban importando, para las primeras fábricas de textiles del departamento. La capacidad de fundición en este establecimiento fue inicialmente de 125 kilos diarios y con el tiempo se amplió hasta 300 kilos.

En la población de Caldas, Antioquia, aparecieron varias fundiciones que fabricaban despulpadoras, trilladoras, bocartes y ruedas Pelton. Una de las más grandes fue la del señor Antonio J. Quintero, quien poseía una extraordinaria habilidad para aprender experimentando y para resolver problemas técnicos con limitados recursos. Este taller se convirtió en uno de los principales fabricantes de maquinaria para beneficiar café, y produjo artículos tan variados como bocartes, pailas, arrastres, ollas, fondos para trapiches, taladros para metales, relojes para torres de iglesias, cuchillos, ruedas de ferrocarril y repuestos de toda clase. Esta empresa operó hasta después de 1910.

La Escuela de Artes y Oficios que en 1864 fundó el estado de Antioquia, bajo la presidencia del general Pedro Justo Berrío, fue un centro para difundir las técnicas mecánicas y metalúrgicas necesarias para el fomento de la minería, el cultivo del café y las industrias fabriles que en ese tiempo comenzaban a desarrollarse. Allí se instalaron tornos, taladros, fresas y otros para fabricar herramientas, movidos por energía de una máquina de vapor. Durante la guerra civil de 1876, en la escuela se producían armas y municiones, que algunos consideraban de calidad similar a la de las importadas. Se reparaba equipo agrícola y se fabricaban trapiches, despulpadoras de café, pulverizadoras de quinina, prensas para frutas, bombas para agua en las minas y repuestos para telegrafía. Estaba dotada con una fundición para hierro, cobre y bronce, la cual trabajaba, como casi todas las de su tiempo, con un sistema de crisol a fuego directo.

En 1896 apareció en Medellín una fundición pequeña, el taller de San José, que fundía partes y construía trapiches, ruedas Pelton y despulpadoras de tamaño reducido para pequeños cafeteros. En el mismo año, tres socios antioqueños constituyeron la fundición La Estrella, en la población de ese nombre, cerca de Medellín. Esta empresa prosperó extraordinariamente y llegó a ser una de las mayores productoras de máquinas para beneficiar café en Colombia, ya

bien entrado el siglo XX. Años después de establecida se trasladó a la fracción de Robledo, también cerca de Medellín, y allí fue completamente reparada y reconstruida toda la primera maquinaria importada de Inglaterra con destino a la Compañía de Tejidos de Bello. Con el nombre de Talleres Robledo funcionó hasta mediados del siglo XX cuando fue absorbida por la Empresa Siderúrgica de Medellín. En 1916 empleaba 45 obreros, lo que para su tiempo significaba una dimensión grande entre las fundiciones. Entre 1914 y 1930 produjo 4.500 despulpadoras.

Estos establecimientos y otros menores dan prueba de un gran interés por la industria metalmecánica desde esa época. Las máquinas, las partes y los repuestos que fabricaban se distribuían no sólo en Antioquia sino en el resto del país. Es de destacar que algunos de esos artículos eran, en cierta medida, de invención o de diseño autóctono, adaptados a las necesidades específicas de la minería, los ferrocarriles y las empresas agrícolas.

Ciertamente Antioquia fue el principal centro de fundiciones y talleres mecánicos a fines del siglo pasado, pero también en otras regiones mineras y cafeteras se crearon establecimientos. Así ocurrió por ejemplo en Bucaramanga, donde los hermanos Penagos, inmigrantes españoles sefarditas, instalaron a fines del siglo pasado una fundición que ha llegado hasta nuestros días. La gran destreza técnica de los Penagos y de sus obreros les permitió fundir y maquinar cañones que fueron usados por los ejércitos liberales durante la guerra civil de los Mil Días.

Al finalizar el siglo no había en Bogotá fundiciones de este estilo, porque los productos que inundaban el mercado eran fabricados en las ferrerías de La Pradera y Pacho que todavía trabajaban en aquellos años. En cambio se hallaban fundiciones pequeñas en Cartagena, Manizales y Palmira.

Aunque algunas de las cuatro ferrerías produjeron artículos de hierro fundido en crisol a fuego directo, y todas fundían hierro gris y hierro blanco en cubilote, el auténtico método de fundir al crisol se adoptó en el país en las pequeñas y medianas fundiciones y talleres de Antioquia y de otras ciudades, durante los últimos decenios del siglo XIX.

Para la época en que se crearon, estos establecimientos entrañaban un nivel técnico bastante alto en nuestro medio. Basta considerar cuáles son los conocimientos y las técnicas en ingeniería que se requieren en una fundición de este tipo, aun de tamaño pequeño, para ser manejada con propiedad:

1. Termometría. Calores de combustión. Capacidad calorífica y calor específico. Punto de fusión y calor de fusión. Fundentes y fluxes. Expansión térmica.

2. Metales sólidos. Aleaciones. Estructuras microcristalinas. Corte mecánico de metales. Química de metales.
3. Hornos y hogares. Hulla y coque. Ventilación. Ventiladores o fuelles. Aislamientos térmicos. Materiales refractarios. Chimeneas. Cenizas.
4. Crisoles: tamaños, materiales y formas. Moldeo.
5. Ladrillo refractario. Arcillas, cuarzo y otros refractarios. Propiedades físicas de minerales cerámicos. Cocimiento de refractarios. Hornos para refractarios: diseño y operación. Aislamientos térmicos. Piroresistencia.
6. Arenas de moldeo. Materiales constituyentes. Granulometría. Puntos de fusión.
7. Moldes. Construcción. Diseño. Coeficientes de expansión térmica. Respiraderos. Noyos, matachos, núcleos.
8. Conducción de calor. Radiación. Convección.

Como dijimos, los conocimientos y las técnicas que demandaron las funciones en el siglo XIX fueron aportados por técnicos inmigrantes como Wolff, Freydel y Penagos, y por nacionales que las aprendían a su lado o directamente en los talleres que fundaban, como Quintana, Villa, Estrada. En el caso de Antioquia la presencia de una institución de buen nivel técnico, la Escuela de Minas, influyó a través de sus egresados en la formación de estos talleres y en su mejoramiento técnico. En Bogotá, ni el Colegio Militar de Ingeniería ni la Universidad Nacional tuvieron influjo directo en este sentido, ya que esos institutos no impartían preparación específica en metalurgia a sus estudiantes. Además, la demanda de conocimientos técnicos en siderurgia se localizaba en las tres ferrerías en el centro del país, y era atendida por técnicos que esas mismas empresas trajeron del exterior.

PRIMEROS FERROCARRILES Y METALURGIA

Desde los primeros años setenta del siglo pasado comenzaron a construirse ferrocarriles en el actual territorio colombiano (entre 1849 y 1855 había sido concluido el ferrocarril de Panamá). Entre 1870 y la guerra civil de 1885 se construyeron los ferrocarriles Barranquilla-Puerto Colombia y Cúcuta-río Zulia, y se iniciaron los de Puerto Berrío-Medellín, Buenaventura-Cali, La Dorada-Honda, Girardot-Facativá, Puerto Wilches-Bucaramanga, y el de la Sabana. La construcción de estos ferrocarriles planteaba una inusitada demanda de herramientas mecánicas, y el rodaje de los primeros trenes exi-

gía el suministro de partes y repuestos de hierro y cobre, en una magnitud que antes no se conocía. Muchos de estos productos debieron ser fabricados en las herrerías, especialmente en las de Cundinamarca y Boyacá. Pero pronto se vio que los ferrocarriles mismos debían tener, anexos a sus ferrovías, talleres equipados para fundir y maquinari partes y piezas, incluyendo en ellas algunas de tamaño mayor.

La construcción de ferrocarriles se originó e impulsó por el auge del cultivo y exportación del café, que necesitaba más y mejores vías de transporte al río Magdalena; por el ejemplo de otros países suramericanos que entraban con entusiasmo en la actividad ferrocarrilera, y por el apoyo financiero y fiscal que la Nación y los estados soberanos dieron desde el principio a los ferrocarriles. En cuanto al surgimiento de los talleres en los ferrocarriles, ello fue una decisión impuesta por la urgencia inaplazable de atender los problemas que imponían la construcción de las ferrovías y la operación de los trenes, y se facilitó considerablemente gracias a la comprensión de estos problemas técnicos por los mismos ingenieros civiles que trazaban y construían las líneas férreas, y a la actitud favorable para adoptar estas innovaciones tecnológicas.

En su tiempo fueron especialmente activos los talleres de Barranquilla, La Dorada, Girardot y Facatativá. Se trataba de talleres pequeños que sin embargo disponían de hornos de fundición en crisol, tornos, fresadoras y otras máquinas para el trabajo de los metales. Allí se hacían y reconstruían piezas pequeñas y grandes para locomotoras y vagones; se torneaban y fresaban partes y repuestos, y se aprendió el uso de la soldadura manual de plomo y estaño.

En los talleres ferroviarios se practicó y se divulgó el conocimiento de la fundición y el moldeo de piezas de cobre, bronce, latón, hierro y acero; se trabajó en el torneado, fresado y cepillado de metales; se realizó por primera vez el diseño mecánico elemental y el dibujo de máquinas; se aprendió a conocer las diferencias relativas a las propiedades mecánicas de los metales; se construyeron por primera vez partes y piezas metalmecánicas pesadas, y se adquirió familiaridad con la operación de equipos industriales que antes estaban confinados a las herrerías, como el cubilote para fundir hierro, las calderas y los motores de vapor, los hornos para fundir, las máquinas-herramientas para trabajar metales, las forjas y las fraguas, etcétera.

Estos talleres fueron instalados por los ingenieros constructores de los ferrocarriles, quienes suplían su falta de experiencia con una buena preparación técnica básica, y eran ayudados por operarios que rápidamente se capacitaban en el conocimiento de estos nuevos recursos técnicos. Cabe señalar que desde que vinieron al país los padres salesianos y establecieron sus conocidas escue-

las industriales, empezaron a enseñar oficios como el de fundidor y otros, bien adaptados a la operación de los talleres ferroviarios.

En los años finales del siglo XIX los mencionados talleres ferroviarios, junto con las ferrerías de Amagá y La Pradera (únicas que funcionaban en 1899) y con las fundiciones y talleres ya mencionados en Antioquia y Bucaramanga, constituían el plantel industrial siderúrgico-metalmecánico de Colombia.

LA METALURGIA Y LA ESCUELA DE MINAS DE MEDELLIN

A comienzos del siglo pasado el interés en la minería aurífera de filón, que entonces comenzó a cobrar especial auge, llamó la atención en Antioquia sobre las actividades técnicas asociadas a la explotación del oro. Ya se mencionó cómo a partir de 1822 llegaron al país varios ingenieros europeos con el propósito de mejorar el nivel técnico de la minería en Antioquia: Boussingault, Moore, De Greiff, Nisser, etc. De ellos, los mineros e ingenieros antioqueños aprendieron conocimientos técnicos relacionados con las minas de veta de metales preciosos: rudimentos de la hidráulica, mucho de mineralogía y geología, prácticas topográficas, química de los metales y técnicas metalúrgicas como la amalgamación, la cianuración, la fusión y la copelación del oro y de la plata. Los primeros ingenieros que hubo en Antioquia, que estudiaron en Estados Unidos y en Bogotá, consagraron especial interés al estudio de la metalurgia. Este fue el caso de Santiago Ospina, Vicente Restrepo, Luis Tisnés, Francisco de Paula Muñoz, Tulio Ospina y otros.

Estos antecedentes explican por qué, desde que comenzó sus clases en 1888, la Escuela de Minas de Medellín estableció su cátedra de metalurgia, especialmente orientada al conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los metales preciosos y a la técnica para extraerlos y refinarlos, sin omitir el tratamiento más general y más amplio de las ciencias metalúrgicas para todos los metales, especialmente los procesos, las propiedades y los usos del hierro y el cobre y sus aleaciones, que eran los metales industriales más usados en su tiempo. El interés por la metalurgia en la Escuela de Minas y los conocimientos allí impartidos a sus egresados llevaron a varios de éstos a interesarse y a trabajar no sólo en las minas de oro y plata, sino en los talleres y fundiciones como los de El Zancudo, la ferrería de Amagá y los demás talleres mencionados.

Por el contrario, ni el Colegio Militar de Ingeniería ni la Universidad Nacional tuvieron cátedra de metalurgia a lo largo del siglo XIX, y por esta razón, entre otras, los ingenieros de Bogotá no se vieron vinculados en un principio a

empresas o actividades de esta índole. Sólo lo hicieron cuando, como diseñadores y constructores de ferrocarriles, se vieron en la necesidad de instalar los talleres de fundición y reparación, de los cuales ya se habló.

A fines del siglo pasado el texto de enseñanza de esta materia en la Escuela de Minas era la *Métallurgie* de Le Verrier, que daba un buen tratamiento tanto a los aspectos de metalurgia química como a los de metalurgia física, y trataba particularmente los casos del hierro, el cobre, sus aleaciones, y los metales preciosos.

DOS TEXTOS CLASICOS DE METALURGIA

Escrito en Inglaterra en 1864, el libro de John Percy, traducido al francés con el nombre de *Traité complet de Métallurgie*, constituía a fines del siglo pasado, en Europa y América, el más extenso y completo compendio de conocimientos sobre la metalurgia y sus aplicaciones industriales. Distribuido en cinco gruesos volúmenes, el libro de Percy era realmente una enciclopedia sobre los conocimientos empíricos y la ciencia metalúrgica del momento. Un repaso de su contenido permite mostrar el gran avance que esta ciencia había experimentado en los años iniciales y a mediados del siglo XIX. Este era un libro de referencia para los profesores y estudiantes de la Escuela de Minas entre 1870 y 1920; su contenido muestra también el buen grado de información y saber metalúrgico que se impartía en esa institución.

Veámoslo:

1. Tomo primero

Introducción

Panorama histórico de la metalurgia

Hierro

Acero

Cobre

Estaño

Plomo

Zinc

Níquel

Metales diversos

Oro y plata

Libro primero

Consideraciones generales sobre los procedimientos metalúrgicos

Minerales

Procedimientos metalúrgicos

Escorias

Libro segundo

Combustibles

Poder calorífico

Intensidad calorífica

Clasificación de combustibles

Madera, turba, hulla, carbón vegetal, carbón o coque de turba, coque, gas combustible.

Libro tercero

Materiales refractarios naturales que sirven para la fabricación de crisoles, moldes y ladrillos refractarios para hornos, etc.

Arcillas refractarias

Crisoles

Hornos de viento

Ladrillos refractarios

Apéndices:

1. Turba
2. Limpieza de carbones
3. Hornos de coque
4. Horno Appolt
5. Hornos Siemens
6. Productos refractarios

2. Tomo segundo**Libro primero**

Propiedades físicas y químicas del hierro

Propiedades físicas

Hierro puro. Hierro cristalino

Propiedades químicas

Hierro y oxígeno. Hierro y agua. Hierro y azufre. Sulfuros de hierro tostados al aire. Hierro y nitrógeno. Hierro y fósforo. Manganeso y fósforo. Hierro y arsénico. Silicio. Manganeso y silicio. Hierro y silicio. Hierro y boro. Hierro y carbón. Hierro e hidrógeno. Acción del ácido sulfúrico o del ácido clorhídrico sobre fundición.

Aleaciones del hierro

Hierro y cobre. Hierro y zinc. Hierro, cobre y zinc. Hierro y manganeso. Hierro y estaño. Hierro y titanio. Hierro y plomo. Hierro y antimonio. Hierro y bismuto. Hierro y níquel. Hierro y cobalto. Hierro y mercurio. Hierro y plata. Hierro y oro. Hierro y platino. Hierro y rodio. Hierro y paladio. Hierro e iridio-osmio. Hierro y aluminio. Hierro y cromo. Hierro y tungsteno. Hierro y molibdeno. Hierro y vanadio. Hierro y tántalo. Hierro y potasio. Hierro y glucinio. Hierro y estroncio. Hierro y bario. Hierro y calcio. Hierro y magnesio.

Minerales de hierro

Ensayo de los minerales del hierro

Ensayos por vía seca. Ensayos por vía húmeda.

Libro segundo

Extracción directa del hierro en estado maleable de su mineral. Hierro fundido en la India; en Birmania; en Borneo; en Africa; en Madagascar. Procedimiento catalán. Procedimiento ligur. Fundición en Stuckofen. Horno sueco o de Osmund. Stuckofen u horno de lascas. Procedimiento Clay. Procedimiento Renton. Procedimiento Chenot. Procedimiento Yates.

Apéndices:

1. Descripción de los minerales de la Gran Bretaña.
2. Métodos analíticos del Laboratorio Metalúrgico y de la Escuela de Minas de Londres.
3. Minerales de Francia.

3. Tomo tercero

Libro tercero

Extracción indirecta del hierro en estado maleable de su mineral

Descripción de los altos hornos

Máquinas sopladoras

Aire caliente

- Gases de altos hornos
- Forma y dimensiones de los altos hornos
- Manejo de los altos hornos
- Escorias de los altos hornos
- Accidentes de los altos hornos
- Análisis del hierro colado
- Cargas y rendimientos de los altos hornos
- Dimensiones, cargas y rendimientos de altos hornos en Prusia

Libro cuarto

Conversión de la fundición de hierro maleable

Apéndices:

1. Hornos de tostación
2. Máquinas sopladoras
3. Aparatos de aire caliente
4. Accesorios de ventiladores
5. Extracción de gases en altos hornos
6. Montacargas
7. Construcción de altos hornos
8. Forma, dimensiones y condiciones de trabajo de altos hornos
9. Manejo de altos hornos
10. Modos de tratamiento particular
11. Descripción y operación de plantas de fundición
12. Calidad y clasificación de las fundiciones

4. Tomo cuarto

Pudelado

Trabajo de la bola de hierro

Conversión del hierro bruto en hierro comercial o hierro terminado

Fabricaciones especiales

Calidades de los hierros

Procedimientos diversos

Planos de plantas de hierro

5. Tomo quinto

Del acero

- Fabricación de acero por adición de carbón al hierro maleable
- Fabricación de acero por descarburación parcial de la fundición
- Fabricación de acero por fusión de hierro gris con hierro maleable
- Acero fundido
- Propiedades físicas
- Propiedades químicas
- Fabricación de cobre en Gran Bretaña
- Fundición del cobre
- Extracción del cobre por vía húmeda
- Metalurgia del zinc
 - Propiedades físicas
 - Propiedades químicas
 - Procedimientos de extracción del zinc
 - Ensayo de minerales de zinc
- Del latón
 - Fabricación del latón

En la escuela europea, y en particular en la francesa, que fue la que dominó en nuestro medio hasta entrar el siglo XX, el grado de particularización y de rigor que se aprecia en esta relación que transcribimos era bien típico de los tratados europeos especializados en temas científicos o técnicos. A principios del siglo XX empieza a sentirse la influencia de la nueva tecnología norteamericana, más dirigida a las aplicaciones industriales y menos prolija en los fundamentos científicos de la metalurgia. Una buena muestra de esto es el texto *Principles of metallurgy. An introduction to the metallurgy of the metals*, de Charles Herman Fulton, que comenzó a usarse como texto en la Escuela de Minas hacia 1915, cuando los profesores de esa materia eran el ingeniero belga Enrique Ehrensperger y el ingeniero colombiano Fernando Escobar. Siendo el libro de Fulton un texto prototipo de lo mejor de su tiempo en metalurgia, es ilustrativo exponer su contenido, que estaba organizado en 14 capítulos, así:

Capítulo I	Metales y metalurgia desde el punto de vista histórico
Capítulo II	Mezclas físicas y análisis térmico
Capítulo III	Propiedades físicas de los metales
Capítulo IV	Aleaciones
Capítulo V	Propiedades físicas de aleaciones
Capítulo VI	Medición de altas temperaturas
Capítulo VII	Operaciones metalúrgicas típicas

Capítulo VIII	Escorias
Capítulo IX	Matas sulfurosas, buliones crudos y <i>speise</i>
Capítulo X	Materiales refractarios para hornos
Capítulo XI	Combustibles
Capítulo XII	Combustión
Capítulo XIII	Hornos. Producción y calentamiento de sople
Capítulo XIV	Un ejemplo que ilustra la química y la física de una operación de colada. El horno soplado para cobre.

LA METALURGIA ANTES DE LA GRAN CRISIS

Al terminar la guerra civil de los Mil Días, en 1903, las pequeñas y muy escasas industrias colombianas estaban al borde de la ruina, pero las acertadas reformas monetarias y arancelarias del general Reyes y su inteligente política de fomento a la inversión reanimaron la débil actividad fabril. Antioquia fue la principal beneficiaria de la nueva situación gracias a que se había salvado de la destrucción física causada por la guerra y a que en ese momento comenzaba a recoger el fruto de la acumulación de capitales que se habían formado alrededor de la minería del oro.

En los primeros decenios del siglo XX la expansión del café amplió en gran medida el mercado de artefactos para el beneficio del grano, y los ferrocarriles demandaban mantenimiento y reconstrucción de su maquinaria. Estas circunstancias, unidas a los primeros resultados de la labor didáctica de los padres salesianos, que habían establecido sus institutos de enseñanza vocacional y técnica hacia fines del siglo XIX, dieron como resultado la necesidad de mejorar la labor de las ferrierías y las fundiciones. Para ese entonces varios talleres continuaban fabricando, con relativo éxito, maquinaria agrícola y minera. Entre ellas estaba la ferrería de Amagá, que trabajó hasta 1931, cuando apagó el alto horno. (La Pradera se había clausurado en 1916). Hay evidencias de que en esa época surgieron otras fundiciones en Medellín, Sonsón, Manizales y Armenia.

Desde fines de los años diez y principios de los veinte, algunos de estos talleres y algunas incipientes fábricas de artículos metálicos adoptaron la soldadura autógena (oxiacetilénica). Es casi seguro que también empezaron a usarse máquinas para doblar tubos y láminas de hierro y acero.

En esa época los talleres ferroviarios más grandes eran los de Facatativá y Girardot, a los cuales seguirían poco tiempo después los de Chipichape (Cali) y Bello (Antioquia). Hacia 1940 el taller de Chipichape era considerado como

el mejor taller de ferrocarriles en Suramérica. Su construcción moderna fue dirigida por el ingeniero Neftalí Sierra. Estaba dotado con una excelente fundición con crisoles y cubilotes, excelentes talleres de maquinado y ajuste, una gran carpintería, un completo salón de modelos, prensas y otras máquinas para deformación, una casa redonda, excelentes instalaciones para reparaciones eléctricas, etcétera.

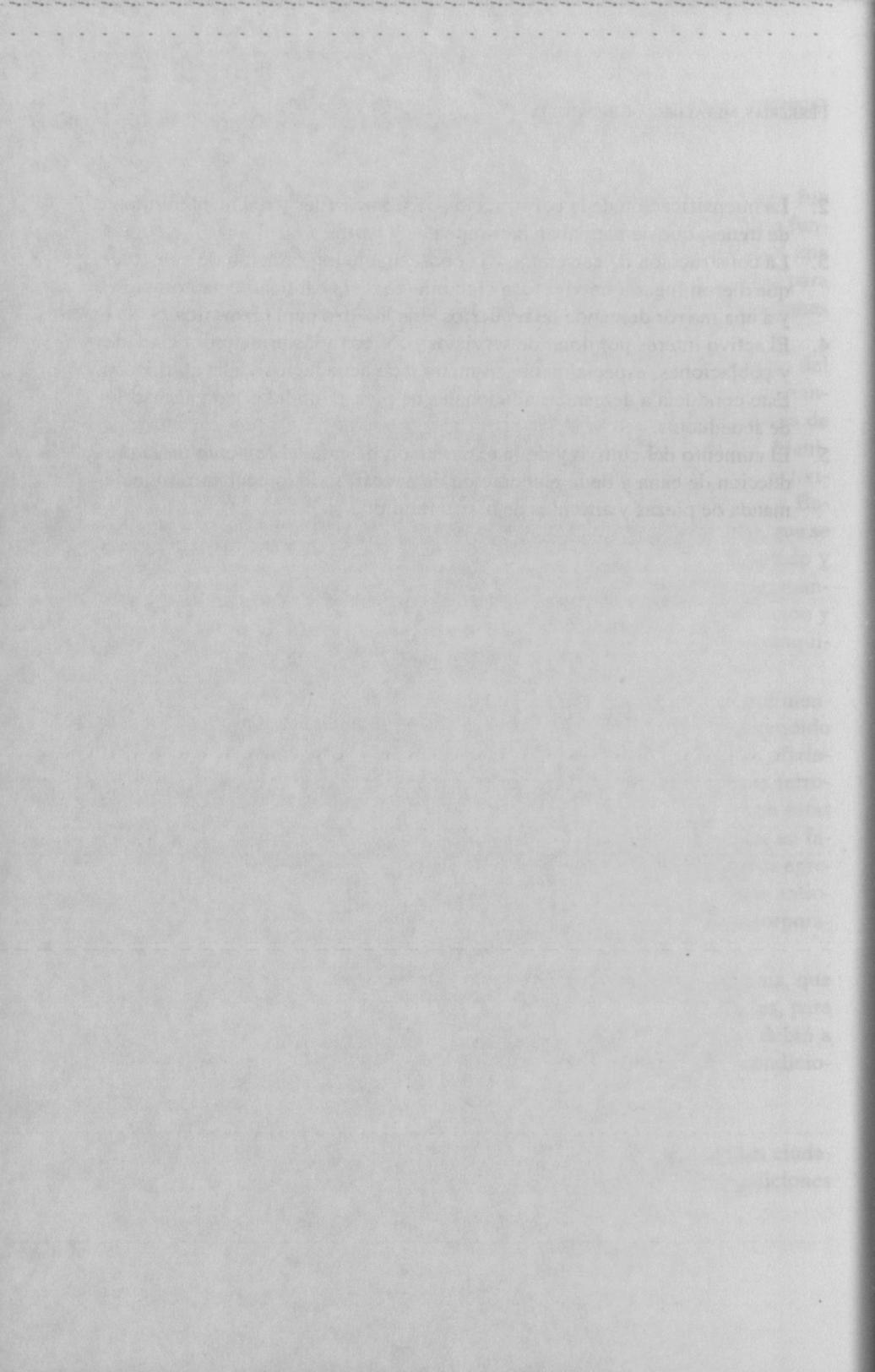
Entre 1920 y 1930 el plantel industrial metalúrgico y metalmecánico del país era aún muy pequeño, pero ya constituía un factor importante de la naciente producción industrial. Para entonces existían unas 20 ó 25 fundiciones de diversos tamaños localizadas en Medellín, Bogotá, Bucaramanga, Cali, Manizales, Ibagué, Armenia y Barranquilla. Funcionaban también en plena actividad talleres ferroviarios en Facatativá, Girardot, Cali, Bello, Zipaquirá y Barranquilla, y había algunas industrias particulares, relativamente nuevas, que se habían establecido para construir máquinas (por ejemplo, Talleres Robledo y Talleres Apolo en Medellín y Penagos Hermanos y Famagrín en Bucaramanga); muebles metálicos (Industrias Metálicas de Palmira en dicha población y Elospina en Medellín); grapas y puntillas (Lloreda en Cali), etc. En Barranquilla operaban ya varios astilleros fluviales pequeños.

En estas industrias metalúrgicas los conocimientos técnicos eran rudimentarios y correspondían a operarios y directores empíricos que habían aprendido sus oficios en establecimientos similares, o en las escuelas vocacionales oficiales o en las de los salesianos. Puede decirse que, excepto en los talleres ferroviarios, los pocos ingenieros que había en el país no tenían relación con estas industrias. En realidad los primeros ingenieros profesionales graduados en facultades del país que trabajaron en industrias metalúrgicas fueron algunos egresados de la Escuela de Minas que se vincularon a talleres y fundiciones antioqueñas, y unos pocos graduados en la Universidad Nacional que se incorporaron a los talleres ferroviarios en los años diez y veinte de este siglo.

A partir de 1920 se intensificó el trabajo en las fundiciones del país, que comenzaron a operar principalmente con cubilotes, en lugar de crisoles, para fundir cargas más grandes. Este impulso a la actividad fundidora se debió a cinco factores económicos nuevos, los cuales recibieron el impulso incondicional del gobierno del general Pedro Nel Ospina (1922-1926):

1. La aparición de varias industrias de distinto tipo en las principales ciudades, que requerían accesorios y piezas de repuestos que las fundiciones nacionales ya podían fabricar.

2. La intensificación de la construcción de ferrocarriles y del mantenimiento de trenes, que demandaban herramientas y partes.
3. La construcción de carreteras y la consecuente importación de vehículos, que dieron lugar a un vigoroso crecimiento de la cantidad de automotores y a una mayor demanda de repuestos y de talleres para repararlos.
4. El activo interés por dotar de servicios públicos a las principales ciudades y poblaciones, especialmente en materia de acueductos y alcantarillados. Esto conducía a demandas adicionales de piezas fundidas para accesorios de acueductos.
5. El aumento del cultivo y de la exportación de café, el fomento de la producción de caña y de la elaboración de azúcar, todo lo cual amplió la demanda de piezas y artículos de hierro fundido.



Capítulo 10

INGENIERIA E INGENIEROS EN LAS DECADAS DE 1850 A 1880

EDUCACION Y PROFESION

En mayo de 1850 el Congreso, en un absurdo afán liberalizante, suprimió los títulos profesionales, incluyendo el de ingeniero, y autorizó el “libre ejercicio” de todas las profesiones en el país. Afortunadamente esta disposición tuvo pocos efectos prácticos, en gran medida porque la realidad cultural y económica del país no daba lugar a una gran oferta ni a una gran demanda de ingenieros. Así por ejemplo, el Colegio Militar siguió funcionando y graduó dos alumnos después de expedida esa Ley.

En realidad fue durante la década de 1850 cuando comenzó a formarse entre las clases cultas de Bogotá y Medellín un concepto claro sobre la profesión de la ingeniería como una actividad permanente y de importancia para la élite social e intelectual del país. En grado muy alto ello fue resultado de las labores del Colegio Militar, de la prédica de don Lino de Pombo, de la iniciación de la Comisión Corográfica y de la apertura de obras públicas por los presidentes Mosquera y López. A la formación de esa imagen contribuyó la presencia y la obra en el país de los ingenieros extranjeros que habían venido con distintos encargos: George M. Totten, a la reconstrucción del Canal del Dique; Antonio Poncet, como profesor del Colegio Militar y explorador de la ruta al Magdalena; Thomas Reed, a construir el Capitolio Nacional; Henry Tracy, a buscar rutas de caminos en Boyacá y Santander; Stanislas Zawadsky, a explorar la ruta de Cali a Buenaventura.

En esos años recibieron sus títulos como ingenieros civiles todos los alumnos fundadores del Colegio Militar. Algunos de ellos viajaron luego a París (centro mundial, entonces, de la ciencia) con el fin de profundizar sus estudios. Así lo hicieron Manuel H. Peña, en la École des Ponts et Chaussées (1874), Juan Nepomuceno González Vásquez, en la École Centrale des Arts et Métiers, y José Cornelio Borda. Todos ellos servirían después al país en distintas posiciones como ingenieros destacados y competentes en el ejército, en los ferrocarriles, etc. No sin dificultades se habían abierto camino como profesionales construyendo carreteras y puentes, trabajando en las minas de oro y de sal, cartografiando diversas regiones del país, midiendo tierras agrícolas, combatiendo como artilleros en nuestras guerras, explorando rutas del Magdalena al interior del país, trabajando en las incipientes fábricas e, inclusive, algunos de ellos, estudiando y laborando en el exterior.

Desde que el Colegio Militar se cerró por el golpe de estado dado por Melo en 1854, ninguna institución volvió a preparar ingenieros. En esos mismos años comenzaron a regresar al país algunos jóvenes que habían hecho todos sus estudios en el exterior: Vicente Restrepo, quien durante cinco años había estudiado química en París y metalurgia en Alemania; Rafael Nieto París, excelente matemático e inventor educado en la Universidad de Boston; Santiago Ospina Barrientos (hijo de don Mariano), quien estudió metalurgia y minería en Freiberg (Alemania); Rafael Arboleda Mosquera, graduado en Princeton University; Eugenio J. Gómez, graduado en Rensselaer Polytechnic Institute; Rafael Espinosa Escallón, ingeniero de Yale en 1853; Isidro Plata, de Yale Scientific School en 1856; Uladislao Vásquez y Sebastián Ospina, graduados también en Estados Unidos.

Era tal el interés despertado por la ingeniería que hubo personas que se formaron en la práctica como ingenieros autodidactas. Uno de estos casos fue el de Zenón Caicedo (1827-1901), quien estudió matemáticas en el Colegio de Santa Librada en Cali, aprendió por sí mismo a construir puentes y desempeñó esta labor por muchos años. Otro caso fue el de Julián Uribe Uribe, quien aprendió agrimensura y topografía y trabajó en el ferrocarril del Pacífico como jefe de estación, topógrafo, ingeniero y administrador.

Como dice Frank Safford, fue durante la década de 1850 cuando la idea de la ingeniería como una profesión prestigiosa comenzó a divulgarse entre las clases altas de Colombia y a verse como un campo de trabajo adecuado para una aristocracia técnicamente entrenada.

UN INTENTO SOLITARIO DE ESCUELA TECNICA EN SONSON

Por lo excepcional y significativa, se relata a continuación la historia del Colegio Científico que existió en Sonsón en 1855, según aparece en la *Historia de la institución pública en Antioquia*, del doctor Julio César García, publicada en 1962, la cual muestra el interés que se tenía en esos años por el estudio de disciplinas nuevas en regiones tan apartadas del centro del país, como era el caso de Sonsón.

El fundador y director del Colegio Científico fue el doctor Alfredo Callón, ingeniero francés venido al país por circunstancias personales. Cuando enfrentaba momentos difíciles, Callón conoció al poeta Gregorio Gutiérrez González, quien logró que el Concejo de Sonsón le encomendara trazar un proyectado camino al Magdalena, lo cual realizó a plena satisfacción. El doctor Callón también rindió un magnífico informe sobre las riquezas y la feracidad de esas regiones. Por sus excelentes condiciones personales y por su bien ganada fama de sabio, se le confió la dirección del Colegio de Santo Tomás de Aquino en 1854. Al terminar ese año, los alumnos fueron examinados en álgebra, geometría, trigonometría y francés, entre otras asignaturas.

En diciembre de ese año el doctor Callón presentó el siguiente plan de estudios para la fundación de un nuevo colegio, en el cual pueden verse las materias científicas que se dictarían:

Abertura de un Colegio Científico en la antigua Provincia de Antioquia

Sonsón, Diciembre de 1854.

Cediendo a las repetidas instancias del S. Ramón M. Hoyos, cura de esta villa, a quien anima siempre el mayor zelo p^a las mejoras que sea posible asegurar a este país, y convencido como él de que la difusión de los conocimientos científicos y de literatura es de la mayor importancia tanto p^a el adelantamiento moral e intelectual, como p^a los intereses materiales de un pueblo, me ofrezco a establecer en la Antigua Antioquia, un colegio sobre las bases siguientes.

Además de las materias que se enseñan en los colegios ordinarios, como Gramática Castellana, Historia, Retórica, Filosofía Clásica, los principios de Re-

ligión, &, de cuyos cursos quedaría encargado un profesor del país, me dedicaría a enseñar personalmente.

1° La Literatura Francesa (...).

2° Las Ciencias Matemáticas comprendiendo: La Aritmética; Algebra, Geometría, Trigonometría; Geografía; Geometría analytica, o Aplicación de la Algebra a la Geometría; Topografía, o arte de levantar planos, medir terrenos &^a, con el modo de servirse de los instrumentos y los métodos usados p^a representar en un mapa un terreno con todos sus accidentes y circunstancias; todo lo que dice al Dibujo geométrico con las nociones indispensables de Geometría Descriptiva, enfin la Mecánica Racional con los elementos de Cálculo Infinitesimal que necesita el estudio de esta ciencia.

3° Las Ciencias Naturales comprendiendo la Física, Química, Mineralogía, Geología, y los elementos de Zoología o Historia natural y Botánica con algunas de sus aplicaciones a la Agricultura.

4° En fin, las aplicaciones de estas ciencias a la Industria privada y a los Trabajos públicos, como v. g. el laboreo de los minerales preciosos o útiles. La construcción de los puentes de madera, de mampostería y de metal, de los acueductos p^a ciudades o establecimientos particulares, de los caminos en los llanos, en las faldas o en las cumbres, &^a.

Aunque yo sea hasta ahora poco conocido en este país, tengo la esperanza de que serán aceptadas mis propuestas por el interés que debe presentar a cualquiera persona el conocimiento de estas ciencias tan útiles p^a uno mismo como p^a el país en general, y con esta confianza me pongo a la disposición de los que quieran emplearme, ofreciéndoles desempeñar este destino con todo el zelo posible, y prometiéndoles un pronto adelantamiento con tal que quieran los estudiantes ayudarme con su asiduidad.

Faltarían también instrumentos p^a la enseñanza de algunas ciencias, como globos p^a la Geografía, máquinas de Física p^a las demostraciones de los fenómenos de la Electricidad y de la Luz, una máquina neumática, &^a, pero mientras tanto, se supliría esta falta con algunos aparatos de la mayor sencillez y de ningún valor; y si el favor con que estén acogidas estas propuestas hacía posible la realización de nuestras esperanzas, se podrían conseguir en Europa a precios equitativos estos instrumentos que quedarían entonces la propiedad o del establecimiento o de la Provincia que los costearía. Inmensa ventaja sería esta p^a la provincia; pues, además del honor de haber dado el primer impulso a la Enseñanza Científica quedaría de algún modo, en posesión p^a

muchos años del privilegio de un tal establecimiento, el único que se haya intentado fundar sobre semejantes bases en esta parte de la República.

...

Estaría dispuesto también a abrir en el lugar del establecimiento cursos públicos en que se darían a los artesanos las indicaciones que necesiten p^a sus trabajos con las nociones de geometría y dibujo lineal que les permitan resolver las dificultades que pueden ofrecérseles en las obras que se les encargue; dando enfin a los trabajadores todas las indicaciones que sean del caso p^a enseñarles métodos racionales en lugar de la mera rutina a que están acostumbrados.

...

Alfredo Callón

Para el año de 1856 se contaba con un subdirector competente, se habían pedido útiles a Europa y se abrieron, además de las cátedras del año anterior, las de geografía práctica, trigonometría aplicada al levantamiento de planos, construcción de mapas topográficos y corográficos, física, inglés y latín. Desgraciadamente el suicidio de dos de sus discípulos, Nepomuceno Mejía y Leopoldo Domínguez, ocurrido en las primeras horas de la noche del 2 de noviembre de 1856, afligió tan hondamente al cristiano Dr. Callón que se apresuró a presentar los exámenes reglamentarios y se retiró a Rionegro, donde dirigió por poco tiempo un plantel de segunda enseñanza¹. Murió en Sonsón, en casa de su amigo Gutiérrez González, el 4 de enero de 1860, cuando tenía unos 65 años, y su muerte fue sentida como la de uno de los más insignes benefactores del municipio. El camino que trazó y el puerto terminal en el Magdalena llevan su ilustre nombre.

En 1861 el General Mosquera regresó al poder como rebelde triunfante, y uno de sus primeros actos de gobierno fue ordenar, el 24 de agosto, que se reabriera el Colegio Militar como Colegio Militar y Escuela Politécnica. Pero las peripecias políticas del país no permitieron que esto se cumpliera. Sólo en 1866, y nuevamente con Mosquera en la presidencia, éste logró restablecer el Colegio, y lo puso bajo la dirección de Lorenzo María Lleras. En esa etapa el

1 Los detalles de aquel trágico suceso los relata fielmente el distinguido levita Roberto Jaramillo Arango, en el artículo "Dos suicidios" del número 100 de *La Acción*.

Colegio funcionó sólo un año, y tuvo una orientación académica más hacia la geografía y la historia que hacia las matemáticas.

Durante su brevísimo gobierno de 1866 Mosquera dio otro paso sumamente importante para la ingeniería; en la ley 70 del 4 de julio de 1866, "sobre deslinde y formación del catastro de las tierras baldías de la Nación", obtuvo que se organizara un Cuerpo Nacional de Ingenieros, que tenía una oficina central, a la cual se adscribió el Observatorio Astronómico; disponía de un director y dos ayudantes. Se determinó que en cada uno de los estados soberanos habría un ingeniero director.

Indalecio Liévano fue nombrado como director de la oficina central. En los distintos estados se nombró a Ruperto Ferreira, Alejandro Caycedo D'Elhuyar, Nicolás Caycedo D'Elhuyar, Manuel Ponce de León, Ignacio Ortega, Juan N. González Vásquez, Alejandro Ortega, Joaquín Barriga, Antonio Merizalde, Juan Manuel Arrubla y José María González Benito. Todos ellos eran exalumnos del Colegio Militar y el gobierno acababa de expedirles diplomas de idoneidad como ingenieros, en un claro propósito de establecer definitivamente la ingeniería como profesión de alta reputación en el país.

En 1867 el nuevo presidente, general Santos Acosta, propuso al Congreso la norma que dio origen a la Universidad Nacional. El 22 de septiembre el general Acosta sancionó la ley 66 que creó "la Universidad Nacional de los Estados Unidos de Colombia". Se ordenaba que hubiera seis escuelas o institutos especiales, entre ellos la Escuela de Ingenieros, la cual recibiría los fondos, las instalaciones y los alumnos del Colegio Militar. En enero de 1868 comenzó a funcionar la Escuela de Ingeniería, como dependencia de la universidad, dirigida por el coronel Antonio R. de Narváez, quien fue su rector hasta 1877. Los primeros profesores fueron, casi todos, los graduados del antiguo Colegio Militar.

A fines de 1870 recibieron títulos de ingenieros civiles y militares los primeros egresados de la escuela: Ruperto Ferreira, Modesto Garcés, Luis María Tisnés, Francisco Useche y Abelardo Ramos. Al año siguiente ya sólo se daba grado como ingeniero civil y el primero que lo obtuvo fue Enrique Morales R. Los extensos trabajos de agrimensura y topografía que se requirieron para aplicar las medidas de desamortización de bienes de manos muertas, en poder de la Iglesia, y para repartir sus tierras, ocuparon por algunos años a casi todos estos jóvenes ingenieros civiles.

Hay que señalar que, debido al gran influjo cultural que Francia ejercía en aquella época sobre América Latina y a la formación en ese país de muchos de nuestros primeros ingenieros y profesores de ingeniería, desde mediados del

siglo XIX las respectivas escuelas tuvieron un fuerte acento francés que habría de perdurar hasta los años treinta del siglo XX.

CONSOLIDACION DE LA PROFESION

La facultad de ingeniería de la Universidad Nacional inició sus labores en firme desde el momento en que fue fundada, ya que se le transfirieron los profesores, los alumnos y los recursos del antiguo Colegio Militar y la Escuela Politécnica. Cuatro años después de fundada, es decir en 1870, la facultad tenía 29 estudiantes, de 132 que había en toda la Universidad, y 16 profesores, que eran los hombres más reputados en ciencias e ingeniería y representaban lo más selecto de la *intelligentsia* bogotana. En 1874 su número ascendía a 65 en ingeniería, de 184 que tenía toda la universidad. El currículum comprendía gran diversidad de materias: aritmética, álgebra, geometría, topografía, química industrial, física industrial, astronomía, mecánica, hidráulica, botánica, geología, mineralogía, metalurgia, máquinas, ferrocarriles, electricidad.

En 1873 había ya un número suficiente de ingenieros en el país, con la necesaria prestancia como para animarlos a crear una asociación profesional. Así, en junio de ese año se fundó en Bogotá la Sociedad de Ingenieros de Colombia, cuyo primer presidente fue el señor Enrique Morales.

Uno de los objetivos principales de la Sociedad era propender por la ocupación de profesionales colombianos en las obras públicas, que por esos años se estaban intensificando y en las cuales las posiciones principales venían siendo ocupadas por ingenieros extranjeros, especialmente norteamericanos e ingleses, caso muy visible, por ejemplo, en la construcción de ferrocarriles. Y aun en obras de menor envergadura, como caminos de herradura y puentes pequeños, los ingenieros colombianos tenían una fuerte competencia por parte de los extranjeros.

En esos años, al hablar de ingeniería, a secas, se aludía específicamente a la ingeniería civil. En un país sin industrias no había ingenieros mecánicos ni ingenieros químicos (que en Europa sí se educaban ya con estos títulos). Al no conocer la electrificación, no había ingenieros electricistas. La ingeniería industrial solo se configuraría como carrera en el siglo XX. Todas las tareas de ingeniería que el país se planteaba entonces, eran para ingenieros civiles, incluida por supuesto la de construir los pocos edificios que se erigían en dos o tres ciudades. La profesión de arquitecto no existía aún en nuestro medio.

Por razones que no se conocen, la Sociedad de Ingenieros de Colombia tuvo una vida precaria y corta. Para empeorar la situación, una ley de 1880 suprimió la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional, y trasladó bajo la tutela del Ministerio de Guerra los estudios de esa profesión. Afortunadamente las promociones que ya estaban matriculadas en la universidad prosiguieron allí sus estudios, si bien el número de estudiantes descendió considerablemente. Al final de 1881 se graduaron en ella como ingenieros civiles los señores Jorge Ancizar, Cecilio Echeverría y Alejo Morales. Posteriormente, en 1884, otra ley restableció la facultad como dependencia de la Universidad Nacional, solamente para enseñar ingeniería civil y matemáticas. En ese año y en los posteriores fueron rectores de la facultad los ingenieros Rafael Espinosa Escallón, Ramón Guerra Azuola, Manuel Ponce de León, Julio Garavito Armero y Rafael Torres Mariño, todos ellos exalumnos de la misma facultad; y a su vez fueron profesores de nuevos alumnos como Ananías Acosta Garzón, Julio Garavito, Joaquín Prado, Braulio Rentería y Ricardo Restrepo, quienes se graduaron entre 1885 y 1890.

En 1857 el gobierno del estado de Antioquia creó en su Colegio Provincial la facultad de ingeniería civil, pero debido a la escasez de recursos sólo pudieron hacerse funcionar las cátedras de química y mineralogía, regentadas por el profesor Prado Herrán. En 1874 se abrió esa facultad con catorce estudiantes y los siguientes profesores: Víctor Molina, Juan José Molina y Graciliano Acevedo para aritmética I y II; Luis M. Tisnés, álgebra y trigonometría elemental; José María Villa, trigonometría y agrimensura; Fernando Isaza, geometría analítica y álgebra superior; Esteban Alvarez, geometría descriptiva y sus aplicaciones; Eugenio Lutz y Roberto White, mecánica y cálculo integral; Antonio M. Restrepo Eusse, contabilidad.

Por la importancia que iba cobrando la minería del oro en Antioquia, en el Tolima y en el Cauca, el Congreso dispuso en 1885, por iniciativa del ministro de Hacienda, el ingeniero antioqueño Vicente Restrepo, la creación de escuelas de minería en Medellín, en Ibagué y en Popayán. Las dos últimas nunca se realizaron, pero la primera se concretó tres años después.

Probablemente estos signos de reanimación de la ingeniería, y la intensificación de sus campos de labor, como los ferrocarriles, animaron a un grupo de ingenieros de Bogotá para volver a dar vida a su asociación. Por eso, el 29 de mayo de 1887 se fundó la Sociedad Colombiana de Ingenieros, por iniciativa de Abelardo Ramos, Diodoro Sánchez, Miguel Triana y Andrés A. Arroyo, quienes fueron los socios fundadores, junto con los ingenieros Pompilio Beltrán, Lorenzo Codazzi, Julio Campo, Camilo A. Carrizosa, Carlos de la Torre,

Rafael Espinosa, Cosme Fajardo, Modesto Garcés, Ramón Guerra Azuola, José María González Benito, Eduardo Jaramillo, Julio Liévano, Antonio Muñoz, Francisco Maldonado, Jorge Miranda, Francisco Olaya, Manuel H. Peña, Fidel Pombo, Manuel A. Rueda, Fulgencio Roa, Mariano Santamaría, Javier Tapias, Arturo Venegas, Francisco Javier Vergara V., Julio D. Mallarino, Carlos Téllez, Rafael Alvarez S., Federico Aguilar, Nicolás Caycedo D'Elhúyar, José Ignacio Carvajal, Juan V. Carreño, Cecilio Echeverría, Ruperto Ferreira, Diego Fallon, Manuel Ponce de León, Indalecio Liévano, Antonio Clopatofsky y Fabián González B. El primer presidente fue el ingeniero Abelardo Ramos.

LA ESCUELA DE MINAS DE MEDELLIN

La inclinación de muchos jóvenes antioqueños por la ingeniería los había llevado a estudiar fuera de su tierra. Unos en Bogotá, como Luis Tisnés; otros en el exterior, como José María Villa, graduado en 1880 en ingeniería mecánica por el Instituto Stevens, en Nueva York.

El pujante crecimiento de la minería aurífera antioqueña había llevado a que en 1879 la legislatura de ese estado soberano ordenara la creación de la Escuela de Minería en la Universidad de Antioquia, la cual se inició con grandes dificultades en 1883, y en 1884 comenzó a construir su propio edificio. Pero por falta de recursos amenazaba fracasar. En 1885 el Congreso Nacional ordenó que se crearan escuelas nacionales de minería en Ibagué, en Popayán y en Medellín (como ya se dijo), y dos ingenieros antioqueños, los hermanos Ospina, recién egresados de Berkeley (EU) y de universidades europeas, se propusieron darle vida en Medellín a ese proyecto. Con los elementos, los estudiantes y los profesores de la precaria Escuela de Minería de la universidad local fundaron la Escuela Nacional de Minas, que comenzó clases, provisionalmente, el 11 de abril de 1887, y en el mismo año lograron que el gobierno nacional aprobara su plan de estudios. El 2 de enero de 1888 se abrieron oficialmente los cursos, con 36 alumnos y cinco profesores: Tulio Ospina (director), Luis Tisnés (subdirector), Joaquín González, José María Escobar, Crispulo Rojas y Tomás Bernal. Su primer rector fue el ingeniero Pedro Nel Ospina, a quien pronto reemplazó su hermano, el ingeniero Tulio Ospina. En años posteriores fueron profesores también los señores Carlos Fissane, Fabriciano Botero, José María Villa, Fernando Isaza, Manuel Uribe Angel y Hyacinthe Antoine.

El pènsium de estudios incluía álgebra, geometría, inglés, francés, botánica, zoología, química inorgánica, física elemental, dibujo lineal, física superior, trigonometría rectilínea y esférica, geometría analítica, dibujo de máquinas,

mineralogía, geología, química superior, explotación de minas, metalurgia, cálculo infinitesimal, mecánica analítica, agrimensura, geodesia, higiene, economía política y religión.

La Escuela de Minas llenó una necesidad que la minería había planteado desde comienzos del siglo y que hasta entonces habían atendido los ingenieros venidos de Europa, algunos antioqueños formados en el exterior, y prácticos capacitados en el mismo trabajo; pero ya las necesidades técnicas era mucho mayores. Además se había iniciado la construcción del ferrocarril del Magdalena a Medellín, aparecían algunas industrias de mayor nivel técnico y se construían nuevos caminos hacia las regiones que abría la activa colonización en el suroeste, en el sur y en el Quindío. En suma, la demanda social de la ingeniería se intensificaba cada vez más.

Desde el momento de su iniciación, la Escuela de Minas fue el centro de la actividad tecnológica de Antioquia, y de formación de ingenieros civiles y de minas de la región y de estudiantes venidos de todo el país. En 1893 otorgó los primeros títulos de ingenieros de minas en Colombia, a los señores Carlos Cock, Alonso Robledo y Antonio Alvarez.

ALGUNOS AVANCES DE LA TECNOLOGIA MUNDIAL A MEDIADOS DEL SIGLO XIX

Es importante recordar que los años de mediados del siglo XIX fueron ricos en avances de la tecnología industrial. Ello repercutió en el desarrollo de los conocimientos de los ingenieros en las regiones industrializadas, como Europa y los Estados Unidos; de ese modo se multiplicaron las formas de aplicación y de trabajo de los ingenieros, lo cual dio lugar a especializaciones y diversificaciones de la profesión en ramas como la ingeniería mecánica, la ingeniería de ferrocarriles y la ingeniería química, entre otras. Cabe citar algunos de esos avances.

En 1850 William Kelly inventó en los Estados Unidos el convertidor de acero que lleva su nombre. Así abrió la puerta a un crecimiento extraordinario de la producción de acero a partir de arrabio de hierro, y con ello a la aparición de multitud de nuevas máquinas, de herramientas y de otros productos como el cable de acero, todos de enorme utilidad en el trabajo de los ingenieros. En 1856 Werner Siemens, en Inglaterra, lograría otro avance de la metalurgia al inventar el horno de hogar abierto como método alternativo para transformar arrabio en acero. En 1865, también en Inglaterra, Bessemer patentó su conver-

tidor de acero; y en 1870 el mismo Siemens patentó su horno eléctrico para acerar la fundición y la chatarra.

Uno de los nuevos artefactos metálicos que se inventaron en Estados Unidos en la época mencionada, fue el torno-revólver, en 1855, que desde el primer momento fue una herramienta de enorme utilidad para mecánicos, ingenieros mecánicos e industriales. Justamente en el mismo año Saint Claire y Deville, en Francia, desarrollaron el método industrial para producir el aluminio por conversión de la bauxita y electrólisis de la alúmina fundida.

En 1859, en Pensilvania, Estados Unidos, el coronel Drake perforó el primer pozo petrolero del mundo, e inició así un nuevo capítulo del desarrollo energético, de la industrialización y de la ingeniería.

Téngase en cuenta que en Colombia apenas comenzábamos a preparar y a graduar los primeros ingenieros formados en el país, y que en materia de industria apenas operaba un puñado de pequeñas y rudimentarias fábricas en Bogotá y una o dos en Antioquia.

INICIOS DEL TELEGRAFO

En 1833 los físicos alemanes Gauss y Weber inventaron el primer telégrafo eléctrico. Luego, en Estados Unidos, entre 1835 y 1838, Samuel Morse perfeccionó su telégrafo electromagnético, que fue simplificado por Steinheil, quien lo convirtió en unifilar, enterrando alambres en ambos extremos. Fue en 1845 cuando Samuel Morse instaló su telégrafo entre Washington y Baltimore y lo inauguró con su famoso mensaje "What hath God wrought".

Dos años después el gobierno de Mosquera inició contactos en Inglaterra para montarlo en Colombia, pero estas gestiones no tuvieron ningún resultado.

Fue casi en 1865 cuando el presidente Manuel Murillo Toro contrató en Nueva York la construcción de la línea telegráfica Bogotá-Puerto Nare, con los ingenieros y empresarios norteamericanos Henry L. Davidson, William W. Wolsey y Lee Stiles. El trabajo se inició de inmediato y ese mismo año se transmitió el primer telegrama en Colombia, desde Cuatro Esquinas (hoy Mosquera, en Cundinamarca) a Bogotá, dirigido al presidente Murillo. La línea se prolongó sucesivamente a Facatativá, Ambalema, Honda y Puerto Nare, bajo la dirección de Stiles. Enseguida fue llevada de Puerto Nare a Medellín. Al año siguiente (1866) se inició la línea Honda-Manizales; poco después la de Medellín a Manizales, de propiedad del estado de Antioquia, cuando su presidente era Pedro Justo Berrio, y después se construyeron las de Ambalema-Ibagué y Manizales-Cartago.

En 1871 el gobierno nacionalizó la empresa de Davidson, Stiles and Wolsey y ya con ingenieros totalmente colombianos, tendió la línea Cartago-Palmira-Cali-Buenaventura, en donde ésta se conectó con el cable submarino del Pacífico. Diez años después de iniciar los trabajos, en 1875, la red de telégrafos ya cubría las principales ciudades del país: Bogotá, Cali, Medellín, Manizales, Ibagué, Tunja, Bucaramanga y numerosas poblaciones intermedias con ingenieros constructores, electricistas y operadores colombianos.

El telégrafo fue el primer tipo de instalación eléctrica que hubo en nuestro país. A través de él nos pusimos en contacto con la tecnología de las corrientes directas de baja intensidad, y también se conocieron nuevos materiales como el conductor de cobre y el aislador cerámico, y nuevos aparatos como la pila eléctrica y el electroimán, que había sido inventado por William Sturgeon, en Inglaterra, en 1825, inspirado en los descubrimientos de François Arago sobre electromagnetismo.

APARICION DEL TELEFONO EN EL PAIS

Con base en experiencias anteriores, Alexander Graham Bell inventó el teléfono electromagnético en Estados Unidos, en 1876. Solamente ocho años después, en 1884, el cubano José Raimundo Martínez obtuvo del municipio de Bogotá el privilegio de establecer el servicio en la ciudad, que en ese momento tendría entre 85 y 90 mil habitantes. En 1885 se habían instalado 47 líneas y ya existía una pequeña central manejada manualmente por operarios que establecían las comunicaciones a solicitud del interesado. En 1890 se constituyó en Medellín la primera compañía telefónica del país, la cual instaló los primeros 50 aparatos en esa ciudad en junio de 1891. La empresa era de propiedad del departamento de Antioquia. Cinco años después, en 1896, la empresa privada instaló 500 líneas en Bogotá. Ambas compañías realizaron algunos ensanches antes de finalizar el siglo. Cabe recordar que Cisneros instaló en 1880 la primera línea telefónica que hubo en el país, de Puerto Berrío a la estación Malena.

Fueron ingenieros y técnicos extranjeros quienes instalaron estos primeros teléfonos en Colombia. Pero muy pronto los operarios colombianos aprendieron a instalar, operar y mantener estos sistemas. Rápidamente se familiarizaron con los nuevos equipos de esta tecnología tan moderna para su tiempo: el auricular, el micrófono de carbón, el magneto generador manual, la central de conmutación manual y la pila de Leclanché para generar la corriente. Este proceso de asimilación de tecnología fue facilitado por la experiencia que ya se

tenía en la construcción y el uso del telégrafo, con lo cual el teléfono venía a ser un compañero en la tecnología de las bajas corrientes a bajos voltajes.

LAS MINAS DE ANTIOQUIA A MEDIADOS DEL SIGLO XIX

En la década de 1850 se registró en las minas de Antioquia, especialmente en las de veta o filón, un movimiento intenso de modernización de sus procesos, cuando apareció y se extendió el uso de la fundición del oro y de la plata para refinarlos, del agua regia para probar minerales, de los molinos de pisones movidos por agua y de la máquina de vapor alimentada con leña para mover equipos pesados. Fue entonces cuando se introdujo el uso de bombas de madera para extraer agua, las cuales eran construidas localmente. Y en 1852 se instalaron en Zaragoza y en Segovia las primeras bombas accionadas con vapor. En esos años comenzó a usarse la rueda Pelton en las minas de Antioquia (por primera vez en todo el país), con el fin de mover molinos de pisones, lo cual fue obra de Moore, Paschke, Nisser, De Greiff y sus aprendices nacionales.

Naturalmente estos adelantos suponían mejores conocimientos técnicos y teóricos en química metalúrgica, en hidrostática y en termodinámica, y exigían también una mayor destreza práctica para diseñar, construir e instalar hornos, equipo hidráulico, calderas, hogares y dispositivos de transmisión de potencia.

El progreso de la producción y de los métodos mineros planteó la necesidad de establecer en esa región laboratorios químicos, mineralógicos y metalúrgicos, reto que asumieron los hermanos Vicente y Pastor Restrepo, quienes habían estudiado minería y metalurgia en Europa, y fueron los primeros en establecer dichos laboratorios en 1858.

Los decenios de 1880 y 1890 fueron ricos en adelantos técnicos para la minería de Antioquia, desde donde se propagaron más tarde a las otras regiones mineras del país: Cauca, Tolima, Nariño y Santander.

Fue hacia 1880 cuando empezaron a traerse al país las turbinas tipo Pelton, que el ingeniero inglés de ese nombre había diseñado y construido en las minas de California en 1870. Las primeras fueron traídas por los empresarios ingleses y después por los propios antioqueños.

El aumento de la producción de oro y las diferencias de precio según la pureza del metal, condujeron a la instalación de nuevos laboratorios de fundición y ensayos metalúrgicos. El primero había sido establecido por los hermanos Vicente y Pastor Restrepo en 1858, como ya lo vimos. Veintidós años

después, en 1880, don Jenaro Gutiérrez montó el segundo laboratorio, y en 1881 hicieron otro tanto Pedro Nel y Tulio Ospina Vásquez.

En 1881 dos ingenieros de minas franceses, los hermanos Gouzy, que laboraban filones en la región de Sonsón, llevaron los primeros molinos californianos. Ellos mismos establecieron, en 1887, el uso del llamado "monitor hidráulico" para la disgregación de masas pétreas y terrosas con agua a presión.

Una importantísima novedad técnica para Antioquia y para Colombia fue la adopción de la draga flotante con cangilones, construida por primera vez en California hacia 1850. Inicialmente fueron importadas al Chocó por compañías norteamericanas e inglesas, con ingenieros y todo. Y en 1886 se montaron en Antioquia, por empresas mineras francesas, aunque con ingenieros ingleses como Franklin White.

De esos años data también el primer uso de la dinamita en las minas de Antioquia, y quizá también en todo el territorio colombiano. En 1845 el italiano Ascanio Sobrero, en Turín, había descubierto la nitroglicerina (o trinitrina) y su alto poder explosivo. Valiéndose de ella, e impregnándola en pastas de aserrín y gelatina, Alfredo Nobel en Suecia, entre 1864 y 1867, había desarrollado su forma comercial: la dinamita. Sus primeras aplicaciones en Colombia se hicieron en las minas antioqueñas bajo la dirección de ingenieros estadounidenses, pero de inmediato los ingenieros y los técnicos colombianos aprendieron a usarla. De las minas, su empleo se extendió a la construcción de ferrocarriles como el de Antioquia y otros.

El sistema de cianuración fue otro gran adelanto para la tecnología minera del oro. Se introdujo en 1891 y mejoró notablemente la productividad, especialmente la de los pequeños mineros que no podían comprar el costoso mercurio que requería la amalgamación. De tal manera, el uso de la cianuración se propagó rápidamente por todas las minas de oro en Antioquia y en el resto del país, muy poco tiempo después de que fuera inventada en Inglaterra en 1887.

Estas nuevas modalidades tecnológicas se asociaban con un proceso generalizado de introducción del hierro y el acero en toda clase de máquinas, equipos y herramientas en las minas, en lugar de la madera, lo cual exigía un intenso desarrollo del conocimiento de la metalurgia física ferrosa (la fundición, el forjado, el mecanizado), así como del diseño y fabricación de máquinas y piezas de hierro y acero.

Una gran obra de ingeniería en Antioquia, que se inauguró en diciembre de 1895, fue el puente de Occidente, sobre el río Cauca, cerca a Sopetrán, en el camino de Medellín a Santafé de Antioquia. Fue diseñado y construido por el distinguido ingeniero José María Villa, y en ese tiempo fue uno de los

más largos del mundo. Villa había presenciado la construcción, en 1883, del puente de Brooklyn, en Nueva York, bajo la dirección del coronel ingeniero Roebling, y de aquel modelo tomó ideas que aplicó al construir el puente en Antioquia.

NUEVOS INTENTOS INDUSTRIALES

Alrededor de 1830 se instalaron las primeras fábricas en Bogotá y sólo volvió a tenerse noticia de empresas fabriles nuevas cuando en 1855 se inició la fábrica de tejidos de lana establecida en la capital por José María Plata y Antonio Ponce de León, con unos quince telares mecánicos. En 1858 en La Ceja, Antioquia, los inmigrantes irlandeses Nicholls fundaron una pequeña cervecería; Vicente y Pastor Restrepo montaron la suya en 1876. Como éstos eran ingenieros y químicos de carrera, es indudable que establecieron su fábrica con cierto cuidado técnico en los procesos de cocción de malta, de fermentación, de maduración y de gasificación. En esa instalación seguramente existieron equipos que para su tiempo eran novedosos, como la cocina de vapor y el compresor de gas.

Como se ha dicho en otros lugares de esta historia, también en Antioquia surgió en 1865 la ferrería de Amagá, que beneficiaba mineral y carbón de esta población, para producir hierro y para fabricar piezas fundidas de ese metal. Gracias a los ingenieros metalurgistas franceses Michel Bonnet y Eugène Lutz, quienes dirigieron sus difíciles trabajos, luchando con escollos técnicos y financieros, la ferrería empezó a producir dos años después y en 1869 tenía ya un calificado y extenso mercado para sus productos. Llegó a tener un buen nivel de técnica y a fabricar piezas mecánicas complejas para su época, tales como bocartes (pisones) para molinos de mineral, ruedas Pelton, bombas para agua, despulpadoras, trapiches y otras, lo que suponía un dominio de la técnica de fundición y del trabajo mecánico del hierro.

A principios del decenio de 1860 se establecieron en Rionegro y Caldas (Antioquia) dos o tres fábricas de cerámica vidriada (locerías); la calidad de sus productos superaba a la de algunas toscas artesanías populares de cerámica que ya existían. Era un avance importante en las técnicas cerámica y de los hornos. Para 1881 una de aquellas locerías, del municipio de Caldas, tenía dos hornos grandes, una rueda hidráulica para mover sus molinos, y procesaba 300 libras diarias de mineral. Estas fábricas inicialmente no tenían ingenieros, sino algu-

nos técnicos españoles o franceses, formados en la práctica que habían adquirido en sus países.

En 1864, en Copacabana, cerca de Medellín, se instaló la primera fábrica textil antioqueña, con diez telares mecánicos. Eran máquinas inglesas, seguramente de las que en 1785 inventó y fabricó Thomas Cartwright, perfeccionadas en 1813 por Harrocks, en ese país. Los técnicos mecánicos y textiles eran alumnos de la Escuela de Artes y Oficios del Estado de Antioquia, fundada poco antes por Berrío. Ya en esos años había algunos ingenieros en Antioquia, pero esas fábricas iniciales, tan pequeñas y simples, no eran aún terreno adecuado para desarrollar sus aptitudes.

Se sabe que fue en 1868 cuando el motor de vapor se usó por primera vez en una industria de nuestro país, para mover un molino de trigo cerca de Bogotá. Estas máquinas ya se conocían de tiempo atrás en los barcos del Magdalena y en las minas de Antioquia, pero no se habían aplicado a las pocas y pequeñas fábricas que hasta entonces existían en el país.

Una de las primeras empresas industriales diseñadas por un ingeniero fue, en 1871, una pequeña fábrica de ácido sulfúrico que el estado de Antioquia encargó construir al ingeniero francés Eugène Lutz, con el fin de hacer electrolito para las pilas eléctricas de Leclanché que se usaban para los telégrafos. Lutz se propuso construir una cámara de plomo en su proceso. El método de la cámara de plomo para producir ácido sulfúrico había sido inventado un siglo antes, en 1780, en Inglaterra, pero al parecer Lutz no lo conocía bien, ya que tras cinco años de lucha sólo llegó a producir pequeñas cantidades de ácido de mala calidad y finalmente, en 1874, desistió y regresó a su patria. El gobierno del estado lo reemplazó por Pastor Restrepo, quien, con su buena formación de químico en París, cambió los métodos y el equipo utilizados por Lutz y llegó a producir, en 1875, hasta 150 libras diarias de ácido de buena calidad. Fue quizá la primera industria química diseñada y construida, acertadamente, por un ingeniero colombiano. Esa producción duró solamente hasta 1883, cuando se terminó porque el mercado era muy pequeño.

LA INGENIERIA EN ANTIOQUIA

La minería de oro había seguido incorporando ingenieros inmigrantes de Europa. En los años sesenta del siglo XIX vinieron los señores Augusto Freydel y Reginaldo Wolff. Inmediatamente antes habían llegado otros cuyos apellidos

sobreviven en antioqueños de hoy: Eusse, Blair, Tisnés, White, Cock, Gartner, Greiffenstein, Siegert, Gouzy, Barbier, Goldsworthy.

Desde años atrás los gobiernos de Antioquia se habían interesado en fortalecer la educación técnica. En 1837 se trajo al Colegio Académico del Estado al profesor Luciano Brugnelli para el área de química, y a Francisco Flórez Domonde a enseñar metalurgia. En 1860 se trajo al ingeniero Lutz para geometría y cálculo. Animados por sus enseñanzas, varios jóvenes antioqueños viajaron en los años sesenta y setenta a Estados Unidos, a Francia y a Inglaterra. Tal fue el caso de Vicente y Pastor Restrepo, José María Villa, Francisco de Paula Muñoz, Tulio Ospina, Pedro Nel Ospina, Luis Tisnés (graduado primero en Bogotá), José María Escobar y otros. En 1871 el presidente Berrío convirtió el Colegio Académico de Antioquia en la Universidad de Antioquia, e inclusive se ordenó que en ella funcionara una escuela de ingeniería de minas, la cual, como ya vimos, no llegó a formarse.

En 1869 se graduaron los primeros ingenieros colombianos en el Rensselaer Polytechnic Institute y entre 1877 y 1886 lo hicieron otros. José María Villa se graduó como ingeniero mecánico en Stevens Institute, en 1878, sólo ocho años después de que en ese instituto se fundara la primera escuela de ingeniería mecánica en Estados Unidos. También hacia 1880 se graduaron en la Universidad de California, en Berkeley, Tulio y Pedro Nel Ospina, en ingeniería de minas y metalurgia, cuando la escuela de esta rama aún no tenía diez años de creada. En los años setenta y en los ochenta varios estudiantes antioqueños y algunos bogotanos estudiaron ingeniería de minas en la Universidad de Columbia, que había sido la primera universidad norteamericana en crear esa carrera.

Desde 1870 en adelante se desencadenó una nueva etapa de avances técnicos en la minería antioqueña. Uno de ellos fue la introducción de las bombas para agua construidas con hierro, movidas manualmente, por energía hidráulica o de vapor, en remplazo de las bombas de madera que se usaban desde unos 40 años antes, que eran poco eficientes y de pequeña capacidad. Otra gran innovación fue el monitor hidráulico, que se usó por vez primera en las minas de plata de Santa Ana (hoy Falan, Tolima) y que llevaron a Sonsón los ingenieros franceses Gouzy en 1887. Y en 1874 el ingeniero alemán Carlos Greiffenstein instaló en la famosa mina de El Zancudo una fundición y taller mecánico para fabricar piezas y maquinaria minera, que perduraron hasta bien entrado el siglo XX.

ALGUNAS GRANDES OBRAS PUBLICAS EN EL MUNDO ENTRE 1870 Y 1890

Los años finales del siglo XIX presenciaron la realización de grandes obras públicas, en una escala que hasta entonces el mundo occidental no había vuelto a ver desde las grandes catedrales de la Edad Media. Precedido por una serie de negociaciones entre Egipto, Inglaterra y Francia, y dirigido por Ferdinand de Lesseps (quien no era ingeniero), el Canal de Suez se construyó durante cuatro años y fue terminado en 1869. El canal fue un enorme esfuerzo de ingeniería y de trabajo humano, que se realizó cuando todavía no existían grandes máquinas para excavación o movimiento de tierras.

Otra obra de gran magnitud en la esfera mundial fue el puente de Brooklyn, en Nueva York, sobre el río Hudson, que se construyó entre 1869 y 1883. El puente, con su gran tamaño y su enorme masa, tenía un diseño muy elegante y representaba una nueva solución a un problema muy difícil de resolver con los limitados medios técnicos de que se disponía en ese momento. Fue diseñado y dirigido por los hermanos ingenieros John A. y Washington Roebling, cuyos nombres son recordados desde entonces como constructores de grandes obras, al lado de los de otros grandes ingenieros como Telford, Brunel, Benthán y Eiffel.

Entretanto, en Europa se estaba perforando el túnel de San Gotardo, a través de los Alpes, que fue terminado en 1882. Por muchos años permaneció como el túnel más largo construido por el hombre.

Esta breve mención tiene que recordar las primeras grandes edificaciones en acero que se hicieron en aquellos años y de las cuales la más grande, hermosa y famosa fue la torre parisiense que lleva el nombre de su constructor, Gustave Eiffel, en 1889. Otra fue el primer rascacielos con armazón de acero, que se terminó de construir en Chicago en 1884.

Capítulo 11

TRANSPORTES, INGENIERIA Y FERROCARRILES EN EL SIGLO XIX

LOS CAMINOS DE HERRADURA

Desde la época de la Colonia, cuando se construyeron los caminos que enlazaban los principales centros del virreinato, los medios de transporte en Colombia seguían siendo los mismos hasta 1870. Las vías terrestres eran solamente senderos para peatones y bestias, contruidos sin más técnica que el conocimiento empírico de los terrenos y sin más especificaciones que las mínimas requeridas para demarcar la ruta y para permitir el tránsito difícil. En épocas de invierno, esas rutas se convertían en fangales, y los derrumbes y pantanos llegaban a hacerlos totalmente intransitables. En cuanto a los medios de transporte de carga, los únicos utilizables eran los animales (caballos, mulas, asnos y bueyes) y los cargueros de a pie. Tanto en unos como en otros podían viajar los cargamentos, y los viajeros que tenían el privilegio de no tener que caminar.

Un testimonio fehaciente es el del coronel norteamericano William Duane, quien en 1822 viajó de Caracas a Cúcuta y a Bogotá y gastó un mes. De ello escribía después: "sólo encontré verdaderos caminos a la salida de Caracas y en la Sabana de Bogotá. El resto eran trochas apenas transitables. Hubo trayectos que hice a pie por el peligro de rodar al abismo en la mula". Treinta años después, Manuel Ancízar recorrió con Codazzi el camino entre El Socorro y Pamplona, y lo describía así:

Desfilando uno tras otro por la pendiente vereda, y a poco andar entramos en los primeros callejones, que son verdaderas grietas abiertas en el recuesto con

seis u ocho varas de profundidad y dos o tres de ancho, donde apenas cabe el jinete, y la mula no encuentra espacio para las patas desesperándose por salir de aquellos fosos, llenos de escalones y ángulos salientes para completar lo fatigado del tránsito.

En 1828, el viajero francés Auguste Lemoine describía el camino de Honda a Bogotá así:

Salvo en algunos sitios desprovistos de árboles, que ofrecen ciertos vallecillos habitados, no es más que una senda trazada a través de bosques en la que se acumulan todos los obstáculos susceptibles de hacer el tránsito difícil y peligroso... unas veces teníamos que trepar por verdaderas escaleras monstruosas, cortadas en las rocas... otras veces, en los sitios en que el piso era arcilloso o estaba lleno de hoyos, teníamos que pasar por escaleras llamadas empalizadas, hechas con troncos...

El camino del Quindío, entre Ibagué y Cartago era especialmente difícil. En 1829 don Manuel María Mallarino describió su recorrido de la siguiente manera:

El viajero se sentaba sobre una silla liviana amarrada a las espaldas del carguero de manera que no podía ver el camino transitado; la silla tiene forma de ángulo. La senda era casi vertical, sumamente resbaladiza y en parte derrumbada; con un mal paso se podía rodar a inconmensurables profundidades, pero los pies del carguero parecían armados con puntas de acero: la más débil raíz le bastaba para apoyarse. Era necesario trepar sobre los troncos asidos de un bejuco, saltar, andar con el fango a la cintura. Había profundas concavidades llamadas "cajones", cubiertas de matorrales que no dejaban pasar la luz y con un fango gredoso.

Para cruzar los ríos lo único que podía llamarse puente era el que desde la Colonia se había construido en Honda en madera. En todos los demás sitios se usaba la "tarabita", colgada de un cable tendido de un árbol a otro en las dos orillas, o fragilísimos puentes colgantes de bejucos y guaduas, contruidos y mantenidos por indios, que había que atravesar a pie con grave riesgo de caer. Las cargas las pasaban los peones a la espalda y las bestias cruzaban a nado. En épocas de invierno y en regiones montañosas no había forma de vadear los ríos muy crecidos y torrentosos, y los viajeros tenían que esperar días y días para poder pasar. Dice Humboldt que el camino del Quindío, de Cartago a Ibagué, podía demorar hasta un mes durante el invierno debido a las crecientes de los ríos.

Los pocos esfuerzos que hicieron los gobiernos para mejorar esta situación fueron inútiles. En 1825, el general Santander ordenó construir un mejor camino que comunicara a Bogotá con el Magdalena, camino que pronto cubrió la

selva. En 1847, por órdenes del presidente Mosquera, y bajo la dirección del ingeniero francés Antoine Poncet, se intentó trazar un camino con las mejores especificaciones que saliese más abajo de Honda, para sortear los rápidos del Magdalena; pero el paludismo diezmo a los obreros y además hubo una guerra civil que terminó con la empresa.

Poco después de 1850, se construyeron algunos cortos caminos para carretas, como el de Bogotá a Facatativá, el de Bogotá a Zipaquirá y el de Cali a Palmira y a Cartago.

Pese a las dificultades de transporte interno, en el decenio de 1850 ya había un comercio relativamente activo entre las varias provincias del país, como lo muestran los informes de la Comisión Corográfica. Pero de todas maneras la enorme dificultad de los transportes era una barrera insalvable para el desarrollo del comercio y la industria. En 1883, un ingeniero civil norteamericano, Evan Hopkin, manifestaba que debido a esas enormes dificultades, algunos productos norteamericanos eran más baratos en Honda que los bienes análogos del altiplano de Bogotá, a sólo 160 km. de allí. Doce años más tarde, decía Aníbal Galindo:

El estado normal de las comunicaciones entre Bogotá y el Magdalena es de una anomalía crónica. Para que los buques lleguen a Honda es preciso que llueva, y entonces no hay camino de tierra, entonces es que la carga está demorada; y para que haya camino de tierra y la carga no se demore, es preciso que no llueva, y entonces no pueden subir los vapores(...). Una arroba de plátanos, que en las orillas del Magdalena podría obtenerse por dos reales, vale en Bogotá ocho (...) Hoy (el azúcar) vale \$4.40 la arroba, porque el flete de una carga de ocho arrobas, del Socorro a Bogotá, vale \$12. (...) El trigo, que en la altiplanicie podría producirse en condiciones ilimitadas, está también circunscrito por un radio de veinte leguas: en Honda se encuentra ya con la harina de Estados Unidos, que ha podido recorrer unas trescientas leguas de camino con un gasto menor que la nuestra en 20.

Aún en 1889 el cónsul inglés en Bogotá escribía que el principal impedimento para la ampliación del comercio en Colombia era la terrible condición de los caminos del país; que el camino de Bogotá a Honda (el más importante de su tiempo) era casi intransitable; y que el tiempo para transportar una mercancía por esa corta distancia era mayor que el requerido de Europa hasta Honda.

Los únicos medios de que disponían los viajeros para movilizarse, no siendo gente de la misma región, eran la "silleta" y la mula. La primera generalmente era cargada en hombros por los indios, cuya fuerza, resistencia, experiencia y audacia, les permitían desplazarse por aquellos caminos llenos de peligros y dificultades.

En cuanto a la mula y el caballo, eran los más utilizados, especialmente en los mejores caminos. En los malos, también se cabalgaba en bueyes.

Un peón o carguero podía llevar entre 75 y 100 kilos en sus hombros, fuera una persona o un fardo. Por esa razón una gran parte de la carga destinada a Antioquia tenía que venir embalada en fardos de 65 a 70 kilos.

Para el transporte de carga, además de la que se movilizaba en hombros de personas, el medio generalizado eran las mulas y los bueyes, solos u organizados en combinaciones de varios animales llamadas "turegas". En esta última forma se transportaban las cargas más pesadas, ya que la capacidad de carga de cada animal estaba limitada a unas 5 a 6 arrobas como máximo.

Las cuatro ciudades colombianas más populosas de esa época estaban lejos del mar: Bogotá, a 1.088 km; Medellín, a 950 km; Cali, a 142 km; y Bucaramanga, a 714 km en contraste con los Estados Unidos y con casi todos los países latinoamericanos, donde las mayores ciudades estaban cerca de la costa. Esta comparación indica por qué la facilidad y el abaratamiento del transporte terrestre eran tal vez las mayores necesidades para un rápido desarrollo económico del país. De no ser por el telégrafo, que había comenzado a tenderse y a funcionar entre las poblaciones principales desde 1865 (establecido por Muriillo Toro), todo el país hubiera permanecido casi incomunicado debido a los poquísimos, largos y malos caminos.

En esas condiciones los fletes terrestres eran sumamente altos. Aun combinados con los precios mucho más baratos de transporte fluvial, el costo final resultaba muy alto, como lo indica el siguiente cuadro:

DISTANCIAS Y COSTOS DE TRANSPORTE INTERNO (1850-1880)

	Distancia Km	Duración Días	Flete/ton \$
Bogotá-Barranquilla	1.088	15	120
Medellin-Barranquilla	950	15	94
Bucaramanga-Barranquilla	714	10*	90
Bogotá-Medellin (por Sonsón)	520	8	104
Cali-Buenaventura	142	4	50*

* Estimación del autor

Fuentes: William P. Mc Greevey, *An Economic History of Colombia 1845-1930*, p. 258; Alberto Pardo P., *Geografía económica y humana de Colombia*, p. 389.

CAMINOS Y FLETES

Informa Aníbal Galindo en el *Anuario estadístico de Colombia* de 1875, que las principales corrientes del comercio interior eran las siguientes:

1. Entre Bogotá y Honda, por el camino de Facatativá y Guaduas. Por esa vía se movilizaban cerca de dos mil cargas de 125 kilos, compuestas principalmente por mercancías extranjeras, animales y productos nacionales.
2. Entre Cauca, Antioquia y Tolima, por la vía Popayán-Cartago-Manizales-Sonsón-Medellín, con derivación Manizales-Mariquita-Ibagué, iban cacao, cerdos y azúcar.
3. Entre Cundinamarca, Cauca y Antioquia, de Bogotá a Ibagué, y por el camino del Quindío a Cartago. De allí a Anserma-Medellín, y a Cali y Popayán. Por esta vía se transportaban mercancías extranjeras y sal desde Zipaquirá. En 1875, Cauca importó de Antioquia 105.804 kilos de mercancías extranjeras, productos de las aduanas del Atlántico.
4. Desde el Cauca, por la vía del Quindío, entraban a Ibagué sal, cacao, ropa extranjera y del país, harina de trigo, anís, ajos, garbanzos, papa, alpargatas, fideos, ganado, y otros productos.
5. Entre Boyacá y Casanare, por la vía de Sogamoso se movilizaba ganado que venía desde tan lejos como de El Carmen, en el estado de Bolívar.
6. Del Chocó entraban por la vía de Santa Fe de Antioquia al estado de ese nombre: ajos, cebollas, carnes, quesos, frisoles, perros, aves, oro, etc. Antioquia enviaba al Chocó damajuanas de vino, hierro manufacturado, loza, plomo, oro, etcétera.
7. Entre Antioquia y Bolívar, el tráfico se hacía por el puerto de San Bartolomé, en el río Magdalena.

La región caucana salía por un mal camino al río Dagua, y por allí al puerto de Buenaventura, que usaba para la exportación. El centro del país se comunicaba con el exterior mediante el río Magdalena, por la vía de Honda a Cartagena, en champanes y vapores. Antioquia exportaba su oro a través del río Cauca, hacia Mompos y Cartagena. Santander enviaba por Ocaña sus manufacturas a la Costa; y Cúcuta exportaba su creciente producción cafetera por el camino del puerto de Los Cachos, en el Catatumbo, de donde bajaba por este río y por el Zulia hasta Maracaibo.

Los principales caminos que había en 1870 eran los siguientes: Bogotá-Honda, Bogotá-Ibagué-Cartago-Cali, Bogotá-Tunja-Bucaramanga-Cúcuta,

Bogotá-Neiva-Popayán, Cali-Popayán-Pasto-Quito, Nare-Medellín, Honda-Mariquita-Sonsón-Medellín-Santa Fe de Antioquia. Además había muchísimos caminos locales entre poblaciones vecinas. Según la *Geografía de Colombia* de Francisco Javier Vergara y Velasco, en 1890 había 7.500 leguas (37.500 km) de caminos en el país.

En cuanto a los tiempos de tránsito, Alberto Pardo Pardo indica las siguientes duraciones en los principales trayectos dentro del país, recorridos a caballo, en 1826 y en 1890.

DURACION DE TRAYECTOS

Ruta	1826	1890
Túquerres-Pasto	1 día	1 día
Pasto-Popayán	9 días	7 días
Popayán-Neiva	7 días	7 días
Neiva-Bogotá	9 días	9 días
Bogotá-Tunja	5 días	3 días
Tunja-Pamplona	8 días	8 días
Pamplona-Cúcuta	3 días	2 días

Fuente: Alberto Pardo P., *Geografía económica y humana de Colombia*.

Las largas distancias y las ingentes dificultades materiales de transporte hacían muy costosos los fletes, como ya se dijo. William Mc Greevey encontró el dato de los precios en numerosos trayectos del país para transporte en mula, a mediados del siglo pasado. El mismo autor calculó que el promedio simple sobre muchos recorridos era de 41.6 centavos por ton-kilómetro, y observó que cuando construyeron los primeros ferrocarriles, éstos pudieron ofrecer fletes que eran 65% más baratos que los de los medios terrestres convencionales. En 1880, Cisneros informaba que el transporte en mula en Antioquia costaba unos 60 centavos por ton-km, y aseveraba que el ferrocarril que él construía entonces de Puerto Berrío a Medellín, permitiría un flete de 17 centavos por ton-km para importaciones, 11 centavos para exportaciones y una tarifa especial de 8.5 centavos para café, herramientas y utensilios de trabajo.

PRIMER FERROCARRIL: EL DE PANAMA

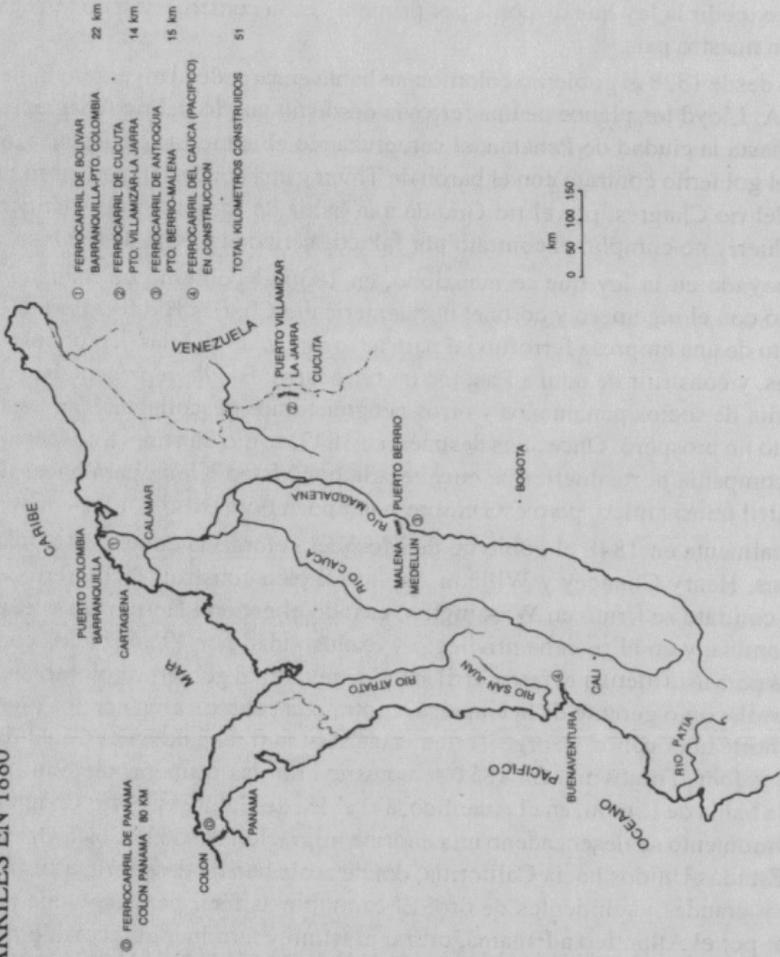
Es muy notable que ya en 1835, tan sólo cinco años después de las pruebas comerciales exitosas de George Stephenson con sus primeros trenes de Manchester a Liverpool, en la Nueva Granada el general Santander como presidente hiciera expedir la ley que disponía por primera vez la construcción de ferrocarriles en nuestro país.

Ya desde 1828 el gobierno colombiano había encargado al ingeniero inglés James A. Lloyd los planos de una ferrovía desde un puerto del río Chagres, al norte, hasta la ciudad de Panamá, al sur, cruzando el istmo. Años después, en 1835, el gobierno contrató con el barón de Thierry una concesión para abrir un canal del río Chagres, por el río Grande a la bahía de Limón en el Atlántico. Pero Thierry no cumplió el contrato por falta de seriedad y falta de fondos.

Apoyado en la ley que se mencionó, en 1836 el gobierno de Santander contrató con el ingeniero y coronel norteamericano Charles Biddle el establecimiento de una empresa ferrofluvial para navegar desde el Atlántico por el río Chagres, y construir de aquí a Panamá un ferrocarril. Biddle representaba una compañía de socios panameños y otros neogranadinos descollantes, pero este proyecto no prosperó. Once años después, en 1847, se dio una nueva concesión a una compañía norteamericana, encabezada por Mateo Klein, para hacer un ferrocarril transístmico, pero esta empresa tampoco tuvo éxito.

Finalmente en 1848 el gobierno de Mosquera otorgó la concesión a John Stephens, Henry Chancey y William Aspinwall para construir dicho ferrocarril. El contrato se firmó en Washington, cuando el general Herrán era cónsul de Colombia, y en él se daba privilegio y exclusividad por 49 años a los contratistas para usufructuar el ferrocarril antes de revertir al gobierno colombiano. Aspinwall, como gerente de la empresa, contrató la construcción con los ingenieros norteamericanos George Totten (quien había trabajado en el Canal del Dique) y John Trautwine. En 1851 se construyeron las primeras siete millas desde la bahía de Limón, en el Atlántico, a la aldea de Gatún, en el río Chagres. En ese momento se desencadenó una enorme migración desde la Costa Oriental de Estados Unidos hacia California, donde acababan de descubrirse sus famosos y grandes yacimientos de oro. El camino más fácil para ese viaje era navegar por el Atlántico a Panamá, cruzar el istmo y terminar el recorrido por el Pacífico. El ferrocarril en construcción demostró su enorme utilidad. Las acciones de la Panamá Rail Road Company subieron de manera vertiginosa en la bolsa de Nueva York y la compañía pudo capitalizarse y adelantar rápidamente la obra. En 1854 los trenes llegaban desde el Atlántico hasta la aldea de

FERROCARRILES EN 1880



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

Gorgona, en el sitio navegable más alto del río Chagres. En ese año se iniciaron trabajos desde el lado de Ciudad de Panamá. En enero de 1855 se clavó el último riel y pasó el primer tren de un océano a otro, recorriendo 80 km.

El ferrocarril de Panamá fue el noveno en construirse en el continente americano y durante todo el resto del siglo XIX, fue quizá la empresa ferroviaria más próspera del mundo. Cuando Estados Unidos dio su golpe contra Panamá e inició la apertura del canal, compró a sus antiguos dueños este ferrocarril cuya línea todavía existe y opera.

Después del de Panamá, construido de 1849 a 1855, ningún otro ferrocarril se hizo en el país hasta que en 1869 una empresa alemana, con ingenieros alemanes, inició el ferrocarril de Barranquilla al océano, el cual entró en servicio hasta Puerto Salgar en enero de 1871.

Por iniciativa del presidente, general Eustorgio Salgar, en 1871 el Congreso decretó varias obras públicas, incluyendo un ferrocarril que debería ir de Bogotá al mar Caribe, pasando por Boyacá y Santander. Se contrató al ingeniero francés Verhany para estudiar la ruta, y él recomendó la vía del Carare. Al mismo tiempo el estado de Cundinamarca comisionó a los ingenieros Indalecio Liévano y Juan Nepomuceno González Vásquez para buscar una ruta carretera o ferroviaria de Bogotá al río Magdalena. Su recomendación fue la de seguir la que ya había sugerido Poncet en 1848. Pero aún no se ha emprendido ninguna de las dos obras.

FERROCARRIL DE BOLIVAR (DE BARRANQUILLA AL MAR)

Hasta 1868 el tráfico de cargamentos que entraban o salían del país por Barranquilla llegaba al pequeño puerto de Sabanilla (hoy Puerto Salgar) en el mar, y de allí se trasladaba a esa ciudad en bestias o por carretas. En ese año, un grupo de empresarios barranquilleros creó la Compañía del Ferrocarril Barranquilla-Sabanilla; y el primero de febrero de 1869 en Barranquilla se comenzaron los trabajos por contrato con la compañía alemana Hoenisberg-Wessels, con la dirección de ingenieros alemanes e ingleses. Exactamente dos años después, la línea llegó a Sabanilla y fue dada al servicio. El beneficio de esta obra para la ciudad de Barranquilla, como puerto de comercio del país, fue tan grande que en 1870 sólo aportaba el 10% de los ingresos aduaneros de los tres puertos del Atlántico, pero dos años después de hecho el ferrocarril, en 1873, la participación de la ciudad en la renta de aduanas se elevó a más del 80%.

Nueve años después los dueños del ferrocarril decidieron prolongarlo hasta Puerto Belillo, y comenzaron esta obra en 1880 por contrato con el ingeniero Francisco Javier Cisneros, quien hacía ya algunos años construía el ferrocarril de Antioquia. Cisneros llevó la línea hasta Puerto Belillo en el curso de un año y continuó hasta Puerto Cupino (hoy Puerto Colombia), para alcanzar aguas de más hondo calado. Allí llegó la línea en 1882. Inmediatamente una compañía inglesa inició la construcción del muelle marítimo, bajo la dirección del ingeniero John B. Daugherty. Once años después, en 1893, se dio al servicio el muelle de Puerto Colombia que, con los 27 km de carrillera hasta Barranquilla, convirtieron esta ciudad en el principal puerto marítimo del país. El ferrocarril y el muelle duraron en servicio hasta 1945, cuando se levantaron los rieles.

FERROCARRIL BUENAVENTURA-CALI

Después de muchos esfuerzos de varios gobiernos para abrir un camino carretable de Buenaventura a Cali, en 1870 el gobierno del general Eustorgio Salgar contrató con una sociedad norteamericana los estudios, trazados y construcción de un ferrocarril de Buenaventura a Cali. En diciembre de 1872 comenzaron los trabajos dirigidos por el ingeniero Barton C. Smith. Pero la insolvencia de la compañía no permitió avanzar la obra, y en esas condiciones, en 1878 el gobierno canceló el contrato con los americanos y contrató el trabajo con Cisneros. Con su característica eficiencia y denuedo, Cisneros comenzó en septiembre el enriado en Buenaventura, así como la construcción del puente de El Piñal, dirigido por su amigo, el ingeniero Denning Thayer. En 1882 se inauguraron los primeros 27 km de carrilera hasta la estación Córdoba. Cisneros trabajó tres años más en estudios y trazados, hasta que a comienzos de 1885 la guerra civil impidió al gobierno seguir atendiendo el contrato. Este fue rescindido por las partes y Cisneros entregó la carrillera hasta Córdoba, el puente de El Piñal construido, el trazado completo hasta la Quebra de San José y los estudios generales hasta Cali.

En 1886 la Nación reinició los trabajos bajo la dirección del ingeniero colombiano Macario Palomino, a quien reemplazó el ingeniero Julián Uribe Uribe. Habiendo ya 32 km de línea en servicio, la Nación decidió contratar la construcción con el ingeniero, empresario y aventurero James L. Cherry, quien inició el trabajo en diciembre del mismo año. Tres años después la línea llegaba a San José (km 36 + 740 m), se habían explanado 15 km más, y estaba trazada toda la línea hasta Cali, cuando surgió un conflicto entre Cherry y la Nación.

Dos años pasaron dirimiendo este pleito, que al final perdió nuestro gobierno. En 1896 la Nación continuó directamente la obra, pero al año siguiente volvió a contratar con los señores Víctor Borrero e Ignacio Muñoz, también colombianos, quienes repararon la línea semiabandonada e iniciaron la prolongación. En 1899 la guerra civil de los Mil Días hizo que el gobierno asumiera la administración directa de nuevo hasta que en 1903, al llegar la paz, devolvió el contrato al señor Muñoz. Había ya 43 km en servicio.

FERROCARRIL DE ANTIOQUIA

Debido a su abrupta topografía, las comunicaciones de Antioquia con el resto del país habían sido siempre especialmente difíciles. Durante su presidencia del estado antioqueño, el general Pedro Justo Berrío concibió la idea de construir un camino para ruedas y un ferrocarril desde el río Magdalena hasta Medellín. Pero fue sólo en 1874, siendo presidente del Estado don Recaredo de Villa y presidente de la República don Manuel Murillo Toro, cuando el gobierno de Antioquia llamó al ingeniero cubano Francisco Javier Cisneros, quien se encontraba en el Perú construyendo el ferrocarril de Lima a La Oroya, para que construyera una ferrovía del río Magdalena a la población de Barbosa (Antioquia).

El contrato con Cisneros se firmó en mayo de 1874 y después de algunas gestiones en Estados Unidos para financiar el proyecto, el contratista inició los estudios y trazados en noviembre de ese año, venciendo las indecibles dificultades del clima lluvioso, los pantanos insondables y la selva tupida que entonces eran característicos de las orillas del río Magdalena. Al no haber en Colombia antecedentes de una obra de ingeniería de este grado de dificultad, Cisneros tuvo que traer ingenieros extranjeros para dirigir su difícil trabajo. En aquellos primeros años fueron sus colaboradores los ingenieros cubanos Ernesto L. Luaces y Aniceto Menocal; el peruano Vicente Marquetti; los norteamericanos George Totten, John B. Daugherty y Denning Thayer; y los colombianos Juan Francisco Pérez y Rafael M. Merchán.

En octubre de 1875 se clavó el primer riel en Puerto Berrío y durante nueve años la obra avanzó lentamente, con enormes dificultades técnicas y financieras, entre selvas y pantanos, al costo de innumerables vidas. La guerra civil nacional de 1876 y las dos guerras civiles antioqueñas de 1879 y 1880 detuvieron la obra. En 1885, cuando estalló la guerra civil contra Núñez, había 48 km construidos hasta la estación de Pavas, y 30 km más trazados hasta el río Nus. La incapacidad del gobierno para atender sus pagos,

forzó a Cisneros a devolver el contrato, entregando al estado de Antioquia la carrilera, las líneas telefónicas, el material rodante, los estudios y las tierras que ya tenía el ferrocarril.

Durante los tres años siguientes el gobierno de Antioquia se limitó al sostenimiento de lo construido, que encargó al ingeniero Clímaco Villa. En 1888 el departamento firmó un contrato con el ingeniero y empresario norteamericano Charles S. Brown, para concluir el ferrocarril. Brown no pudo cumplir y nada hizo, de modo que el gobierno departamental volvió a tomar la administración en 1891. En este año Antioquia firmó otro contrato, esta vez leonino y desastroso, con la firma inglesa Punchard-Mc Taggart-Lowther and Company. Esta firma no colocó siquiera un nuevo riel, incumplió totalmente sus compromisos, enredó al gobierno en especulaciones con bonos en el exterior y demandó al departamento y a la Nación. Después de un gran pleito, los tribunales suizos fallaron en contra de Colombia, y el gobierno debió pagar una gruesa "indemnización" a la compañía inglesa.

Corría el año 1894 cuando el Departamento asumió de nuevo la obra y continuó el trazado y la construcción, encargando del trabajo a los ingenieros Rafael Torres Mariño, Tomás Arturo Acevedo, Jorge Páez, Pablo E. Pérez y Juan de Dios Vásquez, sucesivamente. Así comenzaron los trabajos, en medio de penalidades y estrecheces financieras, hasta que en 1899 estalló la guerra civil de los Mil Días y los trabajos se suspendieron con 66 km de carrilera, adelante de la estación de Caracolí.

Para este departamento, el ferrocarril al Magdalena era una obra en realidad redentora. Ya Boussingault había dicho desde 1828: "Antioquia es una comarca que se distingue por la dificultad de sus comunicaciones". Este hecho era reconocido por gobernantes, viajeros y comerciantes. Por la misma circunstancia, Antioquia había estado al margen del comercio de exportación de productos agropecuarios; y aun el desarrollo de su minería de metales preciosos se había visto seriamente limitado por la imposibilidad de introducir máquinas y equipos pesados que permitieran mejorar la productividad en las minas de veta y en los aluviones que se explotaban. En su libro sobre el Ferrocarril de Antioquia¹, Cisneros señala este hecho repetidas veces y demuestra con estadísticas fehacientes cuánto podría aumentarse la producción y el comercio si se contara con medios de transporte más económicos y de mayor capacidad. Calculaba, por ejemplo, que la movilización

1 Francisco Javier Cisneros, *Memorias sobre la construcción de un ferrocarril de Puerto Berrio a Barbosa* (estado de Antioquia).

de carga entre Medellín y el río Magdalena en ambos sentidos podría alcanzar en su época (1875) 48.000 ó 50.000 toneladas por año, y más de 105.000 viajeros en el mismo lapso.

FERROCARRIL DE CUCUTA AL RIO ZULIA

Cuando el café empezaba a ser una de las principales exportaciones del país, hacia 1870, la mayor parte de la producción y la exportación del grano correspondía al estado de Santander, especialmente en sus regiones del norte. El grano llegaba de distintas poblaciones a Cúcuta, y de allí se transportaba en bestia hasta el puerto de Los Cachos, en el Catatumbo. Continuaba en embarcaciones menores hasta el río Zulia, en donde pasaba a los vapores que lo llevaban a Maracaibo.

La importancia que adquirió el camino de Cúcuta al río Zulia por el crecimiento de la exportación cafetera, llevó al estado de Santander a contratar la construcción de un ferrocarril en ese trayecto con el ingeniero Juan Nepomuceno González Vásquez. La construcción comenzó en 1878 en el puerto de Buenaventura (hoy Puerto Villamizar), en el río Zulia. En 1880 se inauguró el primer tramo de carrilera, de Puerto Villamizar a La Jarra, con 14 km. Posteriormente, durante ocho años se continuó trabajando en este ferrocarril en medio de las dificultades de la selva del Catatumbo, la pobreza del erario santandereano y las guerras civiles que paralizaban la obra. Fue éste el tercer ferrocarril que se inició en el país y el primero trazado y construido íntegramente por ingenieros colombianos, que lo hicieron con los mayores esfuerzos técnicos y venciendo indecibles dificultades. Ellos fueron Juan Nepomuceno González y Enrique Morales, exalumnos del viejo Colegio Militar. En Cúcuta se inauguró la línea en julio de 1888, con sus 55 km de recorrido.

FERROCARRIL DE SANTA MARTA

Con el deseo de mejorar la comunicación de Santa Marta con el interior del país, en 1880 el gobierno de Núñez contrató con los empresarios Manuel J. de Mier y Roberto Joy la construcción de un ferrocarril desde dicho puerto hasta el río Magdalena. Al año siguiente se iniciaron los trabajos y después de la inevitable interrupción de la guerra de 1885, la línea se inauguró en 1887, en su primer tramo hasta San Juan de Córdoba (hoy Ciénaga). Dos años después

se decidió prolongarlo hacia El Banco pero las dificultades para financiarlo obstaculizaron los trabajos, y en 1894 la carrilera sólo llegaba hasta el río Sevilla. Allí quedó detenido durante siete años, al cabo de los cuales la Nación asumió directamente la obra y la continuó hasta que en 1906 la llevó a la población de Fundación, con 94 km de ferrovía y allí quedó detenida.

FERROCARRIL GIRARDOT-BOGOTA

Desde la época de Codazzi se había estudiado la idea de construir un camino de ruedas de Bogotá hacia el Alto Magdalena. Pero fue necesario que el presidente Núñez se empeñara en esta obra, y que en 1881 llamara a Cisneros para contratar con él la construcción de un ferrocarril desde Girardot hacia la sabana de Bogotá. Con su energía característica, Cisneros empezó al año siguiente y durante tres años trabajó con tesón en esa obra, con la ayuda de los ingenieros John B. Daugherty, Rafael Arboleda Mosquera (quien murió allí debido a la fiebre amarilla) y Modesto Garcés. En 1885, con 33 km de carrilera hasta Tocaima, Cisneros hubo de devolver el contrato ante la incapacidad del gobierno de financiar la obra, debido a la guerra civil.

Cabe anotar que Cisneros tuvo una encendida polémica profesional con los ingenieros Manuel Ponce de León y Abelardo Ramos acerca del ancho de la vía férrea recomendable para el ferrocarril de Girardot a la Sabana. Cisneros defendía la trocha de una yarda debido a su formación en Estados Unidos y a la mayor adaptabilidad de la trocha angosta a terrenos montañosos. Ponce de León y Ramos defendían la trocha de un metro por sus mejores características de estabilidad dinámica para los trenes y de exigencias de buenos parámetros de trazado.

Dos años después el gobierno asume los trabajos y construye de Tocaima a Apulo, entre 1887 y 1889. Durante los cinco años siguientes el gobierno firmó tres contratos para continuar los trabajos, pero todos fracasaron por insolvencia e incumplimiento de los contratistas (una sociedad de empresarios bogotanos, una compañía inglesa y un contratista particular). Entre tanto, entre 1892 y 1895, la ferrovía había proseguido hasta la estación Anserma en el km 40.

Entre 1895 y 1898 se intentaron otros tres contratos con empresarios norteamericanos, ingleses y colombianos. Sólo tuvo alguna eficacia el contrato con el empresario Samuel B. Mac Connic, quien bajo la dirección del ingeniero George Odell reconstruyó el tramo de Apulo-Anserma y construyó la línea hasta Anapoima. En 1900 se intentó otro contrato con una compañía inglesa,

pero no pudo ejecutarse porque el ingeniero jefe John C. Gibney y cuatro ingenieros ingleses más, que vinieron a trabajar en la obra, fallecieron de fiebre amarilla a su llegada. Además, la guerra civil de los Mil Días impidió seguir atendiéndola.

Cuando el general Reyes se posesionó de la Presidencia de la República, la línea sólo tenía 49 km en servicio, de Girardot a Anapoima. De inmediato Reyes ordenó continuar los trabajos con un cuerpo de zapadores del ejército, bajo la jefatura del ingeniero José Domingo Paz, y así llegó el ferrocarril al km 97, arriba de la estación El Hospicio, a mediados de 1906. En ese momento se pensó modificar la ruta para llegar a Bogotá por el sur, y se hizo un nuevo contrato infructuoso. Finalmente, después de tantos esfuerzos, en 1908 la línea llegó a Facatativá con sus 132 km de extensión.

FERROCARRIL PUERTO WILCHES-BUCARAMANGA

Desde 1870 el estado de Santander quiso buscar una salida ferroviaria desde sus regiones centrales al río Magdalena. Con ese propósito dictó varias leyes estatales, hizo varios contratos con extranjeros que luego se frustraron, contempló varias rutas y sitios terminales y se esforzó por financiar la obra. Por fin, a principios de 1881 el gobierno nacional contrató con el gobierno del estado de Santander la construcción de la obra. En junio de ese año se iniciaron los trazados y la construcción en el río Magdalena, cerca de la ciénaga de Paturia, en el sitio llamado hoy Puerto Wilches, que se fundó en honor del general Solón Wilches, presidente del estado de Santander y decidido impulsor de la obra.

El jefe de los trabajos, ingeniero Abelardo Ramos, llevó a cabo rápidamente su cometido. En dos años había trazado 18 km y enrielado cinco en medio de las ciénagas y de la selva que rodeaban el Magdalena. Pero en 1885 la guerra civil forzó a paralizar los trabajos.

Pasada la guerra el gobierno contrató con el señor Enrique Cortés la reconstrucción y continuación del ferrocarril. Bajo este contrato, entre 1888 y 1892, los ingenieros Abelardo Ramos y Pablo Vanegas realizaron los estudios y el trazado completo desde Puerto Wilches hasta Bucaramanga. En cuanto intentaba otros contratos con firmas extranjeras, el gobierno se limitaba al sostenimiento de la obra bajo la jefatura del ingeniero Vanegas, hasta que en 1895 la obra fue abandonada debido a la guerra civil que estalló ese año.

FERROCARRIL HONDA-LA DORADA

Desde 1878 se contrató con el empresario e ingeniero Nicolás Pereira Gamba la construcción de un ferrocarril de Honda a La Dorada para empalmar el Alto y el Bajo Magdalena, salvando los rápidos y torrentes que el río tiene en ese trayecto. Sin embargo el contratista no pudo cumplir por insolvencia financiera.

Entusiasmado Núñez por la decisión y la eficacia del ingeniero Cisneros, demostrada en otras varias ferrovías, en 1881 contrató la construcción de esta línea con el infatigable empresario cubano. Cisneros comenzó de inmediato, y al año siguiente inauguró el primer tramo desde el puerto de La Noria (después llamado Arrancaplumas), aguas arriba de Honda, hasta la quebrada El Peñón, 6 km abajo.

En este ferrocarril se montaron los primeros puentes de hierro en Colombia. En 1885 había 15 km en servicio, y en 1890 (después de una suspensión por la guerra civil contra Núñez) había 20 km en servicio. Cuando estalló la nueva guerra civil de 1895, los trenes se movían entre Arrancaplumas y la quebrada Yeguas, en un trayecto de 23 km. En ese momento se suspende el contrato con Cisneros y el gobierno asume directamente el manejo de la empresa. Pasada la guerra, la obra vuelve a la dirección de Cisneros, y éste la termina hasta llegar al puerto de La María (hoy La Dorada), a 33 km de Arrancaplumas, en 1897.

Ocho años después, el presidente Reyes contrata con S. Pearson and Son la prolongación desde Honda hacia Mariquita y Flandes. Poco después el contrato es concedido a la compañía The Dorada Railway and Extension Company, la cual lleva los trabajos hasta Ambalema, en 1907. La obra para allí, con 111 km construidos y en explotación entre La Dorada y Ambalema.

FERROCARRIL DE LA SABANA

La posibilidad de construir una buena vía carretable de Bogotá al río Magdalena había sido una preocupación prioritaria desde el primer gobierno del general Santander. Como la vía forzosamente tendría que pasar por Facatativá, desde cuando se construyeron los primeros ferrocarriles en el país se pensó en la posibilidad de una ferrovía entre Bogotá y esa población. Pero fue sólo el presidente Núñez quien tuvo la decisión y los recursos para emprender el trabajo en 1882.

El ferrocarril de la Sabana se inició en Facatativá en 1882, también bajo el gobierno de Núñez y llegó a Bogotá ocho años después, tras haber sido interrumpido

pido largamente por la guerra civil de 1885. Es interesante destacar que los rieles de este ferrocarril fueron producidos por la ferrería de La Pradera, lo cual constituyó un gran éxito técnico de esta industria. Con enormes esfuerzos se trajeron por el río Magdalena y a lomo de bestias los equipos, los rieles, las locomotoras y los vagones hasta Facatativá. El ferrocarril fue construido por ingenieros colombianos: Manuel H. Peña, Francisco Mariño C., Joaquín Barriga, Honorato Espinosa, Rafael Vargas, Cecilio Echeverría y Francisco M. Useche. Eran antiguos alumnos del Colegio Militar y de la Universidad Nacional.

La guerra civil de 1885 encontró la vía en Cuatro Esquinas (hoy Mosquera) y allí se suspendió. Al año siguiente el empresario Carlos Tanco, por contrato con el gobierno, continuó los trabajos y el 20 de julio de 1889 se inauguró este ferrocarril en Bogotá, con sus 40 km de extensión.

NUÑEZ Y SUS FERROCARRILES

El presidente Núñez, en su primer período presidencial (1880-1882), entendió con gran claridad y previsión la necesidad imperiosa de resolver el tremendo problema de los difíciles transportes interiores, si se quería impulsar y aprovechar la producción cafetera que en aquellos años empezaba a cobrar gran auge². Seguramente Núñez estaba influido por la visión de los enormes efectos favorables que habían tenido los ferrocarriles en el desarrollo de Inglaterra, durante los años en que desempeñó su cargo de cónsul en Liverpool, en ese país. Estaba convencido, con toda razón, de que los ferrocarriles eran una pieza esencial para el progreso económico del país y para su unidad política interior.

En consecuencia, el Regenerador se empeñó durante sus tres períodos presidenciales y durante los de aquellos presidentes sustitutos (que él dejó en el cargo, pero que dominaba sin lugar a dudas desde Cartagena) en asumir o en contratar la construcción de ferrocarriles por el gobierno central, y en apoyar a los estados (posteriormente departamentos) para construir líneas férreas. En aquellos años de absoluto dominio político de Núñez progresaron o se iniciaron diez frentes de trabajo ferroviarios, a saber:

1. El de Puerto Belillo a Puerto Colombia, construido por Cisneros para empresarios privados barranquilleros.
2. El de Buenaventura a Córdoba, construido por Cisneros para la Nación.

2 Hay que recordar que entre 1880 y 1898 la exportación de café pasó de menos de cien mil sacos anuales a cerca de quinientos mil sacos.

3. El de Puerto Berrío a Caracolí, construido por Cisneros para el estado de Antioquia.
4. El del río Zulia a Cúcuta, dirigido por Juan Nepomuceno González Vásquez para el estado de Santander.
5. El de Santa Marta a Ciénaga, dirigido por ingenieros ingleses, bajo un contrato de empresarios barranquilleros con el gobierno nacional.
6. El de Girardot a Tocaima, construido por Cisneros bajo contrato con el gobierno nacional.
7. El de Honda a La Dorada, contratado también con Cisneros para el gobierno nacional.
8. El de Puerto Wilches hacia el interior de Santander, dirigido por el ingeniero Abelardo Ramos y financiado por el gobierno de dicho estado.
9. El ferrocarril de la Sabana, iniciado directamente por el gobierno, con la jefatura del ingeniero Manuel H. Peña.
10. El de Bogotá hacia el Norte, dirigido por el ingeniero Enrique Morales y financiado por el gobierno de Miguel Antonio Caro.

TECNOLOGIA FERROVIARIA

Los primeros ingenieros que trajeron a Colombia la tecnología necesaria para trazar y construir ferrocarriles y para operar trenes fueron norteamericanos, como Totten y Trautwine que hicieron el ferrocarril de Panamá; ingleses, como los que hicieron el de Barranquilla-Puerto Colombia y el de Santa Marta; o colombianos, como Juan Nepomuceno González Vásquez y Rafael Arboleda Mosquera, quienes habían estudiado en Europa y trabajado en ferrocarriles en ese continente. Pero indudablemente el más grande y esforzado pionero de la tecnología ferroviaria fue Francisco Javier Cisneros. Este ingeniero nació en Santiago de Cuba, se graduó como ingeniero civil en los Estados Unidos, y había ejercido su profesión en dicho país y en el Perú. En 1874 fue llamado a Antioquia para iniciar la construcción del ferrocarril de Puerto Berrío a Medellín. Las dotes que mostró como trabajador infatigable, profesional competentísimo y contratista responsable, hicieron que se le encargara por contrato la construcción de otras cuatro vías férreas: Sabanilla-Puerto Colombia, Buenaventura-Cali, Girardot-Bogotá y Honda-La Dorada. En estos diversos frentes de trabajo, Cisneros y sus ingenieros ayudantes (Luaces, Menocal, Marquetti, Arboleda, Daugherty y Thayer) enseñaron a los noveles ingenieros colombianos todas las técnicas para la construcción y operación de ferrovías.

Al mismo tiempo que construía ferrocarriles, Cisneros fue encargado por el gobierno de Núñez de establecer la navegación por vapor en el Alto Magdalena, lo cual pudo hacer, no sin grandes esfuerzos, navegando en pequeños buques desde Honda hasta Girardot y Purificación.

Otros ingenieros, especialmente bogotanos como González Vásquez y Arboleda Mosquera, que no trabajaron con Cisneros, aprendieron estas técnicas de compañeros experimentados en Europa, o en la dura escuela del trabajo de campo emprendido con base en decisiones y buena preparación técnica, como lo hicieron Abelardo Ramos, Enrique Morales, Manuel H. Peña y Manuel Ponce de León.

Fue Cisneros quien estableció las primeras normas mínimas para el diseño geométrico de ferrovías, al iniciar los estudios para el ferrocarril de Antioquia. El señaló que en ferrocarriles como los nuestros, que debían atravesar terrenos abruptos, el ancho de la trocha debía ser de una yarda (0.913 m) entre rieles; el radio mínimo de las curvas sería de 70 m; que la longitud más corta entre tangentes sería de 25 m; que la pendiente máxima admisible sería del 3%; y que el peso de los rieles sería de 30 libras por yarda. Lo más importante fue que Cisneros escogió como ancho de vía la distancia de una yarda entre rieles y así construyó todos los ferrocarriles que él empezó. Cuando iba a iniciar el ferrocarril de Girardot hacia Tocaima, Cisneros sostuvo un fuerte debate acerca de la anchura de vía con Abelardo Ramos y Manuel Ponce de León. El primero abogaba firmemente por la anchura de una yarda, en tanto que los segundos defendían la anchura de un metro. Ambas partes aportaban razones válidas, basadas unas en las condiciones prácticas de la construcción, y otras en la capacidad de arrastre de los trenes. El resultado del debate fue que los ferrocarriles que inició Cisneros fueron todos de una yarda entre rieles (Antioquia, Buenaventura, Girardot, La Dorada) en tanto que los que iniciaron los ingenieros bogotanos se hicieron de un metro entre rieles (Cúcuta, la Sabana, Puerto Wilches, del Norte y del Sur). El ferrocarril de Panamá había sido hecho con 1.45 m entre rieles, y el de Barranquilla con 1.05 m, por la llaneza de esos terrenos, por la costumbre de los ingenieros extranjeros de usar trocha ancha, y por la necesidad de trabajar con trenes de mayor velocidad y mayor capacidad de carga.

Los rieles para construir los ferrocarriles eran traídos de Estados Unidos, de Alemania o de Inglaterra, por mar, hasta Cartagena o Barranquilla. De allí se transportaban en barco hacia el interior, por el río Magdalena y finalmente a lomo de bestia al sitio para su tendido. Esta misma era la ruta por donde se entraban locomotoras y vagones y los demás materiales para construir las fe-

rovías y hacer marchar los trenes. Era un esfuerzo titánico, a pesar de que se trataba entonces de trenes pequeños.

Los primeros trenes que transitaron por nuestras carrileras a fines del siglo pasado eran relativamente livianos y cortos. Los movían locomotoras con peso de cinco a ocho toneladas, de marca Porter (norteamericana) o Henschel (alemana). Detrás de la locomotora seguía un vagón que transportaba la leña para alimentar la caldera. Cuatro o cinco vagones para carga, de 10 a 15 toneladas de capacidad, y uno o dos vagones para pasajeros de 30 ó 40 puestos cada uno completaban un tren típico en aquella época. Todas las líneas férreas tenían una línea telegráfica paralela, a través de la cual el tren se comunicaba con las distintas estaciones. Posteriormente, cuando se conoció y se generalizó el uso del teléfono, las líneas telegráficas fueron remplazadas por líneas telefónicas. Con el paso del tiempo también fueron adoptándose locomotoras más potentes y más pesadas, y nuevas marcas: Baldwin (norteamericana), Mikado (japonesa), Creuzot-Loire (francesa), Tubize (francesa) y Skoda (checoslovaca).

Los ingenieros que llegaban a construir estos primeros ferrocarriles traían consigo una gran variedad de instrumentos y conocimientos técnicos antes desconocidos en la localidad, y que sin duda contribuyeron a elevar el nivel técnico de todas las regiones en donde aparecían los ferrocarriles. Con los ingenieros venían el tránsito, el nivel de mano Locke, el nivel Abney, el nivel telescópico de precisión, las cadenas de agrimensur, las lienzas, las miras, los jalones, las libretas de cálculo, los instrumentos de dibujo, los rieles, las locomotoras con su elemental pero maravillosa complejidad, la caldera de vapor, el motor de vapor, las pilas eléctricas para el telégrafo, los conductores eléctricos, los aparatos de telegrafía y telefonía, el generador eléctrico, el motor de gasolina, los sistemas de aire comprimido de los frenos, y muchos otros dispositivos necesarios para la tecnología ferroviaria, que en un país retrasado como el nuestro eran descubrimientos extraordinarios.

Al iniciarse en la década de 1870 la construcción de ferrocarriles, empieza a conocerse con alguna amplitud la técnica de cómo trazar y construir este tipo de vías; se comienza a generalizar el uso de la brújula, el nivel y la cadena; por primera vez se conoce lo que es un riel. Las primeras locomotoras, aún tan pequeñas como las de cinco toneladas de aquellos días, eran un nuevo contacto del público con la potencia del vapor y con el transporte rápido (de 30 km por hora). En esos ferrocarriles se instalaron los primeros talleres mecánicos, y en la dura escuela de la práctica comenzaron a formarse los primeros topógrafos, cadeneros, maquinistas, herreros, forjadores, mecánicos, calderistas, fagoneros, etc. En los talleres de estos ferrocarriles

se instalaron las primeras plantas generadoras de electricidad, movidas por máquinas de vapor, como las locomotoras; también se instalaron las primeras líneas telefónicas, y funcionaron las primeras máquinas-herramientas para metales (tornos, taladros, fresadoras, etc.) y los primeros hornos para fundir hierro en crisoles. Todo esto se hizo, por ejemplo, en el ferrocarril de Antioquia desde el primer año de su construcción, en 1875.

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

LINEAS TENDIDAS

Ferrocarril	1885 (km)	1890 (km)
Antioquia	38	48
Cúcuta	54	55
La Dorada	15	29
Girardot	31	31
Pacífico	38	52
La Sabana	—	40
Bolívar	27	27
Total	203	254

El acero, el carbón vegetal, el cobre, la dinamita, la hulla y el concreto eran materiales que iban por primera vez a donde llegara el ferrocarril. Con él venían también equipos nuevos: la caldera, el motor de vapor de ciclo cerrado, el generador eléctrico, el telégrafo, el teléfono, la bomba de agua, etc. Y llegaban también, en consecuencia, nuevas experiencias para los ingenieros en muchas áreas científicas y técnicas como la mecánica, la hidráulica, la topografía, la geodesia, la geología, la mecánica de suelos, la resistencia de materiales, la metalurgia, la electricidad, la termodinámica, etc. Los ingenieros colombianos que inicialmente trabajaban en los ferrocarriles eran muy pocos; su número fue aumentando con los que volvían graduados del exterior y con los que iban egresando de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional. Es probable que el número total de ingenieros que en ese momento actuaban en el país fuera cercano a los doscientos.

CONOCIMIENTOS TECNICOS QUE REQUERIAN LOS FERROCARRILES

Para construir y operar los ferrocarriles se requiere una gran variedad de conocimientos técnicos en todos los campos de la ingeniería: geografía, geodesia, construcción civil, tecnología mecánica y tecnología eléctrica y en otros muchos, como puede observarse en la siguiente enumeración del saber sistemático que los ingenieros deben poner en práctica en las distintas etapas de estudio, construcción y operación de ferrocarriles:

1. Levantamiento de topografías
2. Interpretación y análisis cartográfico
3. Restitución geodésica
4. Selección de rutas geográficas
5. Trazado geométrico y topográfico de la línea
6. Localización geométrica y topográfica de líneas y obras
7. Estudio geomorfológico de terrenos
8. Estudio de características físicas de suelos
9. Hidráulica de cauces naturales
10. Medición y cubicación de tierras
11. Herramientas y técnicas para movimiento de tierras
12. Manejo y uso de dinamita y detonadores
13. Vehículos y técnicas de transporte de tierra
14. Diseño y cálculo de puentes y pontones en madera, en concreto, en hierro y en acero
15. Diseño y planteamiento de campamentos
16. Diseño geométrico de vías
17. Diseño y cálculo de alcantarillas y cunetas
18. Diseño de bancas y técnicas de explanación
19. Técnicas de manejo de cargas pesadas
20. Diseño y cálculo de carrileras
21. Técnicas de trituración de rocas
22. Geología de suelos
23. Petrografía
24. Tendido de carrileras
25. Nivelación de precisión
26. Lubricación
27. Selección de locomotoras

28. Operación de máquinas de vapor
29. Mecánica de cuerpos rígidos
30. Diseño y construcción de equipo rodante
31. Operación de generadores eléctricos
32. Operación y mantenimiento de bancos de acumuladores eléctricos
33. Fusión de metales en crisol o cubilote
34. Cálculo, construcción y operación de líneas telegráficas
35. Cálculo, construcción y operación de líneas telefónicas
36. Operación de bombas para agua
37. Combustión y combustibles
38. Hogares y calderas
39. Instrumentación de medida y control de locomotoras
40. Cálculo y diseño de muros en concreto ciclopeo y en concreto reforzado
41. Trabajo mecánico de metales
42. Explotación de ferrocarriles
43. Economía del transporte.

FERROCARRIL DE CUNDINAMARCA

En 1890 el gobierno nacional decide prolongar el ferrocarril de la Sabana hasta el río Magdalena, siguiendo una ruta que un poco antes había localizado el ingeniero Indalecio Liévano y que estaba orientada a seguir el curso del río Negro hasta el Magdalena. Para hacer los estudios y trazados se comisionó a los ingenieros colombianos Paulo Pinzón, Justino Moncó, Roberto Bunch, Daniel Ortiz, Gabriel Angel Uribe, Alejandro Leyva y Mariano Rengifo. En los nueve años siguientes se logró trazar la línea hasta el km 145, en la estación El Naranjal, y enrielar 14 km desde Facatativá. Infortunadamente, la guerra civil de los Mil Días, en 1900, obligó a suspender los trabajos en esta vía, la cual quedó abandonada por muchos años.

FERROCARRIL DEL NORTE

Desde la época de Murillo Toro se había querido construir un ferrocarril desde Bogotá hacia el Norte, que llegara hasta el Bajo Magdalena, aproximadamente por la región del río Carare. Pero distintos obstáculos habían impedido realizar este propósito.

Por fin, después de muchos estudios, comisiones de ingenieros, compañías frustradas, esfuerzos de financiamiento y misiones a Londres, el gobierno del presidente Carlos Holguín contrató con el empresario Juan N. Fonnegra, cuya compañía comenzó la construcción de este ferrocarril el 10. de marzo de 1889, bajo la dirección del ingeniero Enrique Morales. En los cuatro años siguientes hasta 1892, la línea avanzó lentamente y llegó sólo a 10 km de Bogotá. En 1892 el general Juan M. Dávila adquiere el contrato y el gobierno se lo amplía para llevar la obra hasta Zipaquirá.

En 1894 se inaugura hasta el Puente del Común, pero al año siguiente una nueva guerra civil trastorna los trabajos e impide continuar. Recuperada la paz, en 1896 la carrilera llega hasta Cajicá; y dos años después, hasta Zipaquirá. En 1899 la guerra de los Mil Días paraliza nuevamente la obra.

FERROCARRIL CARTAGENA-CALAMAR

Las dificultades que persistentemente presentaba el Canal del Dique para su navegación, llevaron a que en 1889 el gobierno nacional contratara con el empresario e ingeniero norteamericano Samuel B. Mac Connic la construcción de una ferrovía desde Cartagena hasta el puerto de Calamar, en la bifurcación del río Magdalena y el Canal del Dique. Los trabajos se iniciaron en Cartagena al año siguiente, bajo la administración y dirección técnica de Mac Connic, quien ganó una fuerte suma de dinero con esa obra. La relativa facilidad de los terrenos planos y la eficiencia del contratista, permitieron que los 105 km de este ferrocarril, con una yarda entre rieles, quedaran terminados en 1894, en Calamar.

Esta línea férrea operó durante 50 años, hasta mediados del siglo XX, cuando habiéndose regularizado la navegación por el Canal del Dique, se hizo innecesaria y fue desentrelada.

FERROCARRIL CUCUTA-TACHIRA

Esta línea fue proyectada con el propósito de movilizar el tráfico de carga con la frontera venezolana. Fue contratada entre el departamento de Santander y la Compañía del Ferrocarril de Cúcuta. Las obras se iniciaron en 1893, y después de una interrupción por la guerra civil de 1895 se terminaron sus 16 km —con un metro de ancho de trocha—, en 1897.

Este tramo también fue construido en su totalidad por ingenieros colombianos, dirigidos por Juan Nepomuceno González Vásquez. Allí participaron: Enrique Morales, Paulo Pinzón, Luis Lobo Guerrero, Rafael Torres Mariño, Alejandro González T., Manuel Serrano, Segundo Gutiérrez, David Castro y Pompilio Beltrán.

EL FINAL DEL SIGLO

En 1885, al estallar la guerra civil, había en el país 286 km de vías férreas tendidas, distribuidas así:

FERROCARRILES EN 1885

Vías férreas	Tendido (km)
Panamá, a través del istmo	80
Bolívar (Puerto Salgar-Barranquilla)	27
Santa Marta (en construcción)	12
Cúcuta al río Zulia	54
Cauca (Buenaventura-Córdoba)	26
Girardot (en construcción, hasta Tocaima)	31
Antioquia (Puerto Berrio hasta Pavas)	37
La Dorada (Honda hasta Quebrada El Piñón)	15
Puerto Wilches (en construcción)	4
Total	286

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

De esta red estaban en servicio 203 km en seis líneas. Cinco años después, en 1890, ya se habían habilitado para el servicio 242 km en esas mismas líneas, más 40 km del nuevo ferrocarril de la Sabana.

En 1898 Colombia tenía ya 593 km de carrileras en servicio, en doce líneas, aunque se habían construido físicamente casi 700 km, como lo muestra este cuadro:

FERROCARRILES EN 1898

Vías férreas	Tendido (km)
Panamá*	80
Bolívar (Puerto Colombia-Barranquilla)*	35
Cartagena-Calamar*	105
Santa Marta (en construcción)	67
Cúcuta al río Zulia*	54
Cúcuta al Táchira*	16
Cauca (Buenaventura-Dagua)*	46
Del Norte (Bogotá-Zipaquirá)*	47
La Sabana (Bogotá-Facatativá)*	40
Honda-La Dorada*	32
Girardot (en construcción hasta Apulo)*	49
Antioquia (Puerto Berrio-Cisneros)*	109
Puerto Wilches (semiabandonada)	4
Bogotá-Bosa	8
Total	692

* En servicio

Fuente: Cálculos del autor, con base en datos de Alfredo Ortega, *op. cit.*, y Alfredo Bateman.

EL CAFÉ Y EL COMIENZO DE LOS FERROCARRILES

Es indudable que una razón fundamental para construir los ferrocarriles fue la necesidad de atender a los movimientos de expansión de las exportaciones colombianas a finales del siglo pasado, y muy especialmente del café.

José Antonio Ocampo señala con precisión varios ciclos de bonanza en aquella época, que coinciden con otros tantos periodos de impulso a la construcción del ferrocarril. Entre 1870 y 1873 se registra un marcado incremento en las exportaciones de quina y café. También aumentaron correlativamente las importaciones. Por ejemplo, las compras en Inglaterra en el quinquenio 1865-1869 habían sido anualmente de \$2.02 millones, y aumentaron hasta \$3.56 millones anuales, como promedio, en el quinquenio 1870-1874. Es indudable que estos incrementos en el movimiento de carga influyeron de manera pode-

rosa para que se iniciaran el ferrocarril de Buenaventura, en 1872, y el de Antioquia, en 1874.

Entre 1878 y 1882 se presentó un nuevo auge en las exportaciones de quina y café. La quina llegó a ocupar el primer lugar como producto exportado. A ello se sumó un incremento intenso en la producción y exportación de oro. Es también indiscutible que este fenómeno económico movió al gobierno de Núñez que se iniciaba en aquellos años, a emprender la construcción de varios ferrocarriles.

A partir de 1893 las exportaciones cafeteras comienzan a expandirse en forma nítida. En 1880 habían sido de unos 80 mil sacos de 60 kilos. En 1890 fueron de 190 mil sacos; y en 1898 fueron de 550 mil sacos.

El tremendo empuje de las exportaciones cafeteras desde el comienzo de la vida republicana hasta 1910, puede seguirse con estas cifras:

EXPORTACIONES DE CAFE, 1834-1910

(Miles de toneladas anuales)

Período	Toneladas
1834/35 - 1838/39	0.21
1840/41 - 1844/45	0.85
1854/55 - 1857/58	1.67
1864/65 - 1869/70	3.76
1870/71 - 1874/75	6.40
1875/76 - 1877/78	8.53
1878/79 - 1880/81	12.30
1888 - 1891	14.74
1898	34.65
1905 - 1910	35.96

Fuente: José Antonio Ocampo, *Colombia y la economía mundial, 1830-1910*.

La producción nacional del grano durante el período de la Regeneración hasta final del siglo, se multiplicó por un factor de más de siete veces, en tanto que en el resto del mundo no llegó siquiera a duplicarse. Así lo muestran los siguientes datos:

PRODUCCION DE CAFE, 1878-1899

(sacos de 60 kg como promedio anual sobre trienios)

	Colombia	Mundo
1878	63.820	8.107.333
1899	459.322	14.538.333

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

La evidencia más clara de la influencia decisiva del café en los comienzos de los ferrocarriles colombianos, es el hecho de que ese producto constituía, por lo general, bastante más de la mitad del flete de salida durante los años iniciales de los ferrocarriles. En Antioquia, entre 1895 y 1914, la línea Medellín-Puerto Berrío transportaba un cargamento del cual el 70% era café. De Cundinamarca, a través de Girardot, el 70% de las exportaciones totales en 1908 era café. En 1891 el ferrocarril de Barranquilla llevaba a la Costa un cargamento de 20 mil toneladas anuales, del cual tres cuartas partes eran del grano. Y en el ferrocarril de Cúcuta al Zulia, alrededor del 80% de los cargamentos eran de café.

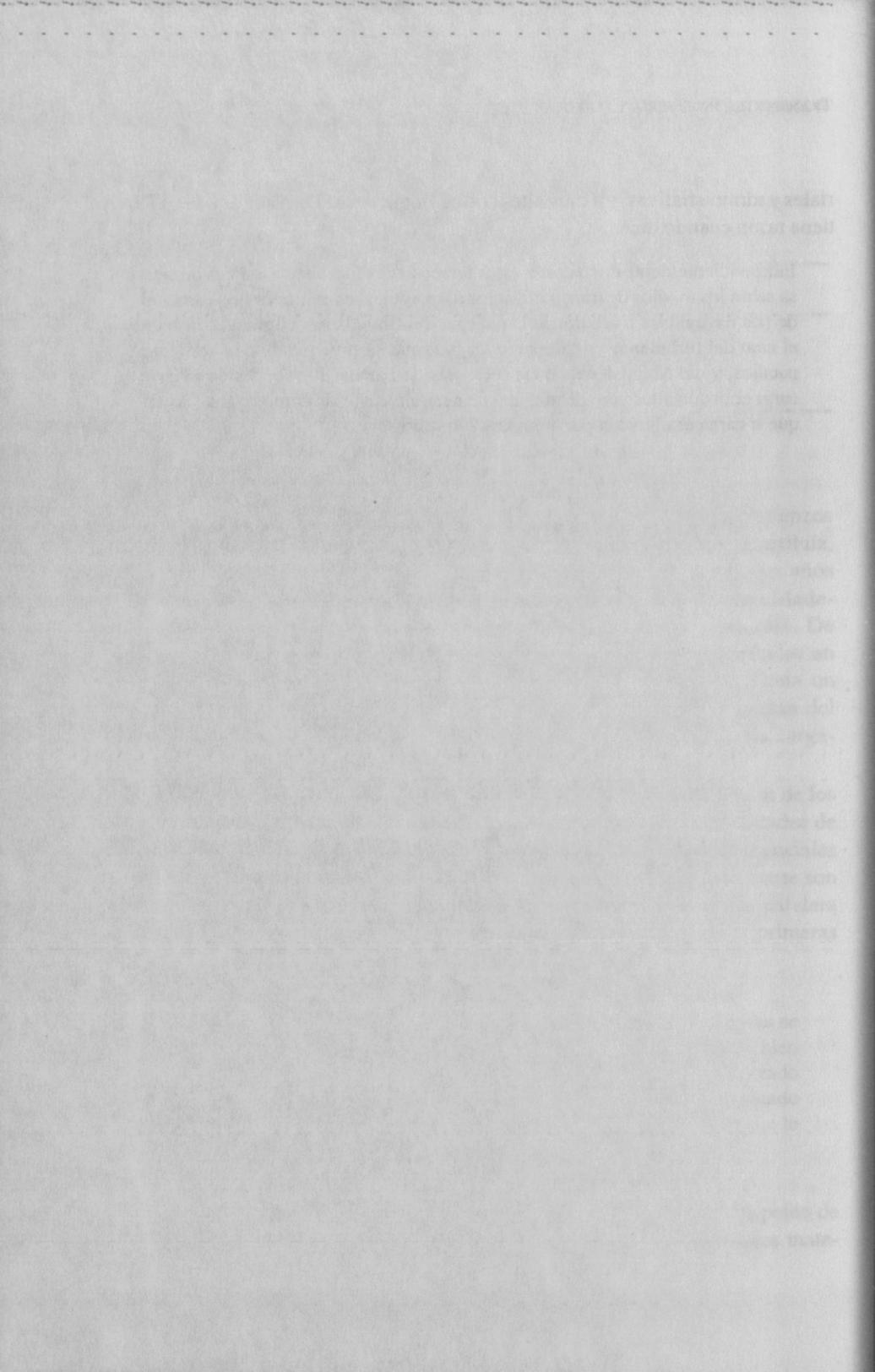
La industria cafetera demostró un gran auge debido a la disminución de los costos y a las dificultades materiales del transporte, y ante las posibilidades de crecimiento del cultivo. Las economías en el transporte interno fueron esenciales para la expansión de la industria cafetera y puede decirse que en gran parte son las responsables de esa expansión. De manera recíproca, la industria cafetera desempeñó un papel determinante para iniciar y desarrollar nuestras primeras líneas férreas. Dice William Mc Greevey:

Uno se ve tentado a concluir que si (la mayor parte de) los ferrocarriles se hubiera construido antes (por ejemplo en los ochocientos ochenta más bien que en los novecientos veinte), las exportaciones de café hubieran alcanzado sus niveles de los años veinte en la década anterior. El país hubiera estado cuatro decenios más avanzado en su camino de desarrollo económico que lo que en realidad ha estado.

Es cierto que casi todos estos primeros ferrocarriles (quizá con excepción de los de Barranquilla y La Dorada) fueron hechos con grandes dificultades mate-

riales y administrativas, y a muy altos costos financieros. Pero aún así, Fred Rippy tiene razón cuando dice:

Independientemente de su costo, estos ferrocarriles fueron una mejora inmensa sobre los medios de transporte antes disponibles, en regiones que carecían de ríos navegables o allí donde la navegación fluvial era peligrosa, como en el caso del turbulento y traicionero Dagua, que se precipita por la vertiente pacífica, y del Magdalena, en las cercanías de Honda. Las tarifas de viaje y carga eran aún altas pero de ninguna manera tan costosas como en los días en que la carga era llevada por animales y hombres.



Capítulo 12

LA HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD Y SU INGRESO A COLOMBIA

LA ELECTROSTATICA: DE TALES A VOLTA

Cuando en los siglos XV y XVI los europeos comenzaron a leer a los autores de la antigüedad clásica se dieron cuenta de que éstos habían hecho observaciones que en su tiempo quizá parecieron descubrimientos prematuros, pero que ahora podían considerarse como anticipos geniales de los científicos griegos. Esto pasó con la comprobación de que, hacia el año 610 antes de Cristo, el filósofo Tales de Mileto, en Jonia, había conocido y descrito el magnetismo de los imanes naturales y la propiedad del ámbar de atraer pequeñas piezas de papel, vidrio o lana al ser frotado, y de que el mismo sabio milesio había inventado la palabra electricidad para referirse a esta última propiedad, fundándose en el nombre de "elektron" que los griegos daban al ámbar. Y, si Tales no lo hizo, sus contemporáneos jonios dieron el nombre de "magnetismo" a la propiedad de los imanes de atraer trozos de hierro, asociándola con la ciudad de Magnesia, donde se encontraban minerales de este tipo. Pero aparte de estas pocas observaciones, en general, fue muy poco lo que la antigüedad clásica conoció acerca de la propiedad y los fenómenos que hoy llamamos electricidad. Los chinos fueron un poco más lejos y conocieron la brújula, que sólo llegó a Europa en el siglo XIII, junto con el conocimiento de que cada parte de un imán es un imán en sí misma.

Al leer a Tales y al repetir sus experimentos, el médico inglés William Gilbert (1540-1603) comprobó en el siglo XVI que también el vidrio, el lacre,

el azufre y las piedras preciosas se electrizan al frotarlas y atraen así otras pequeñas piezas de materia. También descubrió y exploró las líneas de fuerza del campo magnético creado alrededor de esferas imantadas de acero con una pequeña aguja magnética, y demostró así que la Tierra es un gran imán con dos polos magnéticos. Gilbert acuñó también la palabra electricidad. Así, a mediados del siglo XVII era bien conocido por los estudiosos europeos el fenómeno de la electrización por frotamiento (que hoy llamamos triboelectricidad). Basándose en ese conocimiento, Otto von Guericke (1602-1686), alcalde de Magdeburgo, Alemania, construyó en 1672 la primera máquina generadora de electricidad estática, consistente, en esencia, en una esfera de azufre que, al hacerla girar sobre un eje y al frotarla con la mano se electrizaba hasta niveles muy intensos y producía chispas eléctricas. Trabajando con su máquina, el alcalde de Magdeburgo observó que las partículas de un mismo signo de carga se repelen entre sí. Durante un siglo la máquina de von Guericke fue la fuente exclusiva de electricidad estática para los estudiosos de estos fenómenos. Durante el siglo XVII ellos apenas si lograron algo más que familiarizarse con unos pocos hechos (si bien casi desconocidos hasta entonces) como la electricidad por frotamiento, las chispas, la influencia de la electricidad y la inducción electrostática. Pero aún así, parece que fue en ese siglo cuando se desarrolló la noción de "cantidad de electricidad" que habría de resultar tan fundamental, y cuyo origen estuvo ligado —sin razón profunda— a la concepción de que nada puede crearse ni destruirse.

En 1729, en Inglaterra, Stephen Gray (1670-1736), en la pequeña ciudad de Charterhouse, descubrió que la electricidad puede transmitirse de un objeto a otro a través de un alambre metálico, y que las cargas eléctricas se radican todas en la superficie exterior de los cuerpos, y ninguna en su interior. Dos años después descubrió que cualquier objeto puede cargarse con electricidad estática si está aislado de los que le rodean por materiales que no sean conductores, manifestando así lo que Gray llamó inducción electrostática.

De aquí en adelante los descubrimientos se sucedieron con mayor rapidez. En 1733 el médico francés Charles Cisternay Du Fay (1698-1739) descubre que hay dos clases de electricidad, y descubre la ley que hoy lleva su nombre: que cargas de igual tipo se repelen y de tipo contrario se atraen. Sienta así la teoría de los dos fluidos eléctricos. Y poco después de esto, en Inglaterra, otro científico nacido en Francia, Jean Théophile Desaguliers (1683-1744) repitió y extendió los experimentos de Gray, e introdujo los términos de "conductor" y "aislador". Luego, en 1746, en la Universidad de Leyden, Holanda, Pieter van Muschenbroeck (1692-1761) y Ewald Georg von Kleist (ca. 1705-1748) in-

ventan la "botella de Leyden" como primer dispositivo práctico para "almacenar" cargas eléctricas estáticas. La botella de Leyden consiste en un recipiente de vidrio (aislante) cubierto por dentro y por fuera con sendas hojas de estaño (conductoras), separadas entre sí por el vidrio, donde la hoja interior está en contacto con un conductor que sale por la boca del recipiente y que transmite cargas eléctricas desde o hacia el exterior. En ese mismo año de 1746 aparece el primer tratado completo sobre electrostática: el libro de William Watson, *Experiments on the Nature of Electricity*, publicado en Inglaterra. Y al año siguiente, en Francia, el abate Jean-Antoine Nollet (1700-ca. 1755) construyó el primer electroscopio con el propósito de medir la cantidad de electricidad que un cuerpo almacena, que consiste en una esfera de gutapercha que es repelida por el cuerpo electrizado según el fenómeno observado antes por Du Fay.

Al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, a mediados del siglo XVIII Benjamín Franklin (1706-1790) se había interesado en la electricidad y había emprendido numerosos experimentos sobre ella. En 1747, en una carta, Franklin describe el efecto de las puntas de las varillas metálicas, por las cuales tiende, o bien a escaparse la electricidad, o bien a atraerla con mayor intensidad. Apoyado en esta observación, dos años después inventa el pararrayos e instala el primero en su casa, en Filadelfia. En 1751 describe la electricidad como un solo fluido pero distingue la positiva (exceso de ese fluido) de la negativa (faltante del mismo fluido). Y, como precursor de Oersted, Franklin descubre que al descargar una botella de Leyden entre su armadura (o placa) interna y la externa, mediante un conductor, pueden imantarse o desimantarse trozos de hierro cercanos al conductor. En 1752, mediante sus arriesgados experimentos con cometas, Franklin demostró que el rayo era una descarga de electricidad estática entre la tierra y una nube o entre dos nubes. Fueron tantos y tan valiosos los aportes de Franklin, que indujeron a algunos científicos a adoptar también la teoría de los dos tipos de electricidad, como lo hizo en 1753 el físico italiano Giovanni Battista Beccaria (1716-1781), quien sostuvo las teorías de Franklin en su tratado sobre la electricidad, que publicó en ese año. La polémica entre los adeptos de la electricidad como "dos fluidos" y los de "un solo fluido" fue intensa y prolongada y terminó en nuestro siglo dando razón a los primeros, aunque en un sentido diferente al que ellos sostuvieron. En esta época aparece el concepto de capacidad eléctrica, probablemente definido por Beccaria o uno de sus contemporáneos.

William Gilbert había estudiado extensamente el magnetismo y los imanes y en su libro *De magnetem magnetisque corporibus* había descrito casi todos los fenómenos macroscópicamente observables sobre los imanes. Había introdu-

cido también el concepto de la Tierra como un gran imán, para explicar el fenómeno de la brújula. Dio nombres a los polos "Norte" y "Sur" de los imanes; descubrió la atracción entre polos contrarios y la repulsión entre polos iguales; construyó imanes permanentes e hizo numerosos experimentos con brújulas, con imanes de barra y con esferas magnetizadas simulando a la Tierra. Poco más se había avanzado en el conocimiento del magnetismo casi cien años después, en 1750, cuando John Mitchell (1724-1793), en la Universidad de Cambridge, descubrió la ley del inverso cuadrado de la distancia para la repulsión entre polos magnéticos similares y para la atracción entre polos magnéticos distintos, usando una balanza de torsión como la que había inventado pocos años antes su paisano el químico y físico Henry Cavendish (1731-1810).

En el campo de la electrostática, el debate entre los sostenedores de la doctrina de Du Fay, de dos fluidos, y la doctrina de Franklin, de un solo fluido, fue el tema principal durante los años setecientos cincuenta. En 1759 el físico alemán Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802), cuando trabajaba en la Academia de Ciencias de San Petersburgo, inventó el condensador de placas paralelas, basándose probablemente en el fenómeno de la polarización de los dieléctricos que Johann Karl Wilcke (1732-1796) descubriera en Alemania en el año anterior (1758). A partir de sus experimentos con condensadores, Aepinus sostuvo la doctrina de un solo fluido para la electricidad. También demostró que entre los conductores y los aisladores hay toda una serie continua de materiales intermedios; y señaló la influencia de los cuerpos cargados sobre conductores vecinos que estén aislados.

Los primeros intentos para medir los efectos de las cargas eléctricas fueron realizados en 1760 por Daniel Bernoulli (1700-1782) en Basilea, Suiza, usando aparatos muy rudimentarios, pero que le permitieron deducir la ley de que las fuerzas entre cargas eléctricas son inversas al cuadrado de la distancia, similar a la de la gravitación de Newton, anticipándose más de quince años a los resultados de Coulomb. Estos resultados sin duda inspiraron a Horace Benedict de Saussure (1740-1799) para inventar su electrómetro destinado a medir la carga y el potencial de un cuerpo electrizado mediante la repulsión mutua entre dos esferas conectadas a ese cuerpo y cercanas una de otra. Y usando este electrómetro, Joseph Priestley (1733-1804) encontró nuevamente en 1767 (como lo hiciera Gray unos 40 años antes) que un cuerpo esférico hueco no ejerce fuerza eléctrica en su interior. Puesto que lo mismo ocurre con la gravedad nula de una esfera delgada y pesada en su interior, Priestley dedujo (como Bernoulli) que las fuerzas entre cargas eléctricas son inversas en su magnitud al cuadrado de las distancias, de forma semejante a la fuerza de gravitación. Tres años después, en 1769, John

Robinson, también en Inglaterra, midió la repulsión entre dos cuerpos cargados y encontró que esta fuerza, en efecto, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las cargas, como lo anunciara Daniel Bernoulli.

Un nuevo instrumento de investigación eléctrica vino a agregarse a los laboratorios de física cuando, en 1768, Jesse Ramsden, en Inglaterra, inventó la máquina para generar cargas eléctricas estáticas que lleva su nombre. Aunque ya hoy en día la máquina de Ramsden es una reliquia de museo, ella fue la antecesora de la máquina electrostática de Wimshurst, que fue inventada unos años después por este físico en Alemania. Una y otra prestaron un servicio de gran utilidad a los físicos en sus laboratorios durante casi dos siglos.

Henry Cavendish inventó la balanza de torsión que lleva su nombre, y con ella hizo muchas experiencias sobre cargas eléctricas y sobre las fuerzas entre ellas, trabajos que describió en 1771 en su nativa Inglaterra. En su obra Cavendish creó una teoría matemática de un solo fluido para la electricidad y anticipó muchos de los avances del siglo XIX en electrostática. Pero lamentablemente su trabajo no se publicó hasta después de la teoría de Maxwell, de manera que estas ideas no influyeron en el desarrollo del pensamiento sobre la electricidad en su tiempo.

Fue en el mismo año de 1771 cuando el médico y anatomista italiano Luigi Galvani (1737-1798) descubrió accidentalmente la acción de la electricidad sobre los músculos de una rana disecada, a los que produjo un estremecimiento desde una máquina electrostática. En 1780, cuando experimentaba con ese efecto, advirtió que ciertos metales al juntarse también lo causan. En 1791 publicó estos resultados, que vinieron a ser la primera manifestación experimental de los efectos de las corrientes eléctricas.

También en Italia y en esos mismos años, en 1775, el físico Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827) hizo un nuevo aporte al equipo de experimentación cuando inventó lo que él llamó *eletrofore perpetuo*, un sencillo aparato para producir y almacenar cargas eléctricas por fricción y por contacto, que reemplazó a la botella de Leyden como acumulador de electricidad estática, y que debía transformarse posteriormente en la máquina electrostática por influencia de Wimshurst. En 1794 el mismo Volta demostró que la fuerza eléctrica observada por Galvani en los músculos de animales no depende del ser vivo, sino que se produce cuando quiera que dos metales diferentes son colocados en un fluido conductor. De esta manera Volta logró explicar dicho fenómeno, el cual había atraído por varios años el interés de muchos científicos que no habían logrado esclarecerlo.

Al disponer ya de instrumentos bastante completos en el laboratorio, como la máquina de Ramsden, la botella de Leyden, el electrómetro y el electróforo, en 1777 Charles Agustín de Coulomb (1738-1806), ingeniero militar francés, perfeccionó la balanza de torsión y después de muchas mediciones bastante cuidadosas entre 1785 y 1789, y de introducir el concepto moderno de "cantidad de carga eléctrica", descubrió las leyes que llevan su nombre sobre las fuerzas entre cargas eléctricas y entre polos magnéticos, a saber, que tales fuerzas son directamente proporcionales a las dos cargas eléctricas actuantes (o a los dos polos magnéticos), e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre ellas. Desde que Newton formuló su ley de gravitación se sospechaba que las fuerzas eléctricas seguían leyes análogas, como la del inverso cuadrado de la distancia. En 1786 el mismo Coulomb, sin saber nada de sus predecesores, anunció el efecto de pantalla de los conductores respecto a su interior y vio en ello una comprobación cualitativa de sus leyes. Pero este descubrimiento de Coulomb cayó en el olvido. Lo que conmovió a sus contemporáneos fue la ley que lleva su nombre. El hecho es que con los trabajos de Coulomb la electricidad dejó de ser un conjunto inconexo de aparatos y fenómenos aislados para convertirse en una ciencia cuantitativa y rigurosa. Gauss reformuló matemática y rigurosamente las leyes de la electrostática, precisó el concepto de cantidad de electricidad y construyó el sistema de unidades electrostáticas cegesimales basándose en la ley de Coulomb. El mismo Coulomb extendió su ley a los polos magnéticos.

Al gran paso teórico de Coulomb lo acompañaron nuevos inventos como el electroscopio de panes de oro (1786) debido al inventor y físico inglés Abraham Bennet (1750-1799), quien en 1789 inventó además un sencillo dispositivo de inducción eléctrica. Pero el mayor invento como aparato eléctrico en aquellos años (y uno de los más importantes en toda la historia de la electricidad) fue el que Volta realizó en 1779 y anunció en 1800: su pila eléctrica que hoy llamamos pila o celda voltaica. La primera pila que hizo Volta era una acumulación (o "pila") de discos alternados de cobre y de hierro, separados por trozos de tela humedecida en una solución de ácido sulfúrico, con un polo positivo en una placa de hierro y un polo negativo en una de cobre.

Desde ese momento la pila electrolítica de Volta (y las de otros inventores que vinieron después) se convirtió en la fuente universal de corriente eléctrica en los laboratorios. Ella constituyó el punto de partida y el instrumento esencial para el estudio de la electricidad en movimiento, es decir, de la corriente eléctrica, que abrió así todo un mundo nuevo a la física. La pila de Volta fue también el primer paso para el estudio de lo que más tarde vendría a ser el campo

de la electroquímica. A Volta se le debe el concepto de corriente eléctrica y el de que algunas reacciones químicas pueden producirla.

En el campo del magnetismo, en el siglo XVIII sólo hubo un descubrimiento importante: el de Anton Brugsman (1732-1789), de que un trozo de bismuto es rechazado por un imán (1778), que Faraday redescubrió mucho después, y que hoy llamamos diamagnetismo.

LAS CORRIENTES ELECTRICAS

Dotados del invento genial, sencillo y potente de la pila, los físicos se lanzaron al estudio de las corrientes eléctricas y de sus efectos. Y los descubrimientos llegaron en cantidades. En 1807 el físico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) anunció desde Copenhague que había descubierto la desviación de la brújula por una corriente vecina y que buscaba una relación entre la electricidad y el magnetismo. Y en el mismo año de 1807, en Londres, el químico inglés Humphry Davy (1778-1829) informó a la Royal Society que había descubierto por electrólisis (cuyo término él acuñó) el sodio y el potasio, los dos primeros metales alcalinos que se aislaron, a los cuales Davy agregó en los años siguientes el bario, el calcio, el estroncio, el boro y el litio. Experimentando sin cesar con la corriente eléctrica, el mismo Davy llegó en 1813 a descubrir el arco llamado "voltaico" entre electrodos de carbón y su gran poder luminoso.

Fue gracias al uso de la pila de Volta que entre 1801 y 1802, en Inglaterra, William Nichollson y Anthony Carlyle iniciaron sus experimentos de electrólisis del agua y echaron las bases para que Sir Humphry Davy pudiera realizar su famosa serie de experimentos entre 1800 y 1808, con los cuales fundó la electroquímica, y aislar los metales alcalinos y los alcalino-térreos. En medio de los trabajos de Davy fue cuando, en 1805, el físico alemán Theodor Grotthuss anunció su teoría de la electrólisis, según la cual el polo negativo atrae átomos cargados positivamente y el polo positivo atrae átomos cargados negativamente, sirviéndose de las recientes ideas de la teoría atómica expuestas por Dalton. De manera que cuando Davy presentó en 1825 en la Royal Society su obra *On the Relation of the Electrical and Chemical Fenomena*, la electroquímica ya era una disciplina claramente configurada. Cabe recordar, empero, a Alexander von Humboldt (1769-1859), quien en 1797 había descubierto el fenómeno de la electrólisis entre dos barras de zinc y de plata separadas por agua; y a Johann Wilhelm Ritter (1776-1810), quien utilizó ese fenómeno para separar cobre metálico de una solución de sulfato de cobre, y mostró además la identidad de la electrici-

dad estática y de la electricidad dinámica al usar una botella de Leyden para sus experimentos electrolíticos.

En los últimos años del siglo XVIII y en los primeros del siglo XIX se desarrollaron con lentitud y dificultad los conceptos de potencial, intensidad de campo, fuerza electromotriz, intensidad de corriente y resistencia eléctrica. En esa tarea colectiva participaron físicos ingleses, franceses y alemanes, entre quienes se encontraban algunos de la talla de Karl Friedrich Gauss (1777-1855), Wilhelm Edward Weber (1804-1891), Pierre Simon de Laplace (1749-1827), Simeon Denis Poisson (1781-1840), George Green (1793-1841), Humphry Davy (1778-1829), André Marie Ampère (1775-1836), Dominique François Arago (1786-1853) y otros. Basándose en el descubrimiento del efecto magnético de las corrientes que Oersted hiciera años atrás, en 1819 Jean Baptiste Biot (1774-1862) y Felix Savart (1791-1841) descubrieron en París la ley que hoy lleva su nombre y que da la intensidad del campo magnético en el centro de una espira conductora circular que transporta una corriente eléctrica, y que expresa en general la acción magnética de un elemento infinitesimal de corriente eléctrica.

En los primeros años del siglo, Pierre Simon de Laplace dedujo la ecuación diferencial parcial que rige el potencial del campo eléctrico estacionario en el vacío. En 1828 Green extendió la ecuación de Laplace al campo magnético. Y Simeon Poisson dedujo en 1811 la ecuación análoga a la de Laplace para el interior de la materia, apoyándose en la ley de Coulomb, y extendió al campo eléctrico la teoría del potencial ya conocida para la gravitación. Toda la electrostática está bellamente resumida en la ecuación de Laplace y Poisson. Más adelante Green y Gauss perfeccionaron la teoría del potencial, que después sería ampliada a otros campos de la física. Entre otros aportes, Gauss definió el momento magnético de un imán y la medida del campo magnético terrestre. Su teoría matemática de este campo es la culminación de la obra de Gilbert. Gauss creó también el primer sistema racional de unidades para la electricidad y para el magnetismo.

El año de 1820, cuando Oersted anuncia su descubrimiento de los principales fenómenos magnéticos causados por corrientes eléctricas, puede señalarse como el del nacimiento teórico y práctico de la electrodinámica. En ese año Ampère formula una de las leyes básicas del electromagnetismo (que hoy conocemos por su nombre), la cual da la intensidad y la dirección de la fuerza que una corriente eléctrica ejerce sobre un imán vecino a ella, y demuestra que dos alambres paralelos que llevan sendas corrientes eléctricas se atraen o se repelen mutuamente según que sus corrientes vayan en direcciones opuestas o iguales. Casi al mismo tiempo François Arago y Joseph-Louis Gay Lussac descubren el circuito magnético que forma una corriente eléctrica y demuestran que un

trozo de acero rodeado por una corriente se magnetiza, y que el hierro no es necesario como fuente de magnetismo, sino que basta una o varias espiras con corriente eléctrica para formar un electroimán.

En ese mismo año fecundo de 1820, el físico alemán Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857) utiliza el descubrimiento de Oersted para construir el primer galvanómetro, que servirá para medir la dirección y la intensidad de una corriente eléctrica. Y siguiendo esas mismas ideas, el propio Oersted inventa el instrumento para medir mayores intensidades de corriente, que hoy llamamos amperímetro.

En todos los gabinetes y laboratorios de física en Europa se trabajaba activamente con aparatos y corrientes eléctricas. Los nuevos hechos se sucedían unos a otros con gran rapidez. Así, en 1821 el físico ruso-alemán Thomas Johann Seebeck (1770-1831) descubre el primer fenómeno termoeléctrico, que hoy conocemos como efecto Seebeck y que consiste en la conversión de calor en electricidad cuando se calienta una unión de dos metales diferentes. En 1821, Faraday, en Londres, logra hacer girar un circuito recorrido por una corriente bajo la acción de imanes permanentes y, de una manera recíproca, logra hacer girar imanes bajo la acción de una corriente. Y continuando el desarrollo del electromagnetismo, al año siguiente Ampère descubre mediante una larga serie de experimentos famosos la ley general que lleva su nombre, acerca del valor y la dirección del campo magnético que es producido por una corriente eléctrica. Mostró también que un solenoide actúa como una barra imantada. Los aportes sustantivos de este brillante científico francés continuaron cuando en 1823 desarrolló una teoría que relaciona el magnetismo con corrientes eléctricas dentro de la materia, y según la cual el magnetismo de un imán permanente es causado por pequeñas corrientes dentro del metal, a las cuales denominamos hoy corrientes de Ampère. Desafortunadamente sus contemporáneos no atendieron esta propuesta, que sólo fue entendida en el siglo XX cuando se conoció la estructura eléctrica del átomo y el movimiento de los electrones.

Pero el electromagnetismo ya era comprendido bastante bien. Gracias a ello, en 1823 William Sturgeon (1783-1860) construyó en Inglaterra el primer electroimán concebido como instrumento de trabajo permanente, no sólo para el laboratorio, sino como herramienta con numerosos usos prácticos posibles. En 1827 de nuevo interviene Ampère al anunciar la ley del inverso cuadrado de la distancia para la fuerza entre polos magnéticos, que hoy llamamos ley de Coulomb para el magnetismo.

Una de las leyes claves de la teoría de las corrientes eléctricas fue anunciada en 1827 por Georg Simon Ohm (1789-1827) en Munich. La ley, que lleva

el nombre de su autor, establece que al aplicar distintos voltajes a un mismo circuito eléctrico pasan diferentes intensidades de corriente, que son proporcionales a los voltajes. Y al factor de proporcionalidad entre voltajes (V) y corrientes (I) lo llamó Ohm la resistencia R del circuito: $V = I \times R$. Fue Ohm quien estableció la diferencia clara entre fuerza electromotriz, diferencia de tensión e intensidad de corriente en un circuito eléctrico. También demostró que la resistencia de un hilo es proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su sección transversal; así mismo introdujo la noción de conductividad específica de los cuerpos (nociones que hoy suelen atribuirse a Pouillet). Jean Baptiste Fourier señaló de inmediato la analogía de la ley de Ohm con su propia ley sobre la conducción del calor.

En los años veinte y treinta del siglo XIX, físicos como Ampère, Neumann (Franz Ernst, 1798-1895) y Weber abordaron los problemas generales de la electrodinámica admitiendo que las fuerzas que se ejercen entre cargas eléctricas en movimiento dependen no sólo de la distancia sino de sus velocidades y de sus aceleraciones. Estas teorías llegaron a englobar casi todo lo que se sabía acerca de la electricidad y tendrán un papel importante en 1890.

Al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, en 1829, el físico Joseph Henry (1777-1878) encuentra y demuestra que, cuando les pasa una corriente, un alambre enrollado en espiras produce un campo magnético más fuerte que un alambre recto, y reproduce lo que ya había hecho Arago en Francia y Sturgeon en Inglaterra: el dispositivo de un alambre aislado y enrollado alrededor de un núcleo de hierro, que produce un fuerte imán artificial al ser recorrido por una corriente eléctrica. Fueron tan amplias y tan bien realizadas las investigaciones de Henry sobre electromagnetismo que al año siguiente (1830) descubre el principio de la inducción electromagnética entre circuitos eléctricos, que hoy se denomina "ley de Henry", pocos meses antes de que lo hiciera Faraday bajo otras condiciones y otros conceptos. Porque efectivamente, ya en 1831 Michael Faraday (1791-1867) descubre que puede crearse una corriente eléctrica en un conductor enrollado en un anillo de hierro al cambiar la intensidad o la orientación de un campo magnético donde esté situado el conductor. Fue Faraday quien llamó a este fenómeno "inducción electromagnética", y para explicarlo creó los conceptos de campo de fuerza y de línea de fuerza, con los cuales pudo dar al fenómeno una apropiada interpretación cualitativa y cuantitativa.

El concepto de campo fue desde entonces una poderosa idea en la física y tal vez es este enorme aporte de Faraday lo que justifica que a él se le dé universalmente el crédito por el descubrimiento de la inducción electromagnética,

a pesar de los trabajos predecesores y simultáneos de Henry, quien en 1832 descubrió la autoinducción en los conductores recorridos por corrientes variables. No ha obstado tampoco para ese mérito de Faraday el hecho de que poco después, en 1833, el físico ruso Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865) descubriera la ley que lleva su nombre acerca del sentido de las fuerzas electromotrices originadas por autoinducción (cabe anotar que casi al mismo tiempo Lenz descubrió que la resistencia eléctrica de un conductor metálico varía linealmente con la temperatura). Faraday fue el primero y el único en visualizar la posibilidad de utilizar la inducción para generar electricidad y para mover máquinas, y en construir la primera máquina electrogeneradora en su laboratorio, que fue el disco de su nombre. A Faraday se le debe también haber demostrado, años más tarde (1843), el principio de la conservación de la cantidad de carga eléctrica, y haber descubierto antes (1837) la influencia de los dieléctricos sobre los fenómenos electrostáticos.

Del electromagnetismo pasó Faraday a la electroquímica que le enseñara su maestro Davy, con resultados del mismo brillo. Porque ya en 1833 demostró las tres leyes fundamentales que actualmente se llaman leyes de Faraday de la electrólisis, a saber: 1a.) que el peso del elemento depositado en un electrodo de una celda electrolítica es proporcional a la cantidad de electricidad que se pase; 2a.) que es proporcional también a su peso atómico; 3a.) que es inversamente proporcional a su valencia.

Descubrió también que para depositar un equivalente-gramo de cualquier elemento son necesarios 96.500 coulombios, cantidad que hoy lleva precisamente el nombre de "1 Faraday". Faraday comunicó muchos de sus hallazgos en cartas a su amigo el científico William Whewell y fue en esa correspondencia donde aquél introdujo los términos electrodo, ánodo, cátodo, ion, anión, catión y electrólito. Otro de los descubrimientos de Faraday en aquellos años fue el del efecto de pantalla de los conductores respecto a su interior (que Coulomb observara varios años atrás) y el invento de lo que llamamos jaula de Faraday, para aprovechar ese efecto.

Trece años después del descubrimiento del efecto Seebeck se observó el segundo fenómeno termoeléctrico cuando el físico francés Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845), en 1834, descubrió el efecto de su nombre, es decir, que una corriente que fluye a través de una unión entre dos metales diferentes causa el desprendimiento o la absorción de calor según la dirección de la corriente.

Un nuevo recurso técnico y experimental vino a agregarse a los laboratorios de electricidad cuando en 1836 John Frederic Daniell (1790-1845) en el

King's College, en Londres, inventó la pila eléctrica de su nombre, que constituía una nueva fuente confiable de corriente eléctrica, basada en las reacciones electroquímicas del cobre y el zinc. El avance técnico de la pila de Daniell y su aplicación práctica permitió que un año después de su invento, el químico inglés Charles Spencer inventara la galvanoplastia de metales. En 1839, independiente y simultáneamente, Karl Gustav Jacob Jacobi (1804-1851), en Königsberg y Werner Siemens (1816-1892), en Berlín, patentaron nuevos métodos de galvanizado electrolítico; y en 1840 los hermanos G.R. y H. Elkington, en Inglaterra, inventaron y patentaron su método de electroplateado. En 1842 fue el mismo Werner von Siemens quien patentó en Alemania otro proceso nuevo de galvanizado electrolítico.

A Faraday también corresponde el mérito de haber iniciado el estudio experimental de la descarga en los gases, hacia 1837. Gracias a sus estudios, el eminente científico inglés descubrió el fulgor fosforescente que produce la descarga eléctrica en los gases enrarecidos y advirtió por primera vez el espacio oscuro que se forma delante del cátodo, y que hoy es conocido como espacio oscuro de Faraday. Siete años después el físico alemán Julius Plücker (1801-1868), trabajando con el tubo de gases enrarecidos que él inventó, mostró que los rayos emitidos por el cátodo (que son corrientes de electrones) se doblan en su trayectoria bajo el efecto de un imán, y sugirió que ellos en alguna forma están relacionados con cargas eléctricas. Este fue un paso temprano en el camino que conduciría en 1897 a descubrir que los rayos catódicos están formados por electrones.

La teoría de los circuitos eléctricos había sido abierta por Ohm al formular su famosa ley. Muchos investigadores habían continuado trabajando acerca de esa teoría en Inglaterra, en Francia y en Alemania. Ampère y Arago, en Francia, Faraday y Wheatstone, en Inglaterra, Weber y Ruhmkorff, en Alemania, y otros, habían estudiado las conexiones en serie y en paralelo de resistencias y de fuentes de fuerza electromotriz, deduciendo las fórmulas de los resultados correspondientes; habían acuñado los términos de fuerza electromotriz, resistencia e intensidad de corriente; habían mejorado sus rudimentarios instrumentos de medición; habían deducido que la potencia desarrollada en un circuito es la diferencia de potencial multiplicada por la intensidad de corriente, y habían introducido unidades como el voltio y el coulombio. Un resultado de estos trabajos fue el invento del puente de Wheatstone, realizado por este científico inglés en 1843. Y en el campo del magnetismo, Faraday descubrió poco después, en 1845, el diamagnetismo y el paramagnetismo y dio para ellos una explicación en términos de sus conceptos acerca del campo magnético. En ese mismo año descubrió el efecto que lleva su nombre, y que consiste en que un campo magnético fuerte afecta el

plano de polarización de la luz en los cristales, y a partir de ahí sugirió que la luz podría estar constituida por ondas electromagnéticas.

Un nuevo avance en el electromagnetismo fue el que dio en 1846 el físico Wilhelm Edward Weber cuando desarrolló un sistema teórico y experimental para deducir la fuerza magnética sobre una partícula aislada, causada por una corriente eléctrica, y estableció un nuevo sistema completo y lógico de unidades fundamentales para las magnitudes eléctricas, que es el que llamamos sistema cegesimal electromagnético. En 1852 Weber determinó la relación entre la medida en unidades cegesimales electrostáticas de una carga eléctrica y la medida en unidades electromagnéticas de la misma y encontró el resultado sorprendente de que ese cociente es igual a la velocidad de la luz (3×10^{10} cm/seg.). En los años cincuenta Lord Kelvin (William Thomson, 1824-1907) dio forma matemática a muchos fenómenos en circuitos eléctricos, tales como la descarga de un condensador, la autoinducción en un circuito eléctrico y las oscilaciones entretenidas entre un condensador y una autoinductancia (a la cual Lord Kelvin llamó inercia eléctrica), oscilaciones que Helmholtz había observado experimentalmente en 1847 al descargar una botella de Leyden.

Ya en ese momento la electricidad es bastante conocida como para atraer el interés práctico de aplicarla en la industria y en otras actividades. Muchos inventores estaban desarrollando sistemas telegráficos. Morse había patentado el suyo en Washington en 1837. Y varios inventores ingleses, como Clarke, Davenport, Wheatstone, Cooke, Davidson, Brett, Siemens, y otros, comenzaban a convertir el generador electromagnético de laboratorio en una máquina industrial. Una nueva muestra de aplicación fue el invento de William Channing y Moses Farmer, quienes en 1851 desarrollaron un sistema eléctrico de alarma contra incendios.

En los estudios de electroquímica se adelantaba también con rapidez. En 1853 Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) inventó su electrolizador de agua y señaló que distintos iones en una misma solución, impulsados por una corriente eléctrica, viajan a diferentes velocidades, lo cual explica que más iones de un elemento aparezcan en uno de los dos electrodos. Y en el diseño de aparatos de laboratorio también se hacían progresos, como el del físico alemán Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877), quien inventó en 1855 la versión de la bobina de inducción que lleva su nombre: el carrete de Ruhmkorff.

A Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) se le deben dos importantes avances teóricos y técnicos logrados a mitad del siglo. En 1847 resolvió el problema de la distribución de corrientes en un circuito según las ecuaciones lineales que llevan su nombre: las ecuaciones de nudos para las corrientes y las ecuaciones

de circuito cerrado para los voltajes. En 1857 descubrió que las fuerzas eléctricas estáticas y las fuerzas magnéticas de origen eléctrico están relacionadas mutuamente por una constante que es igual a la velocidad de la luz en el vacío, originándose así la idea de que el electromagnetismo y la luz tienen una relación mutua, como lo sugirió el efecto Faraday en 1845.

Para la teoría electroquímica y sus aplicaciones prácticas, fue un gran progreso el invento del acumulador de plomo y ácido sulfúrico, hecho en 1859 por Gaston Planté (1834-1889); así como lo fue en 1868, el invento de Georges Leclanché de su pila de zinc y carbón, que fue la precursora de la pila seca que tiene hoy un uso tan extendido. Estos nuevos pasos en electroquímica serían continuados por Friedrich Kohlrausch (1840-1910), quien en 1875 mostró la independencia de la movilidad de los iones y formuló su ley sobre la conductividad de los electrolitos; y por August Svante Arrhenius (1859-1927), quien en 1887 publicó su teoría sobre la disociación electrolítica. En 1889 Walter Nernst (1864-1941) desarrolló la teoría de la corriente galvánica que lleva su nombre.

En 1860 ya se comprendía casi todo en electrostática; estaban establecidos el electromagnetismo y sus leyes fundamentales; la electroquímica había hecho grandes avances; se conocían varios tipos de pilas y el acumulador; la telegrafía eléctrica era una realidad comercial; se conocían los instrumentos de medición eléctricos; se utilizaba el arco eléctrico como fuente de luz en varias aplicaciones; se estaban desarrollando rápidamente el generador y el motor eléctricos. La electricidad empezaba a gestar toda una tecnología de aplicaciones prácticas que transformarían el mundo y le daría una dinámica nueva a la Revolución Industrial. En 1855 Maxwell formula matemática y rigurosamente las ideas de Faraday de campo electromagnético y línea de fuerza.

En este momento aparece, en 1864, el libro *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, de James Clerk Maxwell (1831-1879), en el cual su autor utiliza por primera vez el concepto de Faraday sobre campos eléctricos y magnéticos como base para un tratamiento matemático completo para la electricidad y el magnetismo; y en el que introduce la noción de corriente de desplazamiento y las famosas cuatro ecuaciones que llevan su nombre acerca del campo electromagnético. Nueve años después, en 1873, Maxwell publica su obra magna *Electricity and Magnetism*, en la cual consigna las leyes básicas del electromagnetismo, explica la luz como ondas electromagnéticas y predice fenómenos tales como las ondas de radio y la presión de radiación que causa la luz sobre una superficie material, con gran precisión y detalle.

Un brillante éxito experimental fue el de Henry Rowland (1848-1901), quien en 1872 demostró que las corrientes de convección, transportadas por

cargas estáticas en cuerpos en movimiento, ejercen las mismas acciones magnéticas que una corriente. Y otro más fue el de J. H. Poynting (1852-1914), en Inglaterra, quien en 1884 aportó su teoría del flujo de energía electromagnética basado en las ideas de Maxwell.

Además de propiciar grandes avances en la teoría, la electricidad era una práctica industrial y de laboratorio llena de vida. El generador electromagnético estaba en pleno desarrollo. En 1869 en París, el inventor belga Zenobio Theophile Gramme desarrolla su armadura o inducido de anillo y construye los primeros prototipos del generador de CD adecuado para usos industriales, y los usa reversiblemente como motores que producen energía mecánica activados por corriente directa. Y pocos años después, en 1880, el físico Jacques Arsene D'Arsonval inventa una forma mejorada del galvanómetro para medir corrientes y voltajes, que hoy llamamos galvanómetro D'Arsonval.

DESCUBRIMIENTO DEL ELECTRON

La culminación de la época clásica de la electricidad queda marcada por el descubrimiento del electrón. El primer paso lo dio en 1874 el físico inglés George Johnstone Stoney (1826-1911), quien logró medir la carga eléctrica elemental en cerca de 10^{-20} coulombs, muy cerca del valor moderno de $1.6021892 \times 10^{-19}$ coulombs, partiendo de mediciones electroquímicas; y quien además acuñó en 1890 la palabra electrón para designar esa carga elemental. Dos años después, en Alemania, Eugen Goldstein (1850-1930) muestra que la radiación que se produce en un tubo de vacío cuando se hace pasar una corriente a través del mismo, comienza en el cátodo y está formada por cargas eléctricas negativas. Hoy sabemos que son corrientes de electrones, pero los físicos de su tiempo, por no saber cuál era su naturaleza, los llamaron rayos catódicos para describirlos por su apariencia luminosa. En 1886 el mismo Goldstein descubrió en la descarga en tubos al vacío, que del ánodo viajan al cátodo corrientes de partículas cargadas positivamente, que fueron denominadas rayos Goldstein por los físicos de la época, y también rayos canales. Hoy sabemos que son iones del gas del tubo cargados positivamente. Independientemente en 1881 el médico y físico alemán Hermann Ludwig von Helmholtz (1821-1894) demostró que las cargas eléctricas en los átomos están divididas en porciones enteras, definidas e iguales, y por ello sugirió que hay una unidad uniforme y mínima de electricidad. En el mismo año, en Londres, el eminente físico Joseph John Thomson (1856-1940) introduce la noción de masa electromagnética, al deducir de las ecuaciones de Maxwell que la masa inercial de un objeto

cambia cuando se carga eléctricamente; y en 1890 Arthur Schuster logró medir el valor de la carga específica (e/m) del electrón. En 1890 Hendrik Antoon Lorenz en Holanda (1853-1928) propuso que los átomos podrían estar formados por partículas eléctricamente cargadas que emitirían luz por su vibración. A Lorenz se debió la formulación rigurosa de la ley general que da la intensidad y la dirección de la fuerza que un campo magnético ejerce sobre una corriente eléctrica, ley que hoy lleva su nombre, aunque Ampère la conocía para varios casos especiales. En ese mismo año, en otro campo, J. Alfred Ewing descubrió el fenómeno de la histéresis en los materiales magnéticos.

Lo que vendría después hace parte de lo que hoy se llama física moderna, que corresponde a los años finales del siglo pasado y al transcurso del siglo XX. Pero lo que hemos descrito es el estado del conocimiento de lo que hoy podemos llamar electricidad clásica, y fue así como ella entró a las escuelas de ingeniería en Colombia, a fines del siglo pasado. Fue desde esa época cuando los ingenieros colombianos comenzaron a ponerse en contacto con la electricidad como disciplina académica, a través de profesores visitantes extranjeros y de profesionales colombianos que habían estudiado ingeniería en Europa y en Estados Unidos. Ni en el viejo continente ni en Norteamérica se había configurado formalmente la profesión de ingeniero electricista y por eso tampoco había ninguno de ellos entre nosotros. Fueron ingenieros civiles los primeros que conocieron la electricidad y la aplicaron al incipiente medio técnico colombiano, tal como lo hicieron Pedro Nel Ospina, Jorge Alvarez Lleras y José María Escobar. Tal fue el comienzo de la historia de la electricidad en Colombia, que luego se desarrollaría con celeridad creciente durante el presente siglo XX.

EL MOTOR Y EL GENERADOR ELECTRICOS

Entre 1820 y 1822 Hans Christian Oersted (1777-1851), André Marie Ampère (1775-1836), François Arago (1786-1853), Jean B. Biot (1774-1862) y Felix Savart (1791-1841) descubrieron el electromagnetismo. Y entre 1829 y 1833 Joseph Henry (1777-1878), Michael Faraday (1791-1867) y Emil Lenz (1804-1865) desarrollaron la teoría de la inducción electromagnética.

Un año después de que Faraday descubriera la inducción electromagnética, el abate italiano Salvatore Dal Negro, en Padua, en 1832, concibió el primer motor electromagnético de laboratorio, y lo describió de manera teórica en su trabajo *Primera memoria del magnetismo temporario*, el cual constituye el primer documento conocido sobre la idea de convertir energía eléctrica en energía

mecánica. Pero justamente en ese mismo año, un constructor francés de instrumentos, Antoine Hippolyte Pixii (1808-1835) inventó un pequeño dispositivo magnetoeléctrico movido a mano para lo contrario: generar corriente eléctrica aplicando energía mecánica. El mismo Pixii le adicionó el conmutador o colector de barras de cobre para obtener corriente directa, valiéndose de una idea anterior de Ampère. Y en una versión posterior de su invento, en vez de hacer girar un imán frente a las bobinas, hizo fijo el electroimán (como estator) para hacer girar las bobinas (como rotor o inducido). Joseph Saxton, en Inglaterra, en 1833, al conocer la idea de Pixii propuso que el estator fuera un imán permanente en U, dispuesto de manera horizontal. Al año siguiente, en 1834, Edward M. Clarke en Inglaterra, usando estas ideas, pudo construir un generador electromagnético para uso industrial, utilizando como inductor un gran electroimán de brazos verticales (como estator) y un cilindro horizontal girando entre los brazos del electroimán con bobinas enrolladas (como rotor o inducido). En 1837 John Henry Davenport mejora el diseño del electroimán inductor. El afán por perfeccionar un generador de corriente eléctrica cunde por Europa. En la lejana Rusia, en 1888 el físico Paul Jablokoff (1847-1914) construye un rudimentario motor electromagnético para convertir electricidad en movimiento mecánico.

En 1840 el tema de construir un buen generador de corriente directa cayó en manos del físico y electricista inglés Charles Wheatstone (1802-1875), quien había inventado y desarrollado un sistema original de telegrafía y buscaba una fuente permanente y durable de corriente eléctrica. Ayudado por William Cooke (1806-1879), Wheatstone diseñó y construyó una máquina generadora con una gran innovación que consistió en agrupar las bobinas del rotor y en remplazar definitivamente los imanes fijos excitadores por electroimanes excitados por una fuente externa de corriente. Por otra parte, el laboratorista inglés Robert Davidson construyó varios prototipos de lo que ya se llamaban máquinas magnetoeléctricas, o simplemente magnetos, ensayando varios tipos de embobinados. Y en Leipzig un fabricante de instrumentos, Emil Stöerer, construyó durante los años ochocientos cuarenta una serie de máquinas magnetoeléctricas bastante elaboradas para su tiempo, que utilizaba en su laboratorio de electricidad.

Pero ya los ingenieros y los industriales estaban pensando en usar los generadores eléctricos en las fábricas. En 1842 el químico John Stephen Woolrich en Birmingham patentó una unidad de galvanoplastia que usaba un magneto, y la máquina fue adoptada por la empresa de electroplateado de los Elkington en 1844. La máquina de Woolrich tenía 1.60 m de altura. Su estator constaba de cuatro

imanes compuestos en herradura; y la armadura tenía ocho bobinas dispuestas alrededor de un disco.

En 1848 se introdujo al generador de corriente directa una de las innovaciones más importantes. En ese año el ingeniero Jacob Brett aplicó la autoexcitación para mantener el campo magnético inductor mediante electroimanes. Este cambio permitía reducir de manera considerable el peso y el tamaño de la máquina, lo cual la hizo mucho más adecuada para quienes se interesaban en su aplicación industrial. Y aunque la galvanoplastia había sido el primer campo práctico en que se utilizara el generador (o magneto), pronto surgió con mayor auge el interés de utilizarlo para el alumbrado público con lámparas de arco. En 1850 el profesor Floris Nollet, en la Escuela Militar, en Bruselas, patentó un magneto grande que había de ser movido con vapor para usarlo en la electrolización de agua. La muerte de Nollet no permitió que prosperara una compañía industrial anglofrancesa que se formó para aprovechar su patente. Pero un ayudante de Nollet, Frederick Hale Holmes, en Inglaterra, diseñó y construyó un gran generador de dos toneladas de peso y 1.50 m de altura, que podía generar considerables voltajes.

Los años cincuenta vieron aparecer varias innovaciones menores en los magnetos. En 1854 y 1855, en Inglaterra, el ingeniero danés Sören Hjorth obtuvo patentes para diseños de magnetos mejorados por él. Pero en 1860 hubo una innovación mayor en Italia, donde el profesor Antonio Paccinotti (1826-1901) construyó el primer prototipo de generador con armadura de anillo y con muchas bobinas enrolladas sobre el anillo, lo que permitía regularizar la forma pulsante de la corriente continua producida. Y en 1864 el mismo Paccinotti construyó el primer motor de corriente continua que podía trabajar también como generador.

En 1866 el ingeniero alemán Ernst Werner von Siemens, cuando trabajaba en Inglaterra, advirtió que con el solo magnetismo remanente en el circuito magnético puede arrancarse el generador de corriente directa y esto le permitió sustituir definitivamente los imanes permanentes por electroimanes alimentados por la corriente de la misma máquina que así pasaba a ser autoexcitada. En ese mismo año pero en forma independiente las máquinas autoexcitadas también fueron desarrolladas por Wheatstone y por Samuel Alfred Varley, en la misma Inglaterra.

Zénobe Théophile Gramme (1826-1901) era un carpintero que había construido varios modelos de la máquina de Nollet y se había dedicado a trabajar en electricidad. En 1867 construyó en París el primer generador práctico y de uso comercial para producir electricidad usando una armadura de anillo, como

la de Paccinotti, pero formada con alambre de hierro y dotada de muchas bobinas para regularizar la forma de la corriente producida. En los años siguientes continuó perfeccionando sus máquinas y en 1869 construyó el primer generador práctico y comercial para producir corriente continua. Por muchas y buenas razones Gramme es popularmente reconocido como el inventor del generador y el motor de corriente directa, a pesar de haber sido tantos los hombres que contribuyeron a ese invento maravilloso.

Para entonces había surgido el interés por construir generadores en escala industrial. Los hermanos William y Werner Siemens habían fundado en Inglaterra y Alemania dos empresas para construir aparatos eléctricos a escala industrial y comercial, y comenzaban a producir máquinas generadoras. La fábrica que poseían en Inglaterra había introducido la armadura o inducido llamado "de lanzadera", en que las bobinas van enrolladas alrededor de un anillo cilíndrico hueco, largo y de pared delgada. En 1872 un ingeniero de la fábrica de los Siemens en Alemania, Friedrich von Hefner-Altneck desarrolló la armadura de tambor con el inducido enrollado en la pared exterior del tambor. Hacia 1880 la armadura de anillo se utilizaba ya en todos los generadores construidos industrialmente.

En esos años el generador electromagnético se había convertido en una herramienta de la industria para producir corriente eléctrica para lámparas de arco, para galvanoplastia, para telégrafos, para iluminación, para accionar otros aparatos, etc. Así mismo, comenzaba a generalizarse su uso como motor, movido por corriente eléctrica. Por esa razón en 1882 Tomás Alva Edison (1847-1931) construyó y dio al servicio la primera central eléctrica con propósito comercial en su laboratorio de Menlo Park, en Nueva York. Era una instalación movida por vapor y que generaba corriente continua, por la cual Edison se inclinaba decididamente, en oposición a otros ingenieros que defendían de manera resuelta la corriente alterna por esos años, como Marcel Déprez, Philip Gaulard (inventor del transformador) y Nikola Tesla. Fue precisamente Tesla (1856-1943), nacido en Croacia, quien inventó en Estados Unidos el alternador eléctrico que patentó en 1884.

Desde ese momento el generador de corriente directa, el alternador y los motores eléctricos de distintos tipos comienzan a extenderse rápidamente por Europa, Estados Unidos y todo el mundo para protagonizar la inmensa revolución tecnológica que trajo la electricidad a todas partes. A Colombia llegaron los primeros generadores de corriente a fines de los años ochenta, a las minas de oro en Antioquia que eran de compañías norteamericanas, para fines de iluminación. Y muy poco después, en los primeros años noventa llegaron a Cartagena y Barranquilla las primeras plantas eléctricas generadoras para servicio público que hubo

en Colombia. Poco después, antes de terminar el siglo, se montaron en Bogotá y Medellín las primeras plantas de servicio público con generadores de corriente alterna movidos por turbinas hidráulicas.

Nadie ha investigado cuándo se instalaron en Colombia los primeros motores eléctricos. Es muy razonable pensar que llegaron también en los últimos años del siglo XIX o en los primeros del presente a las minas de oro de Segovia y Zaragoza, de propiedad de compañías norteamericanas, que eran entonces las empresas con más alto nivel tecnológico del país, y que requerían motores para accionar molinos, bombas y mesas vibradoras. En 1905 las minas norteamericanas en Antioquia ya generaban su propia energía eléctrica y la utilizaban para mover, triturar o accionar agua, materiales y máquinas. Colombia conoció pues la tecnología eléctrica en las postrimerías del siglo pasado y en los albores del presente.

LA FORMACION DE LA INDUSTRIA ELECTRICA EN EL EXTERIOR EN EL SIGLO XIX

La explotación industrial de la electricidad y su conversión en un sector muy importante de fabricación de bienes de capital, que hoy hace parte fundamental de la economía de los países industrializados, fue un proceso vertiginoso que se cumplió en Europa y en Estados Unidos a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX.

Quizá la primera aplicación comercial de la electricidad fue su empleo para operar faros con lámparas de arco activadas con grandes baterías o pilas. El primer faro en Europa que se dotó de lámparas de arco fue el de Foreland, en Kent, en 1854. Después se iluminaron así muchos faros del mundo.

A fines de los años sesenta en Inglaterra, Francia y Alemania se habían perfeccionado suficientemente el diseño y la construcción de generadores de corriente eléctrica, hasta el punto de que en 1869 un ingeniero francés, Claude Berge, aplica una caída de agua con una turbina hidráulica para operar un generador eléctrico de los que Zénobe Théophile Gramme estaba construyendo en París. Poco después, en 1873, entró en funcionamiento la primera turbina hidroeléctrica para generar electricidad. Estas dos realizaciones constituyeron el origen de la construcción de grandes represas en el siglo XX y de la industria de la hidroelectricidad, tan grande en nuestro tiempo.

También en 1873 se instaló en Londres la primera lámpara de arco voltaico para iluminación pública, para dar luz a la casa del gran reloj Big Ben en la torre del Parlamento Británico. A partir de esta fecha se extendió por la ciudad la ins-

talación del alumbrado con lámparas de arco, lo mismo que en otras ciudades europeas. Así, por ejemplo, en 1876 Paul Jablokoff construye en Rusia su bujía eléctrica basada en el arco voltaico que, aun con sus varias deficiencias, se ensayó en las calles de San Petersburgo. Desde entonces la iluminación pública con lámparas de arco fue una práctica muy generalizada en las ciudades europeas y norteamericanas, aun cuando la fuente de corriente eran las baterías entonces conocidas. Pero este sistema de iluminación tenía muchos inconvenientes técnicos, económicos y prácticos, y por eso Swan, en Inglaterra, y Edison, en Estados Unidos se aplicaron a buscar un sistema eléctrico de incandescencia.

Después de haber inventado Edison en 1877 el micrófono y el fonógrafo, en octubre de 1878 este prolífico inventor concibió la idea de crear una bombilla eléctrica de incandescencia luego de asistir a la exposición científica de William Wallace. Desde ese momento Tomás Alva Edison (1847-1931) se propuso en Estados Unidos obtener un sistema de iluminación seguro, limpio y barato para remplazar los de gas y de arco eléctrico, que se usaban hasta entonces. Después de un año de trabajo, en 1879, Edison logra construir y hacer operar la bombilla con filamento de carbón, con una eficiencia lumínica de 1.5 lúmenes por vatio y que duró 45 horas en funcionamiento. En ese mismo año Theodor Swan (1828-1914) también lo logró en Inglaterra, después de haber luchado con la idea de una lámpara incandescente desde 1848 cuando construyó la primera que fue muy efímera. Desde ese momento muchos investigadores se dedicaron a perfeccionar este invento, el cual comenzó a aplicarse a escala comercial hacia 1882 ó 1883 en Estados Unidos y en Europa, al tiempo que en Colombia se empezaba a construir en Bogotá, el primer sistema público de iluminación con lámparas de arco.

Los años ochenta presenciaron la expansión generalizada de la energía eléctrica en usos comerciales e industriales en el mundo desarrollado. En 1879 Siemens y Halske exhibieron en la Exposición de Berlín el tren diseñado por ellos para minas subterráneas y movido por una locomotora eléctrica con motores de corriente directa, operados desde el exterior de la mina por un generador de CD accionado por una planta de vapor. En 1881 era tan clara la posibilidad de enviar energía eléctrica a sitios distantes de consumo que el ingeniero Marcel Déprez realizó estudios pioneros y completos sobre la transmisión a distancia de corrientes directas y alternas. Para entonces Edison había diseñado y construido en Londres la primera estación de generación pública de electricidad, que fue inaugurada en 1880 y que servía más que todo para atender el alumbrado de las calles de la ciudad. En seguida, en 1881, se construyó en Inglaterra el primer generador eléctrico para uso industrial, y se instaló el pri-

mer sistema comercial y público para distribuir y vender energía eléctrica. En el mismo momento, en Berlín apareció el primer tranvía eléctrico del mundo y al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, el industrial Hiram Maxim construyó en su fábrica el primer generador eléctrico autorregulado y diseñado para ser utilizado en aplicaciones industriales.

En 1882, de manera casi simultánea, en los Estados Unidos entraron en operación la primera planta de generación hidroeléctrica de esa nación (en Appleton, Wisconsin) y la primera planta termoeléctrica de vapor, construida por Edison en su laboratorio de Menlo Park, Nueva York, e inaugurada en 1885. De esta manera nacía en ese país la industria de la generación y distribución de electricidad. Precisamente la comercialización en gran escala de la energía eléctrica exigía y estimulaba el perfeccionamiento de máquinas y aparatos complementarios y auxiliares. Así ocurrió en 1884, año en el cual el amperímetro fue introducido y su uso comenzó a extenderse en forma generalizada en toda la industria y la ingeniería eléctrica. En ese mismo año, Nikola Tesla (1856-1943) patentaba el alternador eléctrico, convencido como estaba de que el futuro de la electricidad estaba en la CA y no en la CD como creía Edison. Simultáneamente, también en los Estados Unidos, Frank Julian Sprague desarrolla un motor de CD con embobinado en serie, de alto torque, para impulsar locomotoras, con lo cual abría el camino de la electrificación de los ferrocarriles del mundo. En Inglaterra el progreso eléctrico también avanzaba de manera acelerada. Allí, en 1884, Sir Charles Algernon Parsons (1854-1931) diseñó e instaló la primera planta generadora operada con caldera y turbina de vapor (recientemente inventada por él). Y pese a su inclinación por la CD con conducción bifilar, fue Edison quien inventó y patentó en 1885 el sistema trifilar (no confundir con el sistema trifásico) para conducir y distribuir energía eléctrica. El año anterior el mismo e infatigable Edison había construido la primera gran central hidroeléctrica en las cataratas del Niágara.

Pero la prédica de Tesla en favor de la corriente alterna tenía seguidores. Uno de ellos, William Stanley, en 1885, en Estados Unidos, diseñó y patentó un transformador de CD destinado a ser utilizado en redes de distribución comercial de CA. El enorme interés que despertó el transformador de CA, con su altísima eficiencia como convertidor de energía y de potencia, determinó sin duda que al año siguiente, en 1886, el ingeniero e industrial George Westinghouse instalara la primera fábrica en Estados Unidos para la producción industrial de transformadores eléctricos de potencia. En el mismo año, en Alemania, Werner Siemens estaba terminando de perfeccionar el generador de CD y comenzaba a fabricarlo en escala industrial.

Tesla continuaba desarrollando más aparatos para CA. Entre 1884 y 1887 trabajó duramente en el diseño y perfeccionamiento del alternador polifásico y al terminarlo y patentarlo, en 1887, comenzó de inmediato a estudiar y a desarrollar sistemas técnicos para el uso práctico de las corrientes alternas en la industria y en la iluminación. En 1888 inventó el motor de inducción para CA y en 1891 la bobina de inducción que hoy lleva su nombre y que se utiliza para producir altos voltajes a altas frecuencias. Por otro lado avanzaban otros inventores. En 1888, Oliver Schalleberger, en Estados Unidos, inventó y patentó el utilísimo medidor de energía (en kilovatios-hora) para CA. Las corrientes alternas estaban ya listas para ser aprovechadas comercialmente y sin perder tiempo, a partir de 1888 Westinghouse comenzó a construir centrales generadoras de CA y sus correspondientes sistemas de distribución de energía para uso industrial y doméstico. Desde entonces la CA se impuso en la industria eléctrica del mundo.

Los desarrollos para el aprovechamiento industrial de la electricidad avanzaban casi paralelamente. En 1886 el inventor angloamericano Elihu Thompson (1853-1910) trabajando en los Estados Unidos, patentó el primer método para soldar metales utilizando el calor desprendido por la corriente eléctrica en resistencias, de acuerdo con la ley de Joule. En Francia, en 1892, el físico Henri Moissan inventó el horno de arco eléctrico, perfeccionado por él para usos químicos y metalúrgicos.

Por esta época comenzó el estudio de las corrientes alternas polifásicas en varios países. En Alemania el ingeniero ruso Mikhail Osipovich Dolivo-Dobrowolski estudia y desarrolla la teoría y las aplicaciones del sistema de CA trifásica. Otros más se ocuparon del tema en Francia, Alemania y Estados Unidos. De ellos cabe destacar a Charles Proteus Steinmetz (1865-1923), nacido en Alemania y emigrado a Estados Unidos, y quien en su país adoptivo hizo amplísimos estudios matemáticos y teóricos sobre las corrientes alternas, a las cuales aplicó los números complejos y las funciones complejas, estudios que fueron el fundamento para el desarrollo de la moderna tecnología de los circuitos de CA, y por tanto, de la industria de generación y distribución de electricidad de hoy en día.

Los últimos años del siglo XIX y los primeros del siglo XX abarcan la época en que la electricidad como industria y sus aplicaciones fabriles y comerciales vienen a Colombia. Pero la tecnología eléctrica estaba muy avanzada. Ya se habían desarrollado a escala comercial el generador de CD, el alternador monofásico, el transformador de potencia, los instrumentos de medición de corrientes directas y alternas, el motor sincrónico de CA, el motor de inducción

de CA, la locomotora y los trenes eléctricos, la línea de transmisión a voltajes elevados, la soldadura por resistencia eléctrica, la central hidroeléctrica, la central generadora de vapor, los controles y arranques de motores, la galvanoplastia, etc. Empresas como Westinghouse, General Electric, Siemens, Alsthom, Oerlikon y otras que aún perduran, ya estaban produciendo, vendiendo y mejorando equipo eléctrico en todo el mundo.

LA ELECTRICIDAD EN BOGOTÁ

En 1886 el gobierno nacional, presidido por Rafael Núñez, firmó un contrato con la compañía Ospina Hermanos (formada por Tulio Ospina, Pedro Nel Ospina y sus hermanos) para que instalaran en Bogotá, un servicio de alumbrado eléctrico público. Tulio y Pedro Nel eran ingenieros civiles graduados en la Universidad de California, en Berkeley, y allí habían adquirido algunos conocimientos elementales sobre la electricidad y el estado de su tecnología en ese momento. Para atender este contrato los Ospina se asociaron con la familia de Gonzalo Carrizosa, de la capital, y juntos constituyeron la Bogotá Electric Light Company.

En ese momento ya se construían industrialmente generadores y motores de CD, alternadores, controles de arranque para estas máquinas, transformadores, lámparas de arco para iluminación, bombillas incandescentes y, por supuesto, interruptores, accesorios y conductores eléctricos.

Los Ospina adquirieron el equipo en Italia: dos calderas de 60 caballos de potencia cada una, dos motores de vapor de 50 caballos cada uno, dos generadores que probablemente eran de corriente directa, controles para los generadores, cables conductores, aisladores, lámparas de arco, herramientas para montaje y poco más. El despacho del equipo desde Florencia (Italia) y su montaje en Bogotá tomaron desde abril de 1888 hasta diciembre de 1889, por lo cual el alumbrado público se inauguró el 1.º de enero de 1890, con cien lámparas de arco instaladas en las calles del centro de Bogotá.

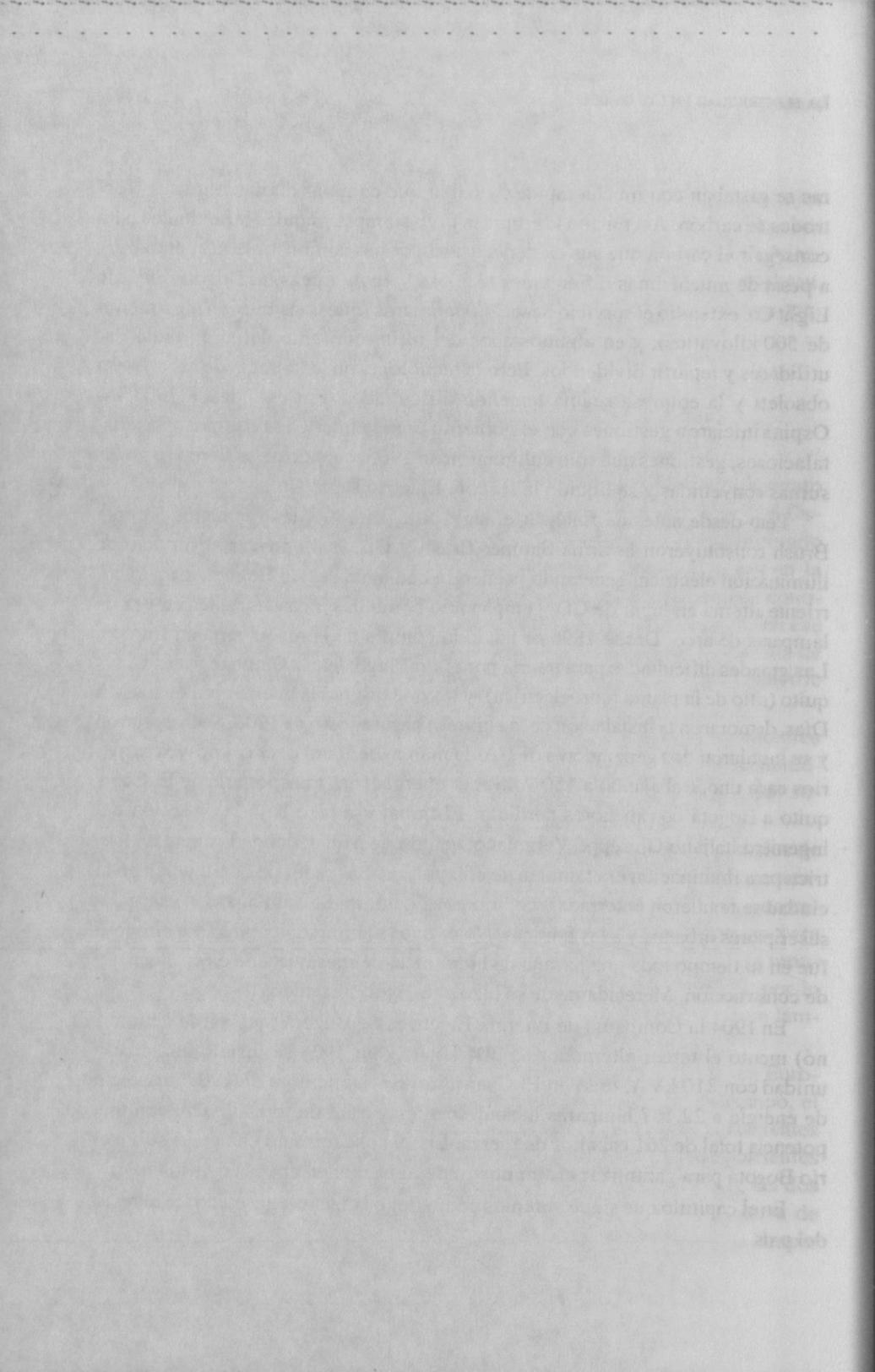
La inestabilidad del arco eléctrico entre carbones obligó siempre, en Europa y aquí, a que fuera alimentado con corriente directa. Al mismo tiempo, el arco exigía unos voltajes de algunos pocos centenares de voltios y corrientes muy intensas, quizá de decenas de amperios. La intensidad de estas corrientes seguramente ocasionaba pérdidas de energía considerables. Además, las dos calderas nunca llegaron a desarrollar la potencia ofrecida, y los motores de vapor sufrieron graves averías en el transporte de Honda a Bogotá. Las lámpa-

ras se gastaban con mucha rapidez y había que cambiar diariamente sus electrodos de carbón. Así mismo la empresa tuvo siempre grandes dificultades para conseguir el carbón que sus calderas usaban como combustible. Sin embargo, a pesar de muchísimas dificultades técnicas y económicas, la Bogotá Electric Light Co. extendió el servicio hasta 200 lámparas (que consumirían algo menos de 500 kilovatios), y en algunos años del último decenio del siglo pudo dar utilidades y repartir dividendos. Pero la tecnología de la lámpara de arco ya era obsoleta y la empresa seguía teniendo dificultades. Por eso, desde 1903 los Ospina iniciaron gestiones con el gobierno para venderle los equipos y las instalaciones, gestiones que sólo culminaron en 1905, cuando el gobierno pagó las sumas convenidas y se liquidó la Bogotá Electric Light Co.

Pero desde antes de finalizar el siglo XIX, en 1896, los hermanos Samper Brush constituyeron la firma Samper Brush y Cía., para prestar el servicio de iluminación eléctrica, generando la energía con agua del río Bogotá, usando corriente alterna en lugar de CD y empleando bombillas incandescentes en vez de lámparas de arco. Desde 1896 se inició la compra de la maquinaria en Europa. Las grandes dificultades para traerla por el río Magdalena a Cambao y a El Charquito (sitio de la planta hidroeléctrica), y las que originó la guerra civil de los Mil Días, demoraron la instalación de la empresa hasta agosto de 1900. Se importaron y se instalaron dos generadores de CA de marca Oerlikon de 305 kilo-voltamperios cada uno, trabajando a 150 voltios la energía para transportarla de El Charquito a Bogotá con menores pérdidas. El trabajo se hizo bajo la dirección del ingeniero italiano Giuseppe Vergniano, venido de Milán, donde la energía eléctrica para iluminación era también de 150 voltios. Las redes de distribución en la ciudad se tendieron enterradas, con no poca demora. Se suministraba energía a suscriptores urbanos y a las fábricas. No se daba alumbrado público. La empresa fue en su tiempo toda una hazaña de hidráulica, de mecánica, de electrotecnia y de construcción. Merecidamente se hizo a un éxito sostenido.

En 1904 la Compañía de Energía Eléctrica de Bogotá (que así se denominó) montó el tercer alternador de 304 kVA, y en 1908 se instaló una cuarta unidad con 810 kVA, todo en El Charquito. En septiembre de 1909 abastecía de energía a 22.167 lámparas incandescentes y a 82 motores de CA con una potencia total de 261 caballos de fuerza. En 1911 se terminó una presa sobre el río Bogotá para garantizar el suministro de agua aún en épocas de estiaje.

En el capítulo que sigue veremos cómo llegó la tecnología eléctrica al resto del país.



Capítulo 13

LA ELECTRIFICACION ENTRE 1890 Y 1940

TELEGRAFOS Y LOCOMOTORAS

La primera manifestación de la electricidad, para uso técnico y público, llegó a Colombia en 1865 con el telégrafo, que el gobierno de Murillo Toro trajo al país por arreglo contractual con el empresario norteamericano Lee Stiles y sus socios. Con el telégrafo llegaron las pilas eléctricas del tipo de Daniell, los conductores eléctricos de cobre, los aisladores de porcelana y de vidrio, los manipuladores para transmitir mensajes y los aparatos registradores para recibir la señal. La telegrafía se extendió rápidamente por el territorio poblado del país. Pero los mensajes telegráficos sólo necesitan corrientes y voltajes débiles. Esta era pues la primera expresión de lo que los alemanes llamaron después *Schwachstromtechnik* (técnicas de bajas corrientes).

Posteriormente, cuando comenzaron a construirse los primeros ferrocarriles (Panamá en 1849, Barranquilla en 1870, Antioquia en 1875, Cúcuta en 1878) y a rodar trenes en las carrileras, las locomotoras trajeron la luz de arco eléctrico. Esta venía en el fanal frontal de esas máquinas, para iluminar el camino en las noches. El arco eléctrico requiere un voltaje elevado, una fuente de corriente directa potente, y consume un gran amperaje. Era pues, una forma (la primera en el país) de la *Starkstromtechnik* (técnicas de altas corrientes). De esta manera, resulta inevitable pensar que las primeras locomotoras (antes de los primeros años de la década de 1880) traían grandes bancos de pilas Daniell para el fanal. Hay que recordar que en 1854 en Inglaterra ya se había dotado el faro marino de Foreland (el primero en toda Europa y en todo el mundo) con

una luz de arco alimentada con pilas y que, pocos años después, en Londres comenzó a extenderse la luz de arco.

Hacia 1880, en Estados Unidos y en Europa el generador electromagnético de corriente directa (CD) se convirtió en un equipo para ser usado comercial e industrialmente en todas las aplicaciones de la electricidad. Es casi seguro que las locomotoras que vinieron al país después de ese momento, traían todas un generador de CD para alimentar el fanal frontal de arco, bien fuera conectado directamente, o interponiendo una batería de pilas electroquímicas entre el generador y la lámpara frontal.

El telégrafo en las poblaciones y la luz de arco de las primeras locomotoras fueron las primeras manifestaciones de la electrotecnia (la cual progresaba aceleradamente en el mundo) que conocieron los colombianos. Pero sus beneficios, aunque eran muy importantes, aún no llegaban a las sociedades urbanas en gran extensión. Habría que esperar el decenio de 1880 para que se iniciara en propiedad la electrificación para iluminar calles y casas en las ciudades.

PRIMERA ILUMINACION PUBLICA DE BOGOTA

En 1807 el virrey Amar y Borbón dispuso que “los vecinos barriesen las calles todos los sábados” y que los propietarios de pulperías y tiendas en que se vendiesen licores pusieran faroles en sus puertas. Gracias a esta orden, algunas calles de Bogotá tuvieron una precaria iluminación de faroles con velas de sebo, hechas con grasa animal y, desde 1865, con mechas de kerosene.

Gracias a la iniciativa empresarial del señor Nicolás Pereira Gamba —nacido en Popayán pero radicado siempre en Bogotá— en 1876 se constituyó la Compañía de Alumbrado de Gas, que instaló un gasógeno para generar gas de alumbrado a partir de carbón, y dos grandes “gasómetros” o tanques para distribuir ese combustible en una extensión que se proyectó en 45 cuadras. En el mismo año se instalaron en 23 cuadras del centro de la ciudad las tuberías, unas metálicas y otras de madera (todo importado de Suecia), para el alumbrado público y para las casas. En ese primer año de operaciones se vendieron 112.000 pies cúbicos de gas de alumbrado a los consumidores. Uno de éstos era el municipio de Bogotá (que era, además, accionista de la compañía). El gas se producía con carbón mineral de las muchas minas vecinas a la ciudad, pero según don Miguel Samper, el carbón “era de mala calidad que influía en el gas”. Pese a todo, el negocio persistió. Se montaron los faroles públicos, y muchas casas instalaron lámparas de gas y hasta algunas estufas de cocina. Y a pesar

de las pérdidas en las tuberías y de los problemas técnicos del gasógeno y del carbón, consta que en 1890 la empresa suministró 5.300.000 pies cúbicos. En 1896 había extendido tuberías en toda la ciudad de entonces. Pero en ese momento se inauguró el alumbrado eléctrico, y en 1902 se liquidó la compañía.

Por lo que se sabe, la primera planta eléctrica (muy pequeña) que existió en Bogotá fue la que se instaló en 1879 en la Casa de Moneda, movida por una pequeña caldera y un motor de vapor de un solo cilindro, que generaba corriente directa (CD). Probablemente era del tipo de generadores que había desarrollado pocos años antes el técnico belga Zénobe Théophile Gramme. Su propósito era suministrar electricidad a los motores de CD que también se trajeron ese año para mover las máquinas acuñadoras de monedas. Luego, en 1892 se inauguró el Teatro de Colón, bajo el gobierno del presidente y general Carlos Holguín. Para iluminarlo se importó y se instaló una pequeña planta de vapor, que alimentaba las lámparas de arco del teatro y algunas de las calles vecinas.

Fue el ingeniero neivano Rafael Nieto París quien primero propuso iluminar a Bogotá con luz eléctrica. El ya la había conocido en Europa, donde se graduó. Consecuentemente, en 1886, el municipio le entregó ese encargo mediante un contrato. Pero por limitaciones pecuniarias el ingeniero Nieto tuvo que ceder el contrato a otras personas, quienes, en varias operaciones, la pasaron a una sociedad formada por los hermanos Tulio y Pedro Nel Ospina con el señor Rafael Espinosa Guzmán. Se trataba de establecer una usina eléctrica y el alumbrado con luz de arco en esa ciudad. Los Ospina y sus socios crearon la compañía Bogotá Electric Light Co., que compró los equipos en Italia y los despachó a Bogotá en 1888. Eran dos calderas de vapor de 60 CV de potencia (1 CV = un *chével de vapeur* = 75 kilogramos - fuerza en París x 1 metro en 1 segundo), que accionaban sendos motores de vapor. Cada uno de los dos generadores de CD debía entregar una potencia nominal de 50 CV. En la travesía (probablemente entre Honda y Bogotá), varias máquinas sufrieron graves daños que, por fortuna, pudieron repararse en gran parte en el taller de la ferrería de La Pradera. La planta se construyó junto al río Bogotá. Pero, cuando ya se instaló todo, las dos calderas, sumadas, sólo suministraron 50 CV a pesar de que se adquirieron para 120 CV. Después del montaje, de las instalaciones y de los ensayos, el día 1o. de enero de 1890 se inauguró la planta y la red de lámparas de luz de arco en las calles centrales de la capital. Este gran avance técnico ocurría solamente ocho años después de que Edison montara en Nueva York la primera central electrogeneradora para uso público y comercial.

Desde el primer momento hasta su fin, la empresa hubo de luchar contra tres serios y persistentes problemas técnicos y económicos: el voltaje muy va-

riable de los generadores, la operación muy laboriosa de las lámparas de arco y el alto costo del carbón. Pero la empresa resistió aunque no creció. Y cuando el 7 de agosto de 1900 los hermanos Samper Brush entraron a generar hidroelectricidad más potente y más barata, la suerte de la Bogotá Electric Light quedó definida. En 1903 la compañía dejó de generar. En 1905 fue comprada por el gobierno nacional y desapareció.

PRIMERA EMPRESA EXITOSA EN LA CAPITAL

Al ver los problemas económicos y técnicos de la empresa de los Ospina, en 1896, el ingeniero Santiago Samper Brush y su hermano Miguel, hijos del destacado hombre público don Miguel Samper, fundaron la empresa Samper Brush y Compañía, destinada a producir la energía hidroeléctrica que era necesaria para instalar la iluminación incandescente y para mover motores eléctricos en las fábricas de Bogotá. Ese mismo año constituyeron la Compañía de Energía Eléctrica de Bogotá; compraron la maquinaria y las instalaciones en Italia —como los Ospina—, con especificaciones para entregar la energía al usuario a 150 voltios, siguiendo el ejemplo de Milán, que los noveles empresarios electricistas juzgaron necesario imitar, cuando aún no existían los voltajes normalizados y unificados en el mundo. En 1898 vino el ingeniero milanés Giuseppe Vergniano y comenzó a instalar el equipo hidráulico y eléctrico en el sitio El Charquito, sobre el río Bogotá, unos kilómetros aguas arriba del Salto de Tequendama. Pero los abrumadores problemas de transportar las pesadas máquinas desde Cambao a Bogotá, a lomo de mula, la falta de recursos técnicos y de personal calificado y otros obstáculos, no permitieron terminar los trabajos en 1898, como querían los empresarios. Y en ese momento estalló la guerra civil de los Mil Días, que causó graves perjuicios a los liberales Samper. Esto demoró el proyecto, pero de todos modos el servicio de la electricidad comenzó el 7 de agosto de 1900, aún en plena guerra. La pequeña red de distribución urbana era de cables subterráneos.

Esa primera planta hidroeléctrica de El Charquito tenía dos turbinas Pelton con sus respectivos generadores de corriente alterna (CA), trifásicos, cada uno con capacidad de 305 kilovoltamperios (305 kVA) de potencia aparente (unos 240 kW de potencia efectiva). Aprovechaba, a “filo de agua” (o sea, sin embalaje de regulación), una caída de 48 m de altura y de 480 m de recorrido sobre el río Bogotá. Un solo alternador bastaba en ese momento para atender la demanda inicial de la pequeña ciudad, mientras otro se mantenía como reserva. Los

dos alternadores generaban a 6.700 voltios (6.700 V) entre fases, a 60 ciclos por segundo, y enviaban la energía hasta Bogotá por una pequeña línea de transmisión de 26 km de longitud, a 20.000 voltios. En la ciudad se reducía en dos etapas a 150 voltios, en un transformador central y en varios de distribución final. Sin duda éstos fueron los primeros transformadores que hubo en el país en uso comercial y público.

Desde su primer año de operaciones la empresa fue un éxito. Empezó con unos 300 suscriptores que consumían para iluminación unos 100 kW en las horas pico, en la tarde. En 1901 la compañía ya repartió dividendos. En 1904 se convirtió en sociedad anónima y adoptó el nombre de Compañía de Energía Eléctrica de Bogotá. El número de suscriptores aumentó con rapidez. Pero el servicio diurno sólo lo tomaban las fábricas, que comenzaron rápidamente a equiparse con motores eléctricos de CA. En 1904 fue necesario instalar un tercer alternador de 305 kVA de potencia aparente. En 1906 desapareció la Bogotá Electric Light Company, la de los Ospina, Espinosa y Carrizosa, que venía sirviendo el alumbrado público de la ciudad. De tal modo, la nueva Compañía de Energía Eléctrica de Bogotá se hizo cargo de la iluminación de las calles, con bombillas incandescentes de CA, por contrato con el municipio. Como el consumo de la ciudad crecía aceleradamente, en 1908 se montó una cuarta unidad de 810 kVA en El Charquito. Totalizaba 3.635 kVA, incluyendo una reciente planta de vapor que acababa de instalar la empresa. La revista estadounidense *Harper Weekly*, en 1902, la señalaba como un logro de ingeniería "asombroso" y decía que era la *highest electric station in the world*. A cada motor cobraba tres dólares mensuales por cada CV. Y para atender a su clientela que se iba extendiendo por la ciudad, desde 1908 comenzó a instalar redes de conducción aéreas. En 1909 (septiembre), la empresa alimentaba electricidad a 22.167 lámparas incandescentes (ya se habían suprimido las de arco), y a 82 motores (todos de CA) con 261 HP de potencia. En ese momento cobraba 3 dólares por HP por mes, por el servicio a motores industriales.

Para asegurar el suministro de agua aun en las épocas secas de verano, la empresa construyó en 1911 una represa de regulación y una bocatoma más grande en el sitio de Alicachin, cerca a Soacha.

Cabe aquí hacer un paréntesis para recordar que el municipio de Bogotá compró en 1910 el viejo sistema de tranvías que existía desde 1884 en la ciudad. Había sido establecido por un particular norteamericano, y operaba con 33 carros sobre carriles, tirados por mulas. Tenía además una pequeña planta eléctrica accionada por vapor, para generar CD y para mover así seis pequeños carros eléctricos que también operaba. Después de comprar la empresa, el mu-

nicipio trajo una planta eléctrica más grande; adquirió un buen número de vehículos eléctricos e iluminó la carrera 13 desde la calle 26 (donde funcionaba la planta) hasta Chapinero. Esta planta duró hasta 1925, cuando la empresa particular de energía (que ya era Empresas Unidas de Energía Eléctrica) la adquirió, la cerró y siguió alimentando a los tranvías municipales con electricidad más económica.

Gracias a la paz interna de Colombia, al aumento de la población de Bogotá y al crecimiento de la industria capitalina, la demanda y la producción de electricidad seguían creciendo. En 1913 la sociedad puso en operación el quinto turboalternador, ahora más grande que los anteriores: de 1.910 kVA de capacidad en potencia aparente.

Pero la empresa comenzó a tener grandes problemas para financiar los ensanches que ya se preveían como indispensables, en la magnitud y con la celeridad necesarias. Desde 1913 la capacidad de generación nominal quedó congelada en 5.545 kVA. Además, el caudal del río Bogotá comenzó a mermar. Los racionamientos y la defectuosa calidad del servicio se hicieron sentir desde 1914, cuando la capacidad de generación *efectiva* quedó también congelada en 3.635 kVA de potencia aparente, debido al escaso caudal del río.

De 100.000 personas en 1905, la población de Bogotá pasó a 121.257 en 1912, a 143.994 en 1918 y a 235.421 en 1928. Se necesitaba con urgencia más y más electricidad. Y así, en 1920, se fundó la Compañía Nacional de Electricidad, de propiedad de la familia Dávila Pumarejo. De ella hablaremos más adelante.

PRIMERA ILUMINACION ELECTRICA EN MEDELLIN

La primera propuesta pública de iluminar con electricidad a Medellín fue del comerciante Juan A. Zuleta, quien en 1886 propuso su ejecución al municipio. La propuesta no prosperó. En ese mismo año lo volvió a proponer el empresario bogotano Jorge W. Price, también sin éxito. En 1886 lo plantearon nuevamente los ingenieros Tulio Ospina, Pedro Nel Ospina y Gregorio Pérez. Pero ni ésta ni otras propuestas se aceptaron.

Por fin, con el propósito de establecer la luz eléctrica, se fundó en Medellín la Compañía Antioqueña de Instalaciones Eléctricas. El municipio tenía un tercio de su capital; un tercio lo tenía el departamento, y el otro tercio pertenecía a particulares. La compañía adquirió cuatro generadores de CD de 25 kW cada uno para lámparas de arco (que no podían operar con CA) para la iluminación pública y tres alternadores de 50 kW cada uno, para la luz incandescente en

el interior de las casas y para producir fuerza motriz. Eran 250 kW en total (100 en CD y 150 kW en CA).

La central fue proyectada y montada, junto con todo el resto del equipo de conducción, distribución e iluminación pública, por el ingeniero civil José María Escobar. Se decidió instalar la central de generación sobre la quebrada de Santa Elena, aguas arriba de la ciudad, sin embalse regulador. Se aprovechaba un caudal de 400 litros por segundo y una caída de 200 metros, que permitirían llegar a generar hasta 900 kW. Las turbinas se encargaron a la Pelton Water Wheel Company, y todo el equipo eléctrico fue suministrado por la General Electric Company de Estados Unidos. Para llevar el agua a la central se hizo una bocatoma en la quebrada, y un canal de conducción de 5.000 m, incluyendo tres túneles cortos que sumaban 300 m. El 15 de septiembre de 1896 se inauguró esta conducción. Se recibieron 280 solicitudes de suscriptores con 3.000 lámparas incandescentes para hogares y edificios públicos y privados. Además, se proyectaron y se instalaron 150 lámparas de arco en las calles centrales.

El 7 de julio de 1897 se inauguró todo: la generación y el servicio público, aunque en total no se coparon los 250 kW de potencia de los generadores. Nótese que esto ocurría sólo siete años después de la inauguración del primer servicio eléctrico (muy deficiente) de Bogotá. Piénsese también que ocurría solamente quince años después de que Edison construyera en Pearl Street (dentro de la ciudad de Nueva York) y en Picadilly (en Londres), en 1882, las dos primeras centrales de generación eléctrica para servir al público y con propósitos industriales (estas plantas de Edison eran termoeléctricas, alimentadas con carbón y generaban CD).

Las unidades generadoras en esta planta de Santa Elena, en Medellín, eran movidas por una turbina Pelton de eje horizontal, de 75 HP de potencia a 900 revoluciones por minuto. La altura bruta de caída del agua era de 197.61 m y la neta era de 180.21 m. El caudal era de unos 120 litros por segundo, que correspondían a un gasto hidráulico de cerca de 2.88 m cúbicos por kilovatio-hora generado. Las tres unidades de CA generaban a una tensión de 2.300 voltios.

El negocio fue un éxito desde el primer momento. Pronto fue necesario ensancharlo. Inicialmente se cambiaron las lámparas de arco del alumbrado público por lámparas incandescentes con filamento de tungsteno. Simultáneamente se comenzó a cambiar los generadores originales de CD por generadores nuevos de CA, tarea que se prolongó hasta 1912 cuando se completó y se tuvo todo el primer sistema eléctrico de Medellín en CA. En 1899 llegaron los pri-

meros 200 contadores para medir la energía consumida por los usuarios. En 1904 se agregó otro alternador trifásico de 50 kW.

Junto con José María Escobar, el otro gran personaje técnico de esas realizaciones fue Gregorio Pérez, cuñado de Tulio Ospina y tío de Mariano Ospina Pérez todos ellos ingenieros. Nacido en Medellín, Gregorio Pérez se había graduado en Estados Unidos como ingeniero electricista. Fue el primer colombiano que obtuvo este título de una universidad y el primero que ejerció esta rama de la ingeniería en nuestro país.

APARICION DE LA ELECTRICIDAD EN OTRAS CIUDADES

Antes de Medellín, otras ciudades habían conocido la electricidad pública, por iniciativa privada de extranjeros o de colombianos. En Panamá, en 1890, poco después de inaugurarse en Bogotá la primera planta, la de los Ospina, la Compañía de Gas de Panamá instaló un generador de 15.3 kW, en CD, para alimentar las lámparas de arco del alumbrado público, y un alternador de 67.6 kW, en CA, para la luz incandescente. Ambas unidades eran movidas por una misma máquina de vapor de 135 HP de potencia máxima. Todo el equipo vino de Estados Unidos y de allá se importaba hasta el carbón combustible. (Recuérdese que 1 caballo de vapor inglés — 1 HP — en unidades inglesas se define como $1 \text{ HP} = 550 \text{ libras-fuerza} \times 1 \text{ pie/segundo}$. Un caballo de vapor — 1 CV — en el sistema métrico es: $1 \text{ CV} = 75 \text{ kilogramos fuerza} \times 1 \text{ metro/segundo} = 75 \text{ kilográmetros de trabajo/segundo}$. Así pues, $1 \text{ HP} = 1.01254 \text{ CV} = 0.74570 \text{ kilovatios}$).

Después de Panamá y de Bogotá, fue Bucaramanga la tercera ciudad con electricidad en la Colombia actual. En 1889 los primos Julio Jones Benítez y Reinaldo Goelkel Jones adquirieron en Boston una pequeña planta hidroeléctrica, accionada por una turbina Pelton, de 160 HP, que operaba dos dinamos de CD y dos alternadores. Instalaron los equipos en el río Surata, a filo de agua, en el sitio de Chitota. Se inauguró el 30 de agosto de 1891 pero a los tres días un derrumbe y un alud de lodo la dañaron gravemente. El departamento de Santander financió y ayudó con personal militar la reconstrucción, y así la electricidad se restableció a los tres meses. En 1892 se constituyó formalmente como Compañía Anónima Eléctrica de Bucaramanga. Desde el comienzo ofreció electricidad para fuerza motriz, como primer caso en Colombia, cronológicamente. Alimentaba CD para las lámparas de arco del alumbrado público y suministraba CA para 920 bombillas incandescentes y para varios motores de

inducción como los de los compresores de amoníaco de la fábrica de hielo de don Julio Ogliastrí. En 1902 se suspendió la luz de arco, y se pararon los pequeños dinamos de CD. Poco después la empresa suspendió los servicios de fuerza motriz y de luz incandescente, debido a problemas financieros creados por la guerra civil. Sólo en 1904 se restableció el servicio eléctrico en Bucaramanga, ya pasada esa guerra. Desde entonces esa ciudad ha tenido electricidad pública.

En Barranquilla funcionó desde 1892 una planta eléctrica de CA que fue instalada y operada por el ingeniero santandereano Pedro Blanco Soto. Era movida por una caldera y una máquina de vapor, y consumía carbón importado de Estados Unidos. En el alumbrado público y para 300 casas, había 184 focos incandescentes. Mal que bien, desde entonces hubo servicio eléctrico público en la ciudad.

En 1891 el municipio de Cartagena (con la intervención del mismo Blanco Soto) inauguró una planta termoeléctrica de vapor, alimentada con carbón, para su iluminación pública. En 1904 ya había dos plantas: una de 130 kW y otra de 170 kW. Ambas consumían leña y generaban CA. En 1915 tenía otra planta de vapor de 200 HP, y suministraba energía a 4.400 focos, públicos y privados. Y en Sincelejo (que era la segunda ciudad del departamento de Bolívar) estaba funcionando en 1909 una pequeña empresa extranjera que prestaba el servicio de alumbrado público con una máquina termoeléctrica, probablemente de motor diesel, alimentada con combustible líquido, y que además tenía una pequeña fábrica de hielo que operaba con su propia electricidad.

En 1893 comenzó a generar la primera planta en Santa Marta, de propiedad de un particular, también con una máquina termoeléctrica (probablemente un motor de gasolina o diesel), y también para CA. Así operó hasta 1909 cuando fue absorbida por la Compañía Colombiana de Electricidad.

Cali sólo tuvo su primera planta entrado el siglo XX: en 1910. Es interesante señalar que la población de Jericó, en Antioquia, montó su servicio en 1906 y que la pequeña villa de Málaga en Santander —por mencionar sólo dos de los muchos pueblos pequeños del país— lo hizo en 1911, muy poco después de Cali.

DE 1903 A 1920

Cuando terminó la Guerra de los Mil Días, en 1903, ya seis ciudades tenían plantas eléctricas. Sus capacidades eran:

PLANTAS ELECTRICAS EN 1903

Ciudad	Capacidad
Bogotá	610 kVA correspondientes a unos 500 kW
Medellín	250 kW
Bucaramanga	100 KVA aproximadamente
Cartagena	100 kW aproximadamente
Barranquilla	60 kVA aproximadamente
Santa Marta	20 kVA aproximadamente

Cabe observar que en ese tiempo era lo usual expresar las capacidades de generación en kilovoltamperios (kVA) de potencia aparente, más que en kilovatios (kW) de potencia efectiva. El factor de potencia, en general, podría estar alrededor de $0.80 = 80\%$. Así que para obtener los kW, aproximadamente, puede multiplicarse los kVA por 0.8.

Además, en ciudades más pequeñas se estaban montando las primeras plantas generadoras. Por ejemplo, en mayo de 1905 una compañía particular inauguró el servicio en Manizales, en muy pequeña escala. En 1916 el municipio montó su propia empresa, constituida por dos turbinas Pelton con sendos generadores de CA. En Ibagué se fundó el servicio en 1909; en Neiva en 1916; en Honda en 1910; en el Líbano en 1912; en Cúcuta hacia 1914 (con dos turbinas hidráulicas de 180 HP cada una); en Salazar de las Palmas en 1916; en Chinácota en 1914. Y en muchas otras poblaciones del país empezaba a alumbrar la luz eléctrica, por lo menos en las noches.

Pero sólo la empresa de Medellín ofrecía un servicio muy confiable y económico, demostraba un crecimiento fuerte en la demanda, y tenía capacidad para atenderlo. En 1904 agregó otro turboalternador de 50 kW, con lo cual subió a 300 kW su capacidad instalada. Entre 1911 y 1918 se instalaron tres nuevos alternadores, de 100 kW cada uno, al mismo tiempo que se retiraban las máquinas originales de CD de 25 kW cada una. Y como la quebrada de Santa Elena era cada vez menos capaz de garantizar la generación para una demanda creciente, en 1916 se dio al servicio la primera termoelectrónica, con un turbogenerador de vapor de 250 kW, a 3.600 rpm, alimentada con carbón de Amagá, y con capacidad de 200 kW en operación continua. La empresa quedaba con 700 kW de potencia nominal de generación instalada en máquinas.

En 1904 se reanudó, después de la Guerra de los Mil Días, el servicio eléctrico en la primera planta de Bucaramanga. Poco después, en 1910, la firma industrial Penagos Hermanos integrada por conocidos empresarios, fundidores y técnicos, montó otra planta para servicio público, junto a la cercana población de Floridablanca, con 200 kW. Se llamaba la planta de Florida, y fue sumamente útil para Santander en su proceso inicial de electrificación. Comenzó su servicio a la capital del departamento a través de una corta línea de transmisión de 2.500 voltios. En 1912 lo extendió a Girón y Floridablanca, y en 1913 a Lebrija. En 1916 hizo su primer ensanche a 400 kW. El municipio de Chinácota (Norte de Santander) montó su planta en 1914.

En Medellín la demanda creciente de energía para industrias llevó a la empresa local a montar en 1904 y en 1909, otros dos alternadores. Uno era de 50 kW, trifásico, y era movido por una turbina Pelton de 75 HP, eje horizontal, a 900 rpm. El otro era de 100 kW, bifásico, con turbina Pelton de 150 HP, eje horizontal, 900 rpm.

En Cúcuta el servicio lo creó la Compañía Unida Eléctrica del Norte, fundada en 1914. Ella construyó su planta hidroeléctrica en el río Salazar, cerca de la población de Salazar de las Palmas. Se construyó la bocatoma y la tubería de carga, de mil metros de longitud, y la casa de máquinas. Aquí se instalaron dos turbinas Pelton de eje horizontal. Cada una era de 180 HP y movía un alternador. El servicio se inauguró el 19 de junio de 1916 en Salazar de las Palmas. En los meses siguientes se conectó a la Villa del Rosario, Cúcuta, San Luis y a otras poblaciones.

También en Cúcuta, en el mismo año, la familia Duplat instaló una pequeña planta termoeléctrica para vender energía a algunas casas de esa ciudad.

En 1910 Cali tuvo su primer servicio de energía eléctrica para iluminar la ciudad. Fue establecido por la empresa Cali Electric Light and Power Company, propiedad de la familia Eder y algunos socios. Se producía con una turbina Pelton de 250 HP, accionada por las aguas del río Cali, a su entrada a la ciudad. Sólo tenía un pequeño alternador de 150 kW. Unos años después —pero antes de 1920— la empresa montó allí mismo otros dos turboalternadores. Quedaban así instaladas tres unidades: dos de 150 kVA y una de 300 kVA, con 600 kVA (unos 448 kW) de capacidad nominal. Pero la planta sólo garantizaba unos 400 kW efectivos al máximo, debido a las fluctuaciones en la disponibilidad de agua del río, cuyo caudal se usaba a filo de agua, sin regulación. La compañía prosperó durante 10 años, pero hacia 1920 tuvo que detener posteriores expansiones (que la demanda creciente exigía) debido a la falta de nuevos capitales.

Respecto a otras poblaciones del Valle y de la Costa, se inició por aquella época la intervención en Colombia de la Compañía Colombiana de Electricidad,

En el lapso de 1916 a 1919, otros 22 municipios pusieron sus propias plantas: Amagá (31 kW), Amalfi (75 kW), Angostura (25 kW), Anorí (37.5 kW), Bello (30 kW), Carolina (12 kW), Concepción (15 kW), Concordia (60 kW), Don Matías (21 kW), Ebéjico (37.5 kW), Frontino (37.5 kW), Marinilla (37.5 kW), Pueblo Rico (50 kW), Rionegro (50 kW), San Roque (50 kW), Santa Bárbara (37.5 kW), Santa Rosa de Osos (37.5 kW), Segovia (25 kW), Urrao (37.5 kW), Yarumal (50 kW), Valparaíso (30 kW) y Venecia (12.5 kW).

Algunas plantas antioqueñas, como la de Sonsón, fueron proyectadas en Nueva York por la oficina del ingeniero medellinense Luciano Restrepo, quien las adquirió allá y vino luego a instalarlas en estas poblaciones.

Con esto, y con uno que otro ensanche de plantas que eran de años anteriores, en 1919 los municipios antioqueños distintos de Medellín totalizaban (aritméticamente) 1.642.5 kW, dedicados casi del todo a alimentar 21.719 bombillas incandescentes en los 43 municipios (fuera de la capital). Puesto que todos ellos estaban situados en la quebrada y bien irrigada topografía antioqueña, sus pequeñas plantas eran todas hidráulicas, movidas con turbinas Pelton. Y ya habían adoptado definitivamente la CA, a 60 ciclos por segundo y a 110 voltios de tensión para el consumidor final. En este temprano despertar eléctrico de Antioquia tuvieron mucho que ver el ferrocarril de Antioquia, las empresas mineras auríferas, la rápida expansión cafetera y el espíritu cívico de los concejos municipales de ese departamento. En ese momento (ca. 1920) el sistema de Medellín ya tenía capacidad ampliada (en potencia) de 875 HP, o sea unos 690 kW. Mientras tanto Bogotá contaba con 3.635 kilovoltamperios, que correspondían a unos 3.000 kilovatios, o sea tres megavatios.

Otro departamento montañoso es el de Caldas, el cual en 1920 ya había visto llegar plantas hidráulicas a Manizales, Pereira, Armenia, Salamina, Riosucio, Aguadas, Pácora, Santa Rosa de Cabal, Chinchiná, Circasia, Anserma, Neira, Aranzazu y dos o tres lugares más.

En Bogotá la empresa de los Samper sostenía su éxito económico y veía crecer su clientela y la demanda de energía. Como esto mismo le exigía pensar en expandir su capacidad generadora, en 1919 se encargó un estudio para programar nuevos ensanches a la firma de ingenieros J. G. White de Nueva York. Este estudio era tanto más necesario cuanto que en 1914 el río Bogotá sufrió una drástica sequía que redujo a tres metros cúbicos por segundo el caudal. (Recuérdese que en 1900, cuando empezó a generar, el caudal era de 12 m³/seg.). Por ésta y por otras razones la empresa no hizo ningún ensanche entre 1913 y 1923, período en que su capacidad generadora nominal permaneció estancada en 3.635 kVA (más o menos 3.090 kW).

CUADRO 2**ENERGIA ELECTRICA EN ANTIOQUIA**

Fechas de inauguración de las primeras plantas de energía eléctrica con su respectiva capacidad, según municipios.

Municipios	Fechas de inauguración	Capacidad (kilovatios)
Medelln	Julio 7 de 1898	(...)
Barbosa	Julio de 1920	30 ²
Bello	1919	30
Caldas	Febrero 1o. de 1910	(...)
Copacabana	Julio 20 de 1912	12.5
Envigado	Julio 20 de 1912	(...)
Girardota	1911	7.5
Itagüi	1913	1.5
La Estrella ¹	Diciembre 8 de 1925	25
Sabaneta	(...)	(...)
Abejorral	1915	50
Abriaquí	(...)	(...)
Alejandro	1925	(...)
Amagá	1917	30
Amalfi	1918	(...)
Andes	Agosto 15 de 1912	30
Angelópolis	1930	(...)
Angostura	Julio de 1918	25
Anorí	1918	37.5
Antioquia	1913-1914	18
Anzá	Octubre 24 de 1939	15
Apartadó	(...)	(...)
Arboletes	(...)	(...)
Argelia	Septiembre 2 de 1939	31
Armenia	1928	60
Belmira	Marzo 1o. de 1929	(...)
Betania	Mayo 29 de 1929	50
Betulia	Marzo 15 de 1932	48
Bolívar	1915	30
Buritica	Junio 13 de 1938	25
Cáceres	1947	(...)
Caicedo	Julio 22 de 1940	25
Campamento	Julio 4 de 1939	(...)
Cañasgordas	Abril 13 de 1925	84
Caracolí	(...)	(...)
Caramanta	Noviembre 21 de 1921	30

Continúa página siguiente

Viene de la página anterior

Municipios	Fechas de inauguración	Capacidad (kilovatios)
Carmen de Viboral	1917	13
Carolina	1915	12
Caucasia	1949	(...)
Chigorodó	Agosto de 1950	(...)
Cisneros	Abril 10 de 1923	18
Cocomá	1925	10
Concepción	1917	10
Concordia	Julio 20 de 1918	60
Dabeiba	Octubre 26 de 1939	75
Don Matías	1916	(...)
Ebéjico	1919	37.5
Enterríos	Julio de 1927	(...)
Fredonia	Julio 23 de 1913	100
Frontino	Abril 20 de 1919	30
Giraldo	Julio 20 de 1943	37.5
Gómez Plata	1921	25
Granada ¹	Septiembre 30 de 1939	35
Guadalupe	(...)	(...)
Guarne	Junio de 1927	43
Guatapé	1926	(...)
Heliconia	Agosto 7 de 1924	(...)
Ituango	Noviembre 1o. de 1927	50
Jardín	Octubre 6 de 1913	30
Jericó	Abril 5 de 1906	30
La Ceja	Noviembre de 1916	37.5
La Magdalena	(...)	(...)
La Unión	Julio 17 de 1930	33
Liborina	1928	(...)
Maceo	1931	(...)
Marinilla	Diciembre 24 de 1918	(...)
Montebello	(...)	(...)
Murindó	(...)	(...)
Mutatá	(...)	(...)
Nariño	Marzo 20 de 1924	15
Necoclí	(...)	(...)
Olaya	Noviembre 1o. de 1941	12.5
Peñol	Julio 16 de 1923	22
Peque	Agosto 29 de 1937	15
Pueblorrico	1918	45
Puerto Berrio	(...)	(...)
Puerto Triunfo	(...)	(...)

Continúa página siguiente

Viene de la página anterior

Municipios	Fechas de inauguración	Capacidad (kilovatios)
Remedios	1916	100
Retiro	Febrero 3 de 1915	15
Rionegro	Marzo 10 de 1917	50
Sabanalarga	Enero 16 de 1939	25
Salgar	(...)	(...)
San Andrés	1929	37.5
San Carlos	Enero 3 de 1928	37.5
San Jerónimo	Julio 20 de 1925	44
San José	1954	30
San Luis	Diciembre 25 de 1932	12
San Pedro	Marzo 19 de 1927	13
San Pedro de Umbria	(...)	(...)
San Rafael	Agosto 7 de 1926	18
San Roque	Agosto 15 de 1917	50
San Vicente	Febrero 28 de 1928	18
Santa Bárbara	1918	37.5
Santa Rosa de Osos	1917	37.5
Santo Domingo	Agosto de 1916	15
Santuario	1915	2
Segovia ³	1917	25
Sonsón	Mayo 15 de 1914	100
Sopetrán	(...)	31
Támesis	Enero de 1914	17
Tarso	(...)	7.5
Titiribí	Julio 20 de 1910	(...)
Toledo	Diciembre 8 de 1938	15
Turbo	(...)	(...)
Urrao	Octubre 13 de 1918	37
Valdivia	(...)	(...)
Valparaiso	1919	30
Venecia	Septiembre de 1919	12.5
Yalí	1930	(...)
Yarumal	Enero 10. de 1914	50
Yolombó	1917	37.5
Zaragoza	1923	5.5

1 Antes tuvo una planta pequeña pero se desconoce la fecha exacta de su instalación.

2 Caballos de fuerza.

3 El 2 de junio de 1907 se inauguró una planta pequeña propiedad de la empresa minera Frontino Gold Mines, pero sólo prestaba servicios a esta empresa.

Fuente: Heriberto Zapata Cuencar, *Monografías de Antioquia* (un aporte de Cervecería Unión S. A.).

En Cundinamarca, exceptuando a Bogotá, sólo Girardot, Zipaquirá, Facatativá, Pacho, Tocaima y otras diez o doce poblaciones en las laderas cafeteras de la cordillera Oriental tenían plantas eléctricas. En su mayoría éstas eran de los municipios o del ferrocarril de Girardot, y todas eran muy pequeñas (de 100 kW o menos). El alumbrado se conoció en Facatativá gracias a un empresario dueño de un molino de trigo, quien hacia 1920 montó una planta eléctrica para mover sus máquinas y vendía electricidad a sus vecinos.

Al finalizar el segundo decenio del siglo XX, en Santander había empresas locales (unas municipales y otras particulares) en Bucaramanga, Girón, Floridablanca, Málaga, Concepción, Vélez, Socorro, Zapatoca, Charalá, Barbosa, Barrancabermeja, Chinácota, Rionegro, y otras. En el Valle del Cauca existían en Cali, Buenaventura, Dagua, Buga, Tuluá, Cartago, Sevilla y Caicedonia. La planta del Socorro fue instalada por un ciudadano español residente allí, quien constituyó la Compañía Eléctrica Hispano-Colombiana del Socorro, en 1911; trajo las máquinas de Nueva York y las montó para aprovechar una cascada de 100 metros de caída, situada a un kilómetro de la población.

En la Costa Atlántica tenían plantas (en su mayor parte térmicas y de propiedad privada): Cartagena, Barranquilla, Sincelejo, Magangué, Mompo, Montería, Corozal, Santa Marta, Ciénaga y otras. En cuanto a los departamentos del Huila, Tolima, Boyacá, Cauca y Nariño, en 1920 sólo algunas de las capitales y quizá una docena de poblaciones más conocían la luz eléctrica. Y en casi todas las localidades electrificadas del país, sus plantas trabajaban únicamente en horas de la noche, con mayor razón cuando eran plantas térmicas.

DE NUEVA YORK HACIA SONSON, 1913-1914

Sonsón es una población antioqueña que fundaron en 1800 unas familias de Rionegro que buscaban, hacia el sur, nuevas tierras para poblar y para vivir. En el mapa de Colombia es fácil localizarlo. Coincide casi con el punto medio del segmento de recta que une a Bogotá y Medellín, en la esquina sureste del mapa actual de Antioquia. Su gente fue siempre prolífica, trabajadora, católica y honesta. Muchísimos sonsonesños participaron en la colonización de Caldas, Risaralda, Quindío, el norte del Valle y las cordilleras del Tolima.

En 1905 el presidente de Colombia, general Rafael Reyes Prieto quien gobernó de 1904 a 1909, modificó la división política y administrativa del país. Subdividió los ocho departamentos que quedaban después de la separación de

Panamá (1903), creados por la Constitución de 1886, en otros más pequeños, y reunió partes de unos con partes de otros. De esta última forma apareció el primer departamento de Caldas, en ese año. Y en la misma reforma, Reyes creó el departamento de Sonsón. La capital era el municipio de ese nombre, y su jurisdicción abarcaba a Nariño, Abejorral, La Ceja y La Unión. El territorio del departamento iba por el oriente hasta el río Magdalena y por el occidente hasta el Cauca. Al sur lo limitaban los ríos La Miel, Samaná y Arma, cuyas aguas están separadas por la Cordillera Central que entra por allí al actual territorio de Antioquia. En este sitio se eleva el imponente páramo de Las Palomas, un poco más bajo que el nevado del Ruiz, que se ubica hacia el sur.

En medio de la trabazón de alturas, cañadas, precipicios, riscos y quebraduras que allí forma la cordillera, a 2.475 metros sobre el nivel del mar, se abre un hermoso valle glacial, o morrena, que fue tallado por un enorme helero en lejanas épocas geológicas. Este valle es muy visible desde el avión, cuando se va de Bogotá a Medellín. El cuenco del valle termina sobre el profundo cañón del río Arma que corre por una garganta abismal, dos mil metros más abajo del nivel de la morrena. Desde el páramo de Las Palomas, a lo largo del valle alpino (según la terminología de los geólogos franceses que primero lo reconocieron, como el señor Callon), desciende el río Sonsón. Y no lejos del sitio donde este río se despeña hacia el Arma, está la ciudad de Sonsón, en un bello y altísimo paraje de la cordillera Central.

En 1913 la cabecera municipal de Sonsón tenía quizá unos 15.000 habitantes. El censo nacional que el eminente presidente Rafael Reyes había ordenado en 1905 había encontrado 25.510 habitantes en todo el territorio del municipio, pero no especificó cuántos vivían en la cabecera urbana y cuántos en los campos. Posteriormente, bajo el gobierno de Carlos E. Restrepo, en 1912, se hizo otro censo nacional, pero nadie quería saber nada sobre lo que hubiera realizado la hoy admirable administración del "dictador" del Quinquenio.

En 1912 se censaron 29.346 personas en el municipio. Pero tampoco se especificó cuántos residían en el área urbana ni cuántos en la rural. La población municipal había crecido en esos siete años en un 15.03%, con una tasa acumulativa intercensal del 2.0213%; anual, según se deduce con un poco de aritmética sencilla. Y proyectando con esta tasa, se calcula que en 1913 habría casi exactamente 30.000 personas en el territorio municipal. Un sonsoneño culto y con excelente memoria, declaró a quien esto escribe que en esos años más o menos la mitad de la población vivía en los campos de nombre eufónico (Cirgua, Rioverde, El Alto de Sabana, Los Medios, Cirgüita, Llanadas, etc.), y la otra mitad en el casco urbano que en ese tiempo abarcaba unas 200 manzanas. Así pues, unas

CUADRO 3
ENERGIA ELECTRICA EN ANTIOQUIA, 1919
 Capacidad, número de lámparas, gastos y balance de las plantas eléctricas, según municipios.

Municipios	Capacidad en HP	Capacidad del generador en KW	Número de lámparas en servicio	Gastos de instalación (\$ oro)	Deuda del municipio (\$ oro)	Gastos mensuales (\$ oro)	Productos suales (\$ oro)	Balance (\$ oro)	Utilidad	Pérdida
Total departamento	2.392	2.363	37.905	463.978	320.987	7.617	17.714	10.203	116	
Medellín ¹	750	730	16.166	-	-	4.530	11.440	6.910	-	
Abejorral ²	50	50	807	13.000	-	80	200	120	-	
Amagá	40	31	300	10.000	8.000	40	97	57	-	
Amalfi	60	75	325	11.000	11.000	193	160	-	33	
Angostura	20	25	301	7.616	4.865	36	67	31	-	
Anorí	50	37	257	15.000	15.000	40	85	45	-	
Antioquia	18	18	438	12.000	1.400	40	60	20	-	
Bello	40	30	540	10.000	9.500	60	125	65	-	
Bolívar	40	30	494	8.635	-	90	170	80	-	
Caldas	45	37	608	10.000	2.000	52	150	98	-	
Carolina	9	12	247	6.500	2.000	40	32	-	8	
Concepción	15	15	249	4.000	4.000	30	40	10	-	
Concordia ³	72	60	527	28.875	30.000	50	132	82	-	
Copacabana	12	12	370	5.000	-	63	118	55	-	
Don Matías	21	21	245	8.300	6.000	40	61	21	-	
Ebéjico	50	37	294	16.000	20.000	50	90	40	-	
Enviado ⁴	14	25	495	5.000	-	100	211	111	-	
Fredonia	58	100	1.495	41.200	15.000	95	320	225	-	
Frontino	50	37	400	10.000	8.000	50	120	70	-	
Girardota ⁵	100	100	500	12.000	20.000	50	200	160	-	
Itagüí ⁵	7	5	120	3.000	-	15	30	15	-	
Jardín	45	30	423	9.600	-	93	150	57	-	
Jericó ⁵	60	90	1.500	-	-	200	400	200	-	
La Ceja	18	37	425	7.000	6.000	46	145	99	-	
La Estrella ⁵	25	25	168	-	-	42	80	38	-	

Continúa página siguiente

(Viene de la página anterior)

Municipios	Capacidad en HP	Capacidad del generador en KW	Número de lámparas en servicio	Gastos de instalación (\$ oro)	Deuda del municipio (\$ oro)	Gastos mensuales (\$ oro)	Productos mensuales (\$ oro)	Balance	Utilidad	Pérdida
Marinilla	60	37	500	16.297	19.606	120	150	30	-	-
Pueblorrico	20	50	276	15.000	15.000	25	80	55	-	-
Retiro	15	15	708	6.500	2.800	45	104	49	-	-
Rionegro	50	50	1.082	20.000	15.820	105	250	145	-	-
San Roque	50	50	361	10.000	10.000	40	100	60	-	-
Santa Bárbara	55	37	450	15.200	14.700	40	70	30	-	-
Santa Rosa de Osos	63	37	633	15.000	10.000	70	130	60	-	-
Santo Domingo	15	15	540	6.860	5.000	55	130	75	-	-
Santuario ⁶	3	2	75	-	-	6	-	-	-	-
Segovia ⁷	10	25	415	-	-	143	169	26	-	-
Sonsón	130	100	1.680	32.000	28.000	170	692	522	-	-
Sopetrán ⁸	15	31	647	10.000	1.000	80	200	120	-	-
Támesis ⁹	21	17	306	11.453	-	40	100	60	-	-
Tiiribí	14	12	128	3.500	-	40	70	30	-	-
Urao	50	37	394	12.000	18.000	40	120	80	-	-
Valparaiso	30	30	269	-	-	50	80	30	-	-
Venecia	10	12	269	10.000	10.500	45	65	20	-	-
Yarumal ¹⁰	37	100	1.050	18.000	-	220	400	180	-	-
Yolombó	75	37	428	8.442	7.796	168	93	-	-	75

1. El costo inicial de la planta de Medellín fue de \$250.000,00, pero posteriormente se hicieron ampliaciones y reformas cuyo valor es difícil precisar "tanto por las fluctuaciones del cambio entonces, como porque la empresa era de propiedad particular". El municipio adquirió en 1918 la planta por \$620.000 oro.

2. La planta de Abejorral es empresa particular, en la cual posee el municipio 20 acciones.

3. En el valor de la planta de Concordia está incluido el de una trilladora anexa a ella.

4. La planta de Envigado es empresa particular y el municipio es accionista con 100 de las 500 acciones en que está dividida la empresa.

5. Las plantas de Girardota, Itagüí, Jericó y La Estrella son empresas particulares.

6. La planta de Santuario fue donada al municipio y a la Iglesia por don Jesús Zuluaga.

7. La Personería del municipio de Segovia no suministró dato alguno del valor de la planta, ni de la deuda correspondiente del municipio.

8. El municipio de Sopetrán posee 150 acciones de las 500 de que está constituida la sociedad empresarial de la planta.

9. La planta de Támesis es empresa particular, en la cual posee el municipio algunas acciones por valor de \$300,00.

10. El municipio de Yarumal es dueño de la cuarta parte de la empresa de la planta y sólo debe \$600,00 por servicio de alumbrado público.

Nota: La casilla utilidad es una partida que induce a error porque en ella no se incluye generalmente el valor del alumbrado público.

Fuente: Dirección Departamental de Estadística, *Boletín de Estadística*.

15.000 personas habitaban el casco de la población. Apenas diez años atrás, en 1903, había terminado la atroz contienda fratricida de los Mil Días. A sus batallas sangrientas había mandado el pueblo sonsoneño muchos de sus hombres. Pero, felizmente, por su territorio no pasaron los ejércitos contendientes. En realidad todo el departamento de Antioquia se salvó de las acciones armadas de esa guerra. Este hecho afortunado, unido a la laboriosidad tenaz de su gente y al cultivo del café desde el decenio de 1870, hacía que aquel municipio tuviera una situación económica relativamente favorable a comienzos del siglo XX, a pesar de la pobreza general de toda Colombia. Precisamente en 1905, cuando subió Reyes al poder y encontró un fisco en ruinas y un papel moneda sin ningún valor, se dirigió a don Lorenzo Jaramillo Londoño y a don Alejandro Angel, dos acaudalados ciudadanos nacidos y vecinos de Sonsón, para que le prestaran a la Nación los recursos para reconstruir el país. De baúles y alacenas sonsoneñas salieron las morrocotas de oro y las moneditas amarillas brillantes de una libra esterlina, rumbo a Bogotá, por el viejo camino que trasmontaba el páramo y bajaba a Honda para subir luego a la capital.

Sonsón era un municipio relativamente próspero. Y sus pobladores sabían que en Medellín (que era su paradigma cívico) la energía eléctrica iluminaba desde 1897. Por eso se reunieron, una fría noche de 1913, los cinco miembros del concejo municipal con el alcalde y el tesorero, y decidieron instalar la energía eléctrica, aprovechando la caída del río Sonsón sobre el cañón del Arma. Fue una decisión intuitiva, sin asesoría técnica ni financiera, dictada por el civismo de aquellos hombres que no tenían mucha cultura pero eran pragmáticos, certeros y muy progresistas.

Don Alejandro Angel Londoño había hecho una gran fortuna con la arriería, con la minería de oro y con el café. Con don Lorenzo Jaramillo y con don "Pepe" Sierra eran los tres hombres más acaudalados de Colombia en ese momento. Don Alejandro era el más grande exportador de café y tenía con sus hijos una oficina en Nueva York. Naturalmente, a él le escribió el alcalde de Sonsón para que ayudara a comprar en Nueva York una planta eléctrica para su poblado antioqueño. Entre las dos localidades una carta demoraba unos dos o tres meses, de ida o de venida. El cable submarino a Estados Unidos ya existía pero sólo servía a Cartagena y a Buenaventura, a un costo altísimo, y frecuentemente estaba dañado.

En Nueva York había hecho estudios como ingeniero civil el joven medellinense Luciano Restrepo. Allí había establecido su oficina de consultorías profesionales y de representaciones comerciales. Y lógicamente a él se dirigió don Alejandro Angel con el fin de pedirle asesoría para la planta eléctrica que

necesitaba Sonsón. El ingeniero Restrepo emprendió la tarea. Por un lado pidió datos al alcalde de la lejana población montañera: cuántos habitantes tenía; cuánta agua pasaba por el río; qué máquinas había en el pueblo; cuánto costaban las velas esteáricas que usaban para iluminarse; cuántos centavos gastaban las familias en velas y en kerosene; a cuánto ascendía la renta del erario municipal; quién haría el contrato de compra; quién iba a montar la planta en ese risco andino, etcétera.

El ingeniero Restrepo inició pesquisas técnicas en la gran urbe norteamericana. Confirmó que la polémica entre los partidarios de la corriente directa (encabezados por Edison, nadie menos) y los de la corriente alterna, la habían ganado los últimos con los concluyentes argumentos técnicos y prácticos de Westinghouse, de Tesla y de Steinmetz, en el gran país del norte. Comprobó que 60 ciclos por segundo era la frecuencia que estaban adoptando todos los sistemas de corriente alterna, y que iban quedando solamente los sistemas de una fase y los de tres fases. Encontró que los trifásicos se justificaban solamente cuando había muchos motores que alimentar, porque los equipos eléctricos en tres fases eran más costosos. Dos fases y cuatro fases ya casi nadie usaba. Y constató que el voltaje domiciliario que se imponía en Estados Unidos era de 110 voltios. Además, don Luciano Restrepo pidió cotizaciones para todos los equipos y materiales, desde los tubos de presión para la caída del agua hasta los bombillos de 25 y de 50 vatios que darían la luz. Solamente omitió lo que aún la tecnología del mundo no había producido: estufas eléctricas, neveras, radioreceptores, hornos de arco para las dos fundiciones que operaban en Sonsón en esos años y que fabricaban despulpadoras y herramientas para los cafetales.

En Sonsón, el alcalde y el tesorero llamaron a Medellín al técnico Daniel Salazar, que había montado ya algunas unidades hidroeléctricas en la central de Santa Elena, bajo la dirección de los ingenieros José María Escobar y Gregorio Pérez (ambos graduados en Estados Unidos). Salazar midió calles; contó casas; buscó el censo más reciente; aforó el río Sonsón (con métodos rudimentarios porque no había otros); calculó conductores, postes, aisladores, bombillos, bujías, vatios y kilovatios; y, en fin, hizo un plano a mano alzada de la red urbana de cables que se quería tender. Y todo se envió al ingeniero Restrepo en Nueva York. Además, el municipio acordó con don Alejandro Angel que éste pagaría en el exterior con dólares, y que se le rembolsaría en Colombia en pesos, con la comisión del caso.

Don Daniel Salazar comunicó a Nueva York que el río en verano llevaba algo así como un metro cúbico por segundo y que en su caída al cañón del Arma había paredones casi verticales de centenares de metros de altura. El ingeniero

Restrepo hizo sus cálculos técnicos y económicos. Diseñó la configuración de todo el sistema de generación, de distribución y de consumo. Y compró todo el material eléctrico a la General Electric, en Schenectady, porque ésa era la marca que Medellín venía usando desde su iniciación eléctrica, hacía 16 años, tal como lo testificaba con acierto don Daniel Salazar.

¿Qué compró el ingeniero Restrepo en Estados Unidos? Más o menos lo siguiente:

- Una compuerta para la bocatoma en el río Sonsón.
- Tubería (era de unas cuatro pulgadas de diámetro) en acero para conducir el agua en su caída hacia la “casa de fuerza” (así se decía entonces), en un recorrido en zig-zag, de unos 1.500 metros de tubo.
- Una turbina tipo Pelton, de la fábrica Pelton Water Wheel Works, de dos chorros, o dos coronas, con un cojinete central y dos cojinetes a los lados, con 200 HP. Es posible que su velocidad de régimen para el diseño fuera de 900 rpm porque para esas potencias, para esos caudales y esas alturas era lo indicado y lo usado. Además, así eran las turbinas de Santa Elena en Medellín, como constaba a don Daniel Salazar. El eje de la turbina era horizontal. Incluía el regulador de flujo, manual, y las boquillas de ambas coronas; y el eje se acoplaba coaxial y directamente con el del alternador.
- Un alternador General Electric, monofásico, de campo magnético inductor en el estator, e inducido en el rotor, para 100 kilovatios, a 900 rpm y generación a 2.300 voltios, a 60 ciclos por segundo.
- Un generador de corriente directa, o excitador, para alimentar el campo magnético del estator, montado sobre el mismo eje del alternador y de la turbina.
- Un tablero de *switches* e instrumentos de control. Tenía voltímetros, amperímetros, vatímetro, indicador de frecuencia tipo Frahm, interruptor maestro, y *relais* de protección para sobrecorrientes y sobrevoltajes.
- El cableado para conducir la corriente alterna hasta la población (a unos 2.000 metros de distancia recta por cables, o poco más), a 2.300 voltios de tensión.
- Un pequeño puesto de recepción y ramificación de circuitos en la población, con un tablero y un transformador para reducir de 2.300 V a 110 V.
- El cableado de 110 V para repartir a la población. Podía distribuirse con este bajo voltaje, sin pérdidas grandes, por varias razones: a) del transformador distribuidor a las casas más distantes en aquel tiempo solamente había unas cinco u ocho cuadras; b) el servicio era solamente para alum-

brado, de 6 p.m. a 12 p.m.; c) los bombillos usuales entonces eran de pocos vatios (25 ó 50 W); d) por lo anterior, los amperajes en todos los circuitos eran bajos; e) haber hecho una transmisión con los transformadores reductores en las calles (que era la alternativa técnica) hubiera sido bastante más costoso.

- Pararrayos para la casa de máquinas, para la conducción a 2.300 V y para la red de distribución urbana.
- Seccionadores y *switches* manuales para la casa de fuerza y para la red urbana de distribución.
- Accesorios de conductores; aisladores para líneas, para redes y para conductores; y otros materiales menudos.
- Bombillos, portabombillos, cable dúplex, soldadura, cinta de caucho aislante y material para instalaciones interiores de 110 voltios. En ese tiempo esos materiales no se encontraban en el comercio local, ni siquiera en Medellín.

Todo lo pagó don Alejandro Angel por cuenta del municipio de Sonsón, y lo supervisó y lo comprobó Luciano Restrepo, quien lo aseguró y lo entregó en los muelles de Nueva York y lo hizo embarcar para Puerto Colombia. Al cabo de uno o dos meses de espera en bodegas y navegación, el cargamento llegó al muelle de ese puerto. Era el muelle largo, mar adentro, que hizo el ingeniero Francisco Javier Cisneros en 1888. Allí desembarcaron las ocho o diez toneladas de equipo. Es seguro que la caja más pesada era la que contenía el estator del alternador en hierro fundido (gravedad específica: 7.8). Debía pesar algo más de 300 kilos, con empaque. Otra pieza muy pesada debía ser la del par de coronas de la Pelton, que por razones técnicas no podían separarse una de otra, so riesgo de graves problemas mecánicos en operación, como pudieran ser vibraciones y otros trastornos.

En Puerto Colombia el equipo se cargó en el ferrocarril particular que lo llevó a Barranquilla. Y aquí se trasbordó a un buque de carga en el Magdalena. Quince o veinte días debió demorar para subir hasta Puerto Berrió, en donde el cargamento pasó al ferrocarril de Antioquia. Por la carrilera fue hasta donde llegaba la línea de ese lado de la Quebra de Santo Domingo: la estación Cisneros, a 109 km de Puerto Berrió. Aquí las cajas se cargaron en mulas y en bueyes. Para las más pesadas, como el estator del alternador y el rotor de la Pelton, se armaba una "turega": uno o dos bueyes adelante y uno o dos bueyes atrás, debidamente enyuntados en pareja adelante y pareja atrás. Una gruesa viga al lado derecho de los bueyes de adelante y de los de atrás; y otra viga igual

al lado izquierdo. Entre ambas vigas se tendía una plataforma de gruesas tablas, muy bien amarradas; y en la plataforma iba el fardo o la caja de 300 ó 400 kilos. Para cargas más pesadas se ponían cuatro animales adelante y cuatro atrás. Y en todos los casos estaba en juego la fuerza hercúlea de los arrieros.

De la estación Cisneros, la recua subió por una dura cuesta hasta el filo de cordillera que lleva el nombre de un pueblo cercano: la Quebra de Santo Domingo. Después bajó por el costado oeste del risco hacia el valle del río Porce. Allí estaba la estación Botero, en donde comenzaba en ese momento (fines de 1913) la carrilera que se estaba construyendo rápidamente para llegar hasta Medellín. Así pues, la carga volvió a viajar en vagones ferroviarios desde la estación Botero hasta la estación Bello, que era la más cercana a la Capital de la Montaña y que ya estaba en servicio. De aquí, a lomos de mulas y bueyes, en turegas o sobre enjalmas, todo llegó a Medellín, donde continuó a Sonsón en doce días más de marcha heroica por cuestas, cañadas y cornisas inverosímiles en ese quebrado territorio. A fines de 1913 todo llegó al sitio de ubicación. Las pesadas máquinas bajaron por la pendiente vertiginosa que descende el río Sonsón en su caída hacia el Arma, y llegaron al sitio de La Cascada, donde se localizó la casa de fuerza.

Duramente trabajaron don Daniel Salazar y sus aprendices y ayudantes en las obras: bocatoma en el río Sonsón, tubería de presión, casa de fuerza, montaje de máquinas, línea de 2.300 voltios, red en el pueblo, instalaciones domésticas. El municipio nombró unos pocos empleados para administrar el servicio. El 15 de mayo de 1914 se inauguró el alumbrado de calles y casas en Sonsón, cuyos pobladores comenzaron a palpar así que ya había entrado el siglo XX.

Esa primera planta operó hasta 1940, es decir unos 25 años. Entonces fue remplazada por una mucho más potente, de 500 kW, más abajo en la caída del Sonsón al Arma. Casi 20 años después, en 1963, se construyó en ese terreno una gran planta de 20.000 kW, y en 1965 llegó a Sonsón una línea de transmisión de 44 kV que llevaba 20.000 kW (20 MW, como ya se acostumbraba decir) desde el sistema de Empresas Públicas de Medellín.

Esta historia no se había escrito hasta ahora. Quien aquí la consigna con amor y admiración, la ha reconstruido uniendo evidencias, datos, hechos e informaciones diversas. Los más útiles han sido:

1. Las narraciones del señor Cristóbal Ramos Jaramillo, abuelo del autor. Nació en Sonsón en 1885 y fue tesorero de ese municipio desde 1905 hasta 1935, durante 30 años. El participó en la decisión de comprar la planta; hizo todos los pagos y los giros que ello ocasionó, en 1913, 1914 y 1915.

- Luego, hasta 1935 atendió los gastos de operación y recibió los pagos mensuales del público por el servicio, que para esa época fue de buena calidad. Don Cristóbal Ramos consideraba, además, que la planta eléctrica fue un buen negocio para el erario de Sonsón.
2. Los datos que trae el *Libro Azul de Colombia* sobre el ingeniero Luciano Restrepo y sobre el técnico (o ingeniero) Daniel Salazar.
 3. Lo que el autor conoce sobre la historia y sobre la geografía de Sonsón, su pueblo natal; lo que conoce sobre tecnología y ciencia eléctrica; lo que ha leído sobre historia de esa tecnología; y lo que ha escrito él mismo sobre la historia económica del departamento y sobre el ferrocarril de Antioquia.

LA ELECTRICIDAD EN 1917

En 1916 el gobierno del presidente José Vicente Concha encargó al ingeniero bogotano Jorge Posada Callejas (hijo del eminente médico y naturalista antioqueño Andrés Posada Arango) la preparación de un gran libro informativo sobre Colombia y sobre sus departamentos, para distribuirlo en el exterior como elemento de promoción del país en el mundo. La obra se publicó en 1918, en edición bilingüe en español e inglés, al final del gobierno del doctor Concha, con el nombre de *Libro Azul de Colombia* y fue distribuido a embajadas y consulados de la república en el exterior. El libro contiene, entre muchas otras informaciones, varias referencias al estado de electrificación (se hablaba de "iluminación eléctrica"), referencias que dan una visión interesante de su estado en ese momento. Esa incipiente electrificación nos parece hoy muy rudimentaria y modesta pero en su tiempo era sumamente importante como señal de progreso y promesa de desarrollo.

El *Libro Azul de Colombia* (que abreviaremos como *LAC*) dedica una página a la Compañía de Energía de Bogotá, que en ese momento era la única que atendía a la capital colombiana. Dejando de lado los datos financieros y administrativos, recogemos la información técnica y operativa que allí se da. La capacidad de generación (en El Charquito) era de 3.635 kilovatios, distribuidos así: tres grupos (hoy decimos unidades) hidroeléctricos de 305 kW cada uno, un grupo hidroeléctrico de 810 kW y otro más de 1.910 kW. Todos eran de CA, trifásicos. Generaban a 6.700 V, que en la subestación de la planta se elevaban a 20.000 V para enviarlos por la línea de transmisión de 26 km a Bogotá. En la subestación de llegada en Bogotá se rebajaba la tensión a 2.600 V para conducirla a las trece subestaciones terminales de distribución, en donde se transfor-

maba a 260 V entre fases (se decía entonces “tensión compuesta”). La red de distribución en la ciudad totalizaba en ese momento 76 kilómetros de líneas, antes de los transformadores de reducción al voltaje terminal que era de 150 voltios en las instalaciones domiciliarias.

El LAC se refiere, al tratar sobre Cundinamarca, a la empresa Pedro A. López y Cía., que tenía su casa principal en Bogotá, y sucursales en Honda, Medellín y Girardot. Otras fuentes informan que esta empresa montó las plantas para servicio eléctrico en Honda (1910), Mariquita (1911) y El Líbano (1912). Dos fotografías del LAC muestran una de estas plantas. No dice cuál. Presumiblemente se trataba de la de Honda. Dicha planta era, a todas luces, movida por agua. Consistía de una turbina Pelton de eje horizontal, con su válvula y su boquilla (no visible en la foto). La parte visible de la carcaza de la turbina sugiere que el diámetro del rodete era de 100 a 120 cm de diámetro, y que la anchura de cangilones sería de unos 20 a 30 centímetros. Esto da a entender que la potencia de la Pelton era de algunos centenares de kilovatios (¿100 ó 200 kW?). Ambos lados del eje de la turbina tienen poleas lisas de hierro, unidas con correas de transmisión, de cuero, a las poleas motrices (con eje paralelo al de la turbina, a unos dos o tres m de distancia) de dos alternadores idénticos. Los ejes de los dos alternadores están geoméricamente alineados. Cada alternador muestra su generador excitador (que entonces era indispensable), más pequeño que el rotor del alternador. Hay un tablero de control y de instrumentos, con *switches* dobles (uno para cada alternador). El tamaño aparente que muestra la fotografía para los alternadores sugiere que éstos podían ser de 100 a 300 kW cada uno. Todo ello aparece instalado en un galpón de algo así como cinco por cuatro metros.

En contraste con la “gran” empresa eléctrica de Bogotá, el LAC describe en otra parte la pequeña central que daba electricidad a la población de Pacho en Cundinamarca, establecida por la sociedad Franco y Schmedling. Los fundadores y dueños de la sociedad y de la planta eran el médico Enrique Franco Pulido y el ingeniero electricista noruego Karl Schmedling, quien la instaló en 1914. En una fotografía se muestra una cascada de agua situada a un kilómetro de Pacho, cerca de donde funcionó la muy vieja ferrería de esa población. Este salto de agua se aprovechaba para generar en la pequeña central “una fuerza de 60 caballos”, con una altura de caída de ocho metros; y se advierte que allí podría aprovecharse hasta 30 metros de caída de la misma cascada. La planta era accionada por una turbina del tipo Pelton que se ve en otra foto, con su válvula y su regulador de admisión; aquélla mueve, mediante correas de transmisión, un pequeño generador de eje horizontal, paralelo al de la turbina, de

unos 40 a 50 kilovatios. No se dice explícitamente, pero es casi seguro que se trataba de CA y —en una potencia tan pequeña, en donde se usaba solamente para alumbrado incandescente— muy probablemente un alternador monofásico. El *LAC* muestra también una fábrica de pólvora existente vecina a Pacho y que contaba con su “luz eléctrica instalada por él mismo [el dueño]... que es un gran mecánico”. Debía ser también un pequeño generador operado con agua, de muy pocos kilovatios.

El *LAC* trata sobre la electricidad en los dos Santanderes con mayor amplitud que en los demás departamentos. En ese momento, desde la reforma constitucional de 1910, eran catorce los departamentos de Colombia: Huila, Tolima, Cundinamarca, Boyacá (entonces comprendía a Casanare de hoy), Santander (del Sur), Norte de Santander, Magdalena (que incluía a Cesar de hoy y a parte de La Guajira actual), Atlántico, Bolívar (que englobaba a Sucre y a Córdoba de hoy), Antioquia, Caldas (que contenía a Risaralda y a Quindío actuales), Valle, Cauca y Nariño. El libro dice de Santander: “Se encuentran por dondequiera abundantes caídas de agua, capaces de producir la energía para mover toda clase de maquinaria. Hay en muchos municipios instalaciones eléctricas generadoras de luz y de fuerza motriz económica para sus instalaciones. Pronto quedarán establecidas nuevas plantas”.

El libro, al tratar sobre Pamplona, destaca la empresa Compañía de Alumbrado Eléctrico de Pamplona y su planta hidroeléctrica inaugurada en 1910. Era movida por “una rueda Pelton quintupla” (probablemente de cinco rodetes de cangilones), con “una caída efectiva de 31 metros y 75 caballos de fuerza” (si eran HP norteamericanos o ingleses, eran unos 55.5 kW). Generaba con un alternador bifásico (todavía las dos fases en CA se usaban; hoy no hay) de 30 kW a 2.200 V; y con un generador de CD (que aún se usaba) de cuatro kW y 125 voltios. La distribución se hacía desde la subestación de la central, pues ésta distaba 1.5 kilómetros de la ciudad. Una pequeña fotografía muestra la cascada, la pequeña tubería de carga y la casa de máquinas construida en un talud de muy fuerte pendiente.

En Cúcuta ya había dos empresas “de alumbrado eléctrico” (las cuales ya mencionamos atrás). Una de ellas se proponía llevar energía a otros catorce municipios del Norte de Santander. Se trataba de la Compañía Eléctrica del Norte, que generaba en una planta con dos alternadores cerca de Salazar de las Palmas; llevaba la energía a Cúcuta por una línea de 20.000 voltios; y se preparaba a conducirla a Gramalote, Arboledas, Sardinata, Cucutilla, Córdoba, San Luis, El Rosario, etcétera.

CUADRO 4 FECHAS DE INICIACION DEL SERVICIO ELECTRICO EN ALGUNAS CIUDADES DE COLOMBIA

Ciudad	Año	Empresa
Panamá	1890	Cía. de Luz Eléctrica de Panamá
Bogotá	1890	(1o. de enero) The Bogotá Electric Light Co.
	1900	Cía. de Energía Eléctrica de Bogotá
Bucaramanga	1891	Julio Jones Benítez y su primo Reinaldo Goelkel Jones en Chitota
	1910	Penagos Hermanos en Floridablanca
Medellín	1897	Empresa mixta: oficial y particulares
Cartagena	1891 ó 1893	Empresa del Departamento de Bolívar
Barranquilla	1892	
Sonsón (Antioquia)	1909	Municipal
Manizales	1905 (9 mayo)	Una compañía particular: "Crédito Antioqueño de Manizales"
Pereira	1914	Hidráulica en la hacienda quindiana del Sr. Luis Jaramillo Walker
Cali	1910	Empresa de las familias Eder y Lloreda "Cali Electric Light Power"
		Un empresario particular
Santa Marta	1893	
Sincelejo		
Palmira	1913	
Armenia	1916	Hernando Villa y Laserna y Cía.
Salamina, Riosucio, Aguadas, Pácora, Santa Rosa de Cabal, Chinchiná, Circasia, Anserma, Neira y Aranzazu	Entre 1905 y 1920	
Honda	1910	Pedro A. López y Cía.
Mariquita	1911	Pedro A. López y Cía.
Libano	1912	Pedro A. López y Cía.
Pacho (Cundinamarca)	Pulido y Schmedling	
Buenaventura, Dagua, Buga, Tuluá, Sevilla y Caicedonia	Entre 1910 y 1920	
Málaga	1911	Planta hidráulica
Girón, Floridablanca, Convención, Vélez, Socorro, San Gil, Zapatocha, Charalá, Barbosa, Barrancabermeja (solo la refinería) Chinácota, Rionegro, Socorro	Entre 1905 y 1920	
Pamplona	1910	Cía. de Alumbrado Eléctrico de Pamplona
Cúcuta	1916 (13 oct.)	Cía. Unida Eléctrica del Norte
Chiquinquirá	Después de 1918	
Popayán	1917	Empresario Antonio Olano
Neiva	1916	Planta térmica de Climaco Mejía
Salazar de las Palmas	1916 (19 junio)	

Continúa página siguiente

(Viene de la página anterior)

Ciudad	Año	Empresa
Villa del Rosario	1916 (1o. oct.)	
San Luis (N. de Santander)	1916 (24 dic.)	Cía. Unida Eléctrica del Norte. Hidroeléctrica
Gramalote	1920 (12 ago.)	Cía. Unida Eléctrica del Norte. Hidroeléctrica
Santiago (N. de Santander)	1918 (20 julio)	Cía. Unida Eléctrica del Norte. Hidroeléctrica
San Cayetano, El Zulia, Comejo, La Laguna	Sept. 1921	Cía. Unida Eléctrica del Norte. Hidroeléctrica
Lourdes	1923 (7 abril)	Cía. Unida Eléctrica del Norte. Hidroeléctrica
Concepción, Sardinata, Cerrito, El Escobal	1925 o poco antes	Cía. Unida Eléctrica del Norte. Hidroeléctrica
Chinácota	1914 (7 ago.)	
Toledo y Labateca	1932 (1o. feb.)	
Ocaña	1920 (21 mar.)	Cía. de Alumbrado Eléctrico de Ocaña. Hidroeléctrica
Sogamoso	Entre 1918 y 1924	
Tunja	Alrededor de 1920 ó 1921	
Cartago	1918	Traída de Pereira Empresa particular local
Facatativá	Hacia 1920-1923	Cía. de Luz y Molino Moderno Térmica
Ibagué	Hacia 1918 ó 1920	
Ibagué	1909	Hernando Villa y Laserna y Cía. Hidráulica
El Espinal	1934	Hernando Villa y Laserna y Cía. Térmica
Zipaquirá	1911	Franco y Jiménez Hermanos. Térmica
Girardot	1913	Hernando Villa. Térmica
Agua de Dios	1914	Hernando Villa. Térmica.
Tocaima	1917	Hernando Villa. Térmica.
Montería	Poco antes de 1925	Empresa privada. Térmica.

Fuente: René de la Pedraja Toman, *Historia de la energía en Colombia*.
Jorge Posada, *Libro Azul de Colombia*.

Se recuerda en el LAC que Bucaramanga ha tenido servicio de alumbrado público desde 1891. Y se anuncian algunas industrias que ya operaban en 1917 con energía eléctrica, como el taller “mecánico y galvánico [del] excelente mecánico don Alfredo Jones..., movido por fuerza eléctrica”. Se presentan los Talleres de Mecánica y Fundición de Penagos Hermanos (hijos de inmigrantes españoles), a quienes alude como “ingenieros mecánicos y electricistas [y] propietarios de empresas de energía eléctrica en Florida [blanca], Girón, Lebrija y Bucaramanga”. Allí esta empresa ofrece que “se encargan del pedido y mon-

tura (hoy diríamos montaje) de toda clase de artefactos agrícolas, industriales y para *centrales hidroeléctricas, en lo que tienen más de 25 años de práctica*". (Subrayado del autor). Varias fotografías dan una clara idea de la magnitud, sorprendente para esa época, de los talleres de los Penagos. Una de ellas muestra un generador (o quizá un motor) eléctrico, como de 1.0 ó 1.2 metros de diámetro, en construcción o en reparación.

También en la parte sobre Santander, en un paraje rural suburbano, próximo a Floridablanca, se muestra la Cervecería La Esperanza del señor J. A. Claussen, "provista de maquinaria para hielo, movida por rueda Pelton de 20 caballos de fuerza". Para un conoedor, esto significaba que la planta poseía una caída de agua, una turbina Pelton acoplada a un generador (que en este caso pudo haber sido de CD), motores eléctricos, compresores de amoníaco accionados por los motores, y bombas o motobombas para agua y para salmuera, accionadas por electricidad.

Una fotografía muestra que en la fábrica de cigarros y cigarrillos La Habanera de los hermanos Villamizar, en Bucaramanga, ya se usaban numerosos motores eléctricos.

En Santander se habla de la Compañía Harinera de Santander, con un molino de harina de trigo movido por "motor hidráulico Pelton", y situado cerca a las poblaciones de Matanzas y Surata. La empresa operaba pues con energía hidroeléctrica y se informa en el LAC que "instalará próximamente alumbrado eléctrico" en las dos poblaciones vecinas mencionadas, porque su instalación hidráulica podía "duplicarse" [en potencia] con muy poco aumento de maquinaria.

Al hablar de Zapatoa, también en el departamento de Santander, el LAC trata de la planta eléctrica de esa población, establecida por su dueño, el comerciante Clímaco Gómez. Una foto muestra, en una pieza de una casa pequeña, un generador con un estator de cuatro polos (luego era monofásico o bifásico), movido por una correa de transmisión cuyo propulsor no se ve. Probablemente era una turbina hidráulica, porque para ese pequeño generador era imposible instalar una caldera y una máquina de vapor. Puede también que tuviera un motor de gasolina o diesel. La foto muestra una maraña de alambres (puestos en desorden y peligrosos), unos rudimentarios instrumentos de medida, y algo que parece ser un interruptor general de dos polos y doble tiro para el sistema de alumbrado que servía, puesto en una pared, para operar a mano. El diámetro externo del estator se aprecia como de 90 cm a un metro. Su potencia era quizá de 50 a 80 kW. La foto muestra lo que parece un rectificador, que tal vez era el que suministraba la CD necesaria para excitar el campo magnético inductor, colocado en los polos del estator.

Hay un anuncio de la planta eléctrica de la población, entonces pequeñísima, de Convención, también en Santander. Se trata, según la fotografía acompañante, de un pequeño alternador con eje horizontal de donde salen cinco cables. Es probable que tres de ellos fueran las tres fases de la CA que producía; y otros dos fueran alimentadores de la CD que era necesaria para activar el campo magnético estacionario del estator. No se muestra la fuente de potencia mecánica, pero dado lo montañoso del terreno de esa población, muy probablemente debía ser una turbina Pelton pequeña, con eje horizontal. Aparentemente la potencia era de 50 kW. La población de Concepción también tenía, pues, su electricidad generada localmente.

El LAC menciona plantas eléctricas para el alumbrado en San Gil, Málaga, Socorro y otras poblaciones santandereanas, pero no da más detalles ni muestra fotografías. Informa sobre la planta eléctrica en Chinácota, que ya había sido proyectada y comprada en Nueva York por la oficina Engineering and Exporting Company, del ingeniero antioqueño Luciano Restrepo, establecido en esa ciudad. Sobre la planta de Málaga se consigna que la sociedad correspondiente fue constituida en 1907 por 33 socios y que el alumbrado eléctrico se inauguró en marzo de 1911. Una foto externa de la casa donde funcionaba, muestra la pequeña tubería de presión que llevaba el agua a la Pelton.

Es curioso que el LAC no hable de la electricidad en el departamento de Antioquia, que era donde más municipios ya tenían este servicio. Solamente de Medellín dice que "tiene buen alumbrado público, suministrado por una compañía privilegiada, empresa que pasará al municipio y al departamento dentro de algunos años"; y agregaba que "[la red de tranvías se] establecerá próximamente, porque el municipio contará con la energía eléctrica necesaria, [porque se] aprovechará una caída de agua [de la quebrada de Piedras Blancas] que va a producir más de 1.000 caballos [o sea 746 kilovatios]".

En la época en que se escribió el *Libro Azul*, solamente cuatro poblaciones tolimenses disfrutaban de servicio eléctrico. Eran Honda, Mariquita, Líbano e Ibagué, tal como lo hemos indicado antes. Pero el libro no alude sino a Honda e Ibagué en sus páginas, y no menciona sus servicios de alumbrado. En el caso específico de Ibagué existía la Compañía Eléctrica de Ibagué, de los señores Laserna y Villa (que habían establecido el alumbrado en esa ciudad en 1909). En 1920 su planta sobre el río Combeima tenía dos generadores de CA: uno de 150 kW y otro de 25 kW, aun cuando en regular estado técnico. Simultáneamente el municipio comenzaba a montar otra pequeña planta competidora.

De Barranquilla, el *Libro Azul* dice que “[cuenta con] energía eléctrica para alumbrado público y a domicilio y para fuerza motriz de fábricas, y para todos los usos industriales y domésticos”. En esos años la ciudad podía tener una demanda máxima de unos 300 a 400 kW, según estima el autor de este trabajo, considerando las industrias que ya tenía la ciudad y el hecho de que apenas albergaba unos 10.000 habitantes. Es muy dudoso que algún otro municipio en ese departamento del Atlántico tuviera entonces energía eléctrica. Y aunque en el departamento de Bolívar ya Cartagena, Montería, Sincelejo y otros tres o cuatro sitios tenían luz eléctrica, el *LAC* solo menciona servicio en Sincelejo (que entonces era la segunda ciudad de ese departamento).

En Boyacá, el *LAC* no menciona ninguna planta eléctrica. Tunja, que era muy pobre, quizá carecía del servicio. Chiquinquirá, que era la segunda ciudad de Boyacá, seguramente no tenía electricidad. Y con mayor razón, tampoco el resto de Boyacá la tenía.

Respecto a Caldas el *LAC* recuerda que en Manizales se instaló el servicio eléctrico en 1905 y se amplió en 1909. En otra parte se refiere a la luz eléctrica de Pereira, que se generaba en la hacienda quindiana del señor Luis Jaramillo Walker.

En dos páginas que se dedican al Cauca nada se dice de servicio eléctrico. Pero se sabe que Popayán conoció la electricidad justamente en el mismo año de 1917. Ningún otro pueblo de ese departamento tenía el servicio en ese momento. En el vecino Huila, ninguna población disponía de energía eléctrica excepto Neiva, la capital departamental, que la acababa de inaugurar, en 1916. Tampoco existía el servicio en ninguna población de los departamentos del Magdalena (en todo el extenso territorio que entonces abarcaba) ni del Atlántico, salvo Santa Marta y Barranquilla. Respecto a Nariño, el *LAC* sólo anota que Pasto ya tenía energía eléctrica. Y respecto al Tolima, ni siquiera para Ibagué se menciona la luz eléctrica, aunque ya la había, y en ese momento ya generaban las plantas locales de don Pedro A. López en Honda (desde 1910), Mariquita (desde 1911) y Libano (desde 1912).

Cali ya tenía, en 1917, su planta de electricidad y el *LAC* lo confirma. Una fábrica de cigarrillos (La Gran Fábrica de Cigarrillos El Sol) ya movía sus máquinas con motores eléctricos, según muestra una foto del *LAC*. Igualmente se muestra una fábrica de café molido para consumo, y otras fotografías de varios establecimientos manufactureros y en todos ellos se ven motores eléctricos. También Buga tenía entonces su servicio eléctrico con CA a 110 voltios. Muy probablemente era accionado por agua del río Guadalajara que cruza la ciudad, o de uno de sus afluentes.

El *LAC* presenta un personaje digno de destacar aquí. Se trata del señor Daniel Salazar, quien en 1917 ya había instalado la planta de Buga y era director técnico de la Compañía de Instalaciones Eléctricas de Buga. El libro lo presenta como electricista y como *electrical engineer*, y agrega que ya entonces “contaba con 20 años de práctica”. Eso significaba que comenzó a ejercer el oficio en 1897. Tratándose de un momento tan temprano, debió hacerlo en Medellín, porque el libro dice que “fue director técnico de la planta eléctrica de Medellín”. (Sin duda, de la primera que allí hubo, la de Santa Elena). Además, en 1897 no había electricidad en ningún otro sitio del occidente colombiano. Se anota que él mismo instaló las plantas de Jericó, de Sonsón, de la mina La Constancia en Anorí, de Manizales, de la mina La Unión en Manizales, y de Pereira. Según esta trayectoria, el señor Salazar era probablemente oriundo de Antioquia. No se dice dónde se capacitó. Puede pensarse que hubiera sido un autodidacta con un gran talento especial. O quizá se formó en la Escuela de Artes y Oficios del departamento de Antioquia, que había sido fundada por el gobernador Pedro Justo Berrío. Ya vimos que las plantas de Pereira y Sonsón fueron suministradas desde Nueva York por el ingeniero Luciano Restrepo, establecido allá. Por lo tanto, el técnico o ingeniero Salazar debió conocer al ingeniero Restrepo y debió recibir de él mucha información técnica.

UN NUEVO ENSANCHE EN MEDELLIN (1918)

La capacidad de la planta de Santa Elena, ya entonces ampliada a 400 kW, se vio pronto alcanzada por la demanda, que crecía rápidamente. Por lo tanto, en 1918 se instaló otra unidad turbogeneradora. Consistía de válvula, boquilla, turbina Pelton de eje horizontal; aprovechaba la misma caída anterior de 198 m brutos y 180 m netos; y trabajaba a 900 rpm. Esta vez se montó un alternador bifásico, de 100 kW de potencia, que generaba a 2.200 voltios entre fases, marca Westinghouse. Los dos alternadores que se habían instalado en 1909 (de 100 kW cada uno) y este otro de 1918 fueron los únicos de tipo bifásico que operaron en Medellín, aparte de los de la térmica. Ello debió presentar problemas considerables a la empresa. Por esa razón, pocos años después fueron retirados de servicio, como ya había ocurrido con los generadores de CD.

CUADRO 5 ENERGIA ELECTRICA EN ANTIOQUIA

A. Capacidad nominal de energía 1916-1979

B. Energía bruta generada 1936-1980

Años	Capacidad instalada (kW)	Años	Capacidad instalada (kW)	Años	Energía generada (MWH)	Años	Energía generada (MWH)
1916	1.091	1959	153.972	1936	69.915	1965	1.468.813
1917-1918	(...)	1960	154.310	1937	68.386	1966	1.581.375
1919	2.363	1961	155.117	1938	82.712	1967	1.709.478
1920-1923	(...)	1962	237.324	1939	95.997	1968	1.820.605
1924	3.821	1963	238.928	1940	97.733	1969	1.947.254
1925-1927	(...)	1964	256.437	1941	111.246	1970	2.093.822
1928 ¹	6.557 ²	1965	317.133	1942	110.123	1971	2.223.890
1929-1930	(...)	1966	436.860	1943	121.994	1972	2.782.890
1931	10.466 ²	1967	443.205	1944-1952	(...)	1973	3.276.266
1932	26.103 ²	1968	443.605	1953	472.500	1974	3.525.880
1933-1936	(...)	1969	444.500	1954-1955	(...)	1975	3.396.046
1937	33.058 ²	1970	446.510	1956	619.674	1976	3.686.510
1938-1949	(...)	1971	618.510	1957-1958	(...)	1977	3.425.901
1950	60.696	1972	761.220	1959	724.300	1978	3.237.148
1951	60.876	1973	761.220	1960	851.100	1979	3.827.063
1952	110.062	1974	753.353	1961-1963	(...)	1980	4.965.846
1953	110.803	1975	753.353	1964	1.005.231		
1954	111.881	1976	751.457				
1955	112.921	1977	713.793				
1956	139.844	1978	716.644				
1957	150.576	1979	929.421				
1958	153.468						

¹ No incluye al municipio de Sonsón, el cual generó en ese año 99.000 kW

² La capacidad está dada en HP

Fuente (A)

Años 1916 a 1932: Dirección Departamental de Estadística, *Boletín Estadístico de Antioquia*.

Año 1937: Contraloría General de la República, *Directorio Industrial*.

Años 1950 a 1975: Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, *La Electrificación en Colombia-30 años*, Informe 1975-1976.

Año 1976: Planeación Departamental, *Anuario Estadístico de Antioquia*.

Año 1977: Departamento Administrativo de Planeación, *Anuario Estadístico de Antioquia*, 1977.

Años 1978-1979: Departamento Administrativo de Planeación, División de Investigaciones Estadísticas.

Fuente (B)

Años 1936 a 1943: Contraloría General de la República. Anuarios Generales de Estadística.

Años 1953 a 1971: Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, *La Electrificación en Colombia-30 años*.

Años 1972 a 1977: DANE, *La Economía Antioqueña en Cifras*, concentración manual.

Año 1978: DANE, Regional de Medellín, concentración manual.

Año 1979: DANE, Regional de Medellín, *Carta Estadística Regional No. 2*.

Año 1980: DANE, Regional de Medellín, *Carta Estadística Regional No. 8*.

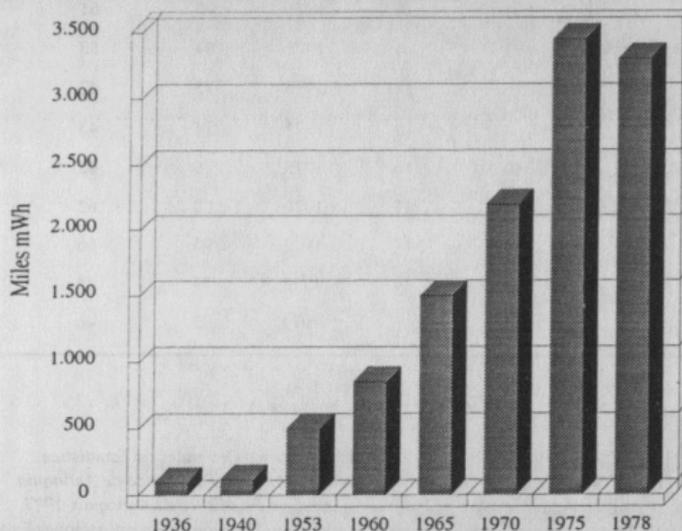
DE 1920 A 1930

Durante esta época los pueblos antioqueños siguieron electrificándose. Como ya dijimos, éste fue el resultado del espíritu cívico muy progresista de esas comunidades, de la iniciativa de sus gobiernos municipales, de su gran potencial hidroeléctrico, de la minería, del café y de la existencia del ferrocarril de Antioquia.

En 1919 el gobierno departamental había hecho un segundo censo de plantas eléctricas en las poblaciones. (El primero se había llevado a cabo en 1916 y ya se mencionaron sus resultados). En 1924 ese censo se hizo en todo el país, bajo el gobierno de Pedro Nel Ospina.

Comparando el censo de 1924 con el de 1919, se deduce que en ese breve lapso otras localidades antioqueñas se sumaron a la lista de las electrificadas. Fueron por lo menos diez: Andes (planta particular, 30 kW), Barbosa (municipal, 50 kW), Caramanta (municipal, 30 kW), Carmen (municipal, 13 kW), Corcóna (municipal, 10 kW), Gómez Plata (municipal, 11 kW), Peñol (municipal, 22 kW), Puerto Berrío (ferrocarril de Antioquia, 100 kW térmicos), Salgar (municipal, 15 kW), San Vicente (municipal, sin dato de capacidad, quizá de unos 10 kW).

GRAFICO 1
ENERGIA BRUTA GENERADA EN ANTIOQUIA



Fuente: DANE, *Panorama Estadístico de Antioquia, siglos XIX y XX*, p. 541.

CUADRO 6

ENERGIA ELECTRICA EN ANTIOQUIA

Número de plantas de energía eléctrica por tipos

1936-1979

Años	Total plantas	Hidráulicas	Térmicas (diesel)	Años	Total plantas	Hidráulicas	Térmicas (diesel)
1936	20	20	-	1961	113	89	24
1937	43	41	2	1962	97	78	19
1938	95	91	4	1963	90	72	18
1939	84	82	2	1964	88	71	17
1940	84	81	3	1965	89	72	17
1941	91	87	4	1966	84	68	16
1942	108	101	7	1967	80	63	17
1943	111	103	8	1968	82	63	19
1944-1951	(...)	(...)	(...)	1969	82	63	19
1952	115	(...)	(...)	1970	95	65	30
1953	115	(...)	(...)	1971	90	61	29
1954	115	(...)	(...)	1972	84	53	31
1955	113	96	17	1973	73	42	31
1956	(...)	(...)	(...)	1974	74	43	31
1957	102	86	16	1975	78	45	33
1958	101	84	17	1976	92	62	30
1959	101	84	17	1977	95	66	29
1960	105	86	19	1978	79	45	34
				1979	72	46	26

Fuentes:

Años 1936 a 1943: Contraloría General de la República, Anuarios Generales de Estadística.

Años 1952 a 1976: Planeación Departamental de Antioquia, *Anuario Estadístico de Antioquia*.Año 1977: Departamento Administrativo de Planeación, *Anuario Estadístico de Antioquia*, 1977.

Años 1978-1979: Departamento Administrativo de Planeación, División de Investigaciones Estadísticas.

CUADRO 7
ENERGIA ELECTRICA EN ANTIOQUIA
 Consumo de energía eléctrica según destino, 1966-1980

Años	Total consumo (MWH)	Destino (MWH)			Número de suscripciones
		Residencial	Comercial	Industrial	
1966	1.161.086	638.825	93.603	326.627	160.515
1967	1.215.755	662.405	99.354	347.888	169.864
1968	1.254.344	677.185	106.331	366.655	177.262
1969	1.362.945	702.724	119.786	427.923	189.328
1970	1.533.567	809.996	135.819	467.889	211.577
1971	1.719.676	930.017	149.624	524.793	229.188
1972	1.956.453	1.015.224	166.171	612.822	246.828
1973	2.576.971	1.082.571	190.522	670.235	262.493
1974	2.742.800	1.168.307	218.426	703.732	284.364
1975	2.893.988	1.266.646	225.380	721.734	306.443
1976	3.235.879	1.392.138	244.198	830.405	322.186
1977	3.291.542	1.368.303	239.453	815.488	340.639
1978	3.744.186	1.583.825	278.088	909.202	353.135
1979	4.081.943	1.698.752	294.064	962.061	378.990
1980	5.792.825	1.831.363	312.791	963.657	(...)

1 Comprende: venta en bloque, alumbrado público, uso oficial, pérdida y robo, otros usos. De 1966 a 1971 la cifra de "otros" no coincide con la de la fuente de donde se tomó la información debido a que aquella no incluye la "venta en bloque" a otros municipios; en cambio acá sí se incluyó para todos los años.

Fuentes:

Años 1966 a 1970: Planeación Departamental, *Anuario Estadístico de Antioquia* y toda la información sobre número de suscriptores.
 Años 1971 a 1975: DANE, *Economía Antioqueña en Cifras*.
 Años 1976 a 1978: DANE, *Regional de Medellín - concentración manual*.
 Año 1979: DANE, *Regional de Medellín, Carta Estadística Regional No. 2*.
 Año 1980: DANE, *Regional de Medellín, Carta Estadística Regional No. 8*.

Aparte de Medellín había electrificadas 56 poblaciones, cuyas plantas (casi todas todavía de 100 kW o menos) totalizaban numéricamente 2.124 kW. Todas eran aisladas unas de otras y su servicio era meramente local. Como novedad, algunas ya funcionaban en horas diurnas, en las poblaciones más grandes.

La empresa de Medellín, que desde el año anterior ya era totalmente del municipio, inauguró en 1921 la central hidroeléctrica de Piedras Blancas. Eran dos unidades turboalternadoras trifásicas de 500 kW cada una, movidas por una Pelton de eje horizontal, de 750 HP de potencia, girando a 900 rpm. La caída de agua tenía (y tiene en la actualidad) 550 m. La casa de máquinas estaba muy cerca al perímetro urbano, y allí mismo sigue trabajando. Estaba destinada principalmente a abastecer a los tranvías eléctricos que acababan de inaugurarse. Cinco años después, en 1926, se le adicionó una tercera unidad de 500 kW y la capacidad de todo el sistema generador de la ciudad quedó en 2.000 kW. En 1922 se habían remplazado dos pequeños generadores, de los inaugurados con la planta de Santa Elena, por un solo alternador de 500 kW. Además, se sacó de servicio la primera planta térmica que ya era anticuada y generaba cada kilovatio-hora con un costo mayor. En aquellos tiempos una termoeléctrica gastaba entre 1.4 y 1.8 kilos de carbón por kWh. Hoy en día son, aproximadamente, 500 gramos de carbón por cada kWh.

Piedras Blancas recibió en 1926 un segundo alternador, debido al ascenso vertiginoso de la demanda en kilovatios de potencia y del consumo en kilovatios-horas de energía.

En 1923, en la capital de la república, arrancaron, con pocos meses de intervalo, dos proyectos generadores grandes. Uno fue de la Compañía de Energía Eléctrica de Bogotá (la de los Samper), que hacía diez años no crecía en capacidad generadora. Consistió en una planta térmica de vapor, movida con carbón obtenido de una mina de la misma empresa, vecina al sitio de El Charquito. Aquí mismo se estableció esta primera planta térmica de la empresa, que podía producir 4.500 kW de potencia, a plena carga. Desafortunadamente su costo de operación era alto: cada kilovatio-hora de la térmica costaba unas cinco veces más que un kilovatio-hora hidroeléctrico. Aun así, esa planta sirvió por muchos años. Y al año siguiente dio al servicio la sexta unidad hidráulica.

El otro ensanche de 1923 fue la iniciación de trabajos en la planta de El Salto, de propiedad de la Compañía Nacional de Electricidad. Ya dijimos que ésta se fundó en 1920 y desde ese momento se propuso construir una hidroeléctrica nueva. La demanda creciente de electricidad lo exigía. La empresa de

los Samper estaba estancada y no ensanchaba la generación. Hubo tres años de duro forcejeo entre las dos. Pero en 1923 los Dávila Pumarejo inauguraron su planta, con dos unidades, aguas abajo del Salto de Tequendama, con 4.500 kVA, o sea unos 4.000 kW. Años después, en la década de 1960, se le dio el nombre de Salto I. Posteriormente se la llamó "Plantavieja". En 1983 salió de servicio, después de 56 años de trabajo. Comenzó a generar en 1924, y tres años después se le adicionó, no sin muchas dificultades, una tercera unidad.

En 1924 la empresa de los Samper montó en El Charquito la sexta unidad hidroeléctrica (de 2.200 kVA, o sea unos 1.800 kW) y apagó la costosa térmica, aún muy nueva, y aun cuando el río Bogotá descendía a veces hasta sólo un m³/s en su caudal en bocatoma.

Después de muchas peripecias en cada empresa, y de muchos conflictos entre ellas, en febrero de 1927 intervino el municipio de Bogotá para que se fusionaran en una nueva compañía en la que el gobierno de la ciudad entraba como socio minoritario en la junta directiva (aunque mayoritario en el capital social). Así nació Empresas Unidas de Energía Eléctrica S.A., que comenzó a funcionar en septiembre de 1927. Sus plantas reunían 14.835 kVA (o sea unos 12.165 kW) de capacidad nominal, según placas de máquinas.

De esta forma se logró una importante reducción de los gastos de administración. Se suprimió una de las dos redes (la de la Nacional, por ser más pequeña) y se pudo conseguir un empréstito para acometer nuevas expansiones. Pero el sistema eléctrico de Bogotá quedó con la peculiaridad de entregar la electricidad al usuario final, en su domicilio, a 150 V, y al industrial en trifásica a 300 V; estos voltajes ya eran poco comunes en el mundo y no se usaban en Colombia en ninguna otra empresa.

Cerca de Bogotá, en Facatativá, la Compañía de Luz y Molino Moderno operaba su planta (inaugurada poco antes de 1920) con una máquina de vapor que movía dos alternadores de 50 kVA. Pero como su costo por kilovatio-hora era alto, también le compraba a la empresa de los Samper en Bogotá para atender a los abonados de la población.

Respecto a Zipaquirá, que había sido la primera población de Cundinamarca en dotarse del servicio gracias a la iniciativa de particulares en 1911, ya en la época que tratamos, es decir en 1927, tenía capacidad de 360 kW. Poco después, debido a que carecía de fondos para ensancharse, sus dueños la vendieron a la Colombiana de Electricidad. Lo mismo le ocurrió a la planta de Honda, de don Pedro A. López, casi en el mismo momento de la de Zipaquirá.

En menor escala que Bogotá y que Medellín, la empresa de Cali también había ensanchado su sistema eléctrico. De los 150 kW de 1910, había pasado

a 600 kW en 1925. En Barranquilla había instalados 1.678 kW, que eran generados con máquinas de vapor accionadas con derivados de petróleo. En Santa Marta una empresa extranjera tenía 350 kW; y otra, de propiedad de nacionales, tenía 180 kW para consumo propio y para la venta. En todo el departamento de Bolívar (que en ese tiempo incluía a Sucre y a Córdoba), sumando lo que había no se llegaba a 1.500 kW; en Cartagena había 800 kW; en Turbaco, 125 kW; en Mompo, 30 kW; en Magangué, 25 kW; en Sincelejo, 18 kW, etcétera.

La empresa de los hermanos Penagos inauguró en Bucaramanga en agosto de 1926, una nueva planta hidroeléctrica, en el sitio de Zaragoza, utilizando las aguas del río Surata, con 350 kW. Las máquinas, en buena parte, habían sido construidas en los talleres de los Penagos en Bucaramanga. En Norte de Santander, en 1925, la compañía eléctrica particular de Cúcuta servía también a las poblaciones de San Luis (desde 1916), Santiago (1918), Gramalote (1920), San Cayetano (1921), El Zulia (1921), Cornejo (1921), La Laguna (1921), Lourdes (1923), Concepción (1925), Sardinata (1925), Cerrito (1925), El Salado (1925) y El Escobal (1925). En 1927 empezó a construir un ensanche de 1.000 kW en el río Peralonso. En Ocaña, la primera planta eléctrica comenzó a generar en 1920, pero tuvo varios trastornos técnicos hasta que en 1922 estabilizó su servicio.

En 1925 la Compañía de Energía Eléctrica, en Barranquilla, era ya propiedad de la Compañía Colombiana de Electricidad (empresa estadounidense), y era la única que suministraba energía a la ciudad. En ese año sus unidades, todas térmicas, reunían 1.678 kW de capacidad, ligeramente menor que la de Medellín.

Respecto al departamento del Magdalena, que era entonces muy extenso, Santa Marta tenía servicio eléctrico. Una de las plantas era de la Compañía Colombiana de Electricidad (que como ya vimos, la había comprado a su primer dueño) y podía generar 350 kW. La otra era de una fábrica de hielo (que ya mencionamos) y podía generar 180 kW. En Ciénaga una pequeña termoelectrónica de motor producía 100 kW; y otra en Riohacha producía 44 kW, con mucha dificultad.

En Bolívar tenían algún servicio eléctrico Cartagena, Turbaco (unos 100 kW o poco más), Sincelejo (18 kW), Magangué (25 kW) y Mompo (30 kW). El autor José de la Pedraja Tomán, que hemos consultado mucho por su respetabilidad, dice que en Cartagena había 125 kW, en Turbaco 800 kW, y en todo el departamento no llegaban a 600 los kilovatios instalados. Es evidente que aquí hay tres errores flagrantes.

CUADRO 8

EMPRESAS DE ENERGIA ELECTRICA EXISTENTES EN LOS DEPARTAMENTOS, 1924

Antioquia

Abejorral	Empresa particular	33 kilovatios
Amagá	Empresa municipal	30 kilovatios
Amalfi	Empresa municipal	65 kilovatios
Andes	Empresa particular	30 kilovatios
Angostura	Empresa municipal	12 kilovatios
Anori	Empresa municipal	37 kilovatios
Antioquia	Empresa municipal	
Barbosa	Empresa municipal	50 kilovatios
Bello	Empresa municipal	30 kilovatios
Bolívar	Empresa particular	30 kilovatios
Caldas	Empresa municipal	35 kilovatios
Caramanta	Empresa municipal	30 kilovatios
Carmen	Empresa municipal	13 kilovatios
Carolina	Empresa municipal	12 kilovatios
Cocorná	Empresa municipal	10 kilovatios
Concepción	Empresa municipal	15 kilovatios
Concordia	Empresa municipal	60 kilovatios
Copacabana	Empresa municipal	23 kilovatios
Cisneros	Propiedad del Ferrocarril de Antioquia	18 kilovatios
Don Matías	Empresa municipal	21 kilovatios
Ebéjico	Empresa municipal	37.5 kilovatios
Envigado	Empresa particular	28 kilovatios
Fredonia	Empresa municipal	126 kilovatios
Frontino	Empresa municipal	37 kilovatios
Girardota	Propiedad municipal	50 kilovatios
Gómez Plata	Propiedad municipal	11 kilovatios
Itagüí	Empresa particular	18 kilovatios
Jardín	Propiedad particular	50 kilovatios
Jericó	Dos plantas de propiedad particular	90 kilovatios
La Ceja	Empresa Municipal	8 kilovatios
Estrella	Propiedad particular	67 kilovatios
Marinilla	Empresa municipal	37.5 kilovatios
Medellín	Tres plantas de propiedad del municipio	1750 kilovatios
Peñol	Empresa municipal	22 kilovatios
Pueblorrico	Empresa municipal	45 kilovatios
Puerto Berrio	Empresa del Ferrocarril de Antioquia	100 kilovatios
Retiro	Empresa municipal	11 kilovatios
Rionegro	Empresa municipal	50 kilovatios
Salgar	Empresa municipal	15 kilovatios
San Roque	Empresa municipal	50 kilovatios
Santa Bárbara	Empresa municipal	37.5 kilovatios

Antioquia

Santa Rosa	Empresa municipal	37 kilovatios
Santo Domingo	Empresa municipal	15 kilovatios
Santuario	Empresa municipal	40 kilovatios
Segovia	Empresa municipal	18 kilovatios
Sonsón	Propiedad municipal	200 kilovatios
Sopetrán	Empresa municipal	31 kilovatios
Támesis	Empresa particular	17 kilovatios
Titiribí	Empresa particular	50 kilovatios
Urao	Empresa municipal	37.5 kilovatios
Valparaíso	Empresa particular	30 kilovatios
Venecia	Empresa municipal	12.5 kilovatios
Yarumal	Empresa municipal	50 kilovatios
	Empresa particular	50 kilovatios
Yolombó	Empresa municipal	37.5 kilovatios
Zaragoza	Empresa municipal	6 kilovatios

Atlántico

Barranquilla	Compañía anónima	Capacidad 3000 HP
Soledad	Empresa del municipio y del señor José L. Marín	Motor de 12 HP
		Dinamo de 9.5 kilovatios
Malambo	Empresa municipal	Motor de 12 HP
		Dinamo de 9.5 kilovatios
Baranoa	Empresa municipal	Motor de 10 HP
		Dinamo de 7.5 kilovatios
Usiacurí	Empresa municipal	Motor de 6 HP
		Dinamo de 3.5 kilovatios
Puerto Colombia	Empresa municipal	Motor de 40 HP
		Dinamo de 25 kilovatios
Sabanalarga	Empresa municipal	Motor de 3.5 HP
Galapa	Empresa municipal	
Santo Tomás	Empresa municipal	Motor de 8 HP

Bolívar

Cartagena	Empresa particular	125 kilovatios
Arjona	Empresa particular	20 HP
Calamar	Empresa particular	30.5 kilovatios
Carmen	Empresa particular	15 kilovatios
Cereté	Empresa particular	15 kilovatios
Chinú	Empresa particular	9 HP
Corozal	Empresa particular	5 kilovatios
Lorica	Empresa particular	
Magangué	Empresa particular	25 kilovatios
Mompóx	Empresa particular	30 kilovatios

Bolívar

Montería	Empresa particular	
Ovejas	Empresa particular	1.5 HP
Palmito	Empresa municipal	
Sampués	Empresa particular	20 amperios
San Estanislao	Empresa particular (Se extiende hasta Soplaviento)	5 kilovatios
San Jacinto	Empresa particular	10 kilovatios
San Juan Nepomuceno	Empresa particular	92 kilovatios
San Marcos	Empresa particular con acciones del municipio	0.75 kW
Sincé	Empresa particular	6 kilovatios
Sincelejo	Empresa particular	18 kilovatios
Soplaviento	Empresa particular (Empresa de San Estanislao)	5 kilovatios
Sucre	Empresa particular	15 kilovatios
Tolú	Empresa particular	25 amperios
Turbaco	Empresa particular	100 kilovatios
Zambrano	Empresa particular	5 kilovatios

Boyacá

Arcabuco	Empresa particular	Capacidad 2000 bujías
Belén		
Boyacá		
Cocuy	Empresa particular	44 HP Capacidad 1.500 bujías
Corrales	Empresa particular del alumbrado eléctrico de Sogamoso	
Chiquinquirá	Empresa particular	Fuerza 100 HP
Duitama	Empresa particular	Capacidad 2000 lámparas
Floresta		
Garagoa	Empresa particular	Capacidad 1000 lámparas
Guateque	Empresa particular Se extiende a Garagoa y Sutatenza	Capacidad para 100 kW
Guayatá	Empresa particular del Alumbrado Público de Guateque	
Jenesano	Empresa particular	Capacidad para 300 lámparas
Miraflores	Empresa particular	Capacidad para 16.5 HP
Monguí	Empresa pública	Capacidad para 200 lámparas
Pesca		
Ramiriquí		Capacidad para 300 lámparas
Samacá		
Santa Rosa		
Sativanorte	Empresa particular	Capacidad para 600 lámparas

Boyacá

Soatá	Empresa municipal	Capacidad para 2500 bujías
Sogamoso	Empresa particular (se extiende a la población de Corrales)	Capacidad para 8000 lámparas de 20 vatios
Somondoco		
Sutatenza	Empresa particular del Alumbrado Público de Guateque	
Tenza	Empresa municipal	Capacidad de 5 kilovatios
Tunja	Empresa particular	Capacidad 1600 lámparas
Turmequé	Empresa municipal	Capacidad 250 lámparas
Ventaquemada	Empresa municipal de la instrucción pública y del señor Tobías Olivas	Capacidad 4.5 HP

Caldas

Aguadas	Empresa oficial	50 kilovatios
Anserma	Empresa particular	25 kilovatios
Apía	Empresa oficial	50 kilovatios
Aranzazu	Empresa oficial	37 kilovatios
Armenia	Empresa particular	175 kilovatios
Belalcázar	Empresa oficial	37.5 kilovatios
Calarcá		
Filadelfia	Empresa oficial	50 kilovatios
Filandia	Empresa particular	25 kilovatios
La Dorada	Empresa particular	2.5 kilovatios
Manizales	Empresa particular	350 kilovatios
	Empresa particular	350 kilovatios
	Empresa oficial	300 kilovatios
Marmato	Empresa particular	11 kilovatios
Marsella	Empresa particular	45 kilovatios
Neira	Empresa oficial	50 kilovatios
Pácora	Empresa oficial	12.5 kilovatios
Palestina	Empresa particular	17 kilovatios
Pensilvania	Empresa oficial	26 kilovatios
Pereira	Empresa particular	150 kilovatios
Salamina	Empresa oficial	175 kilovatios
Salento	Empresa particular	45 kilovatios
San Francisco (hoy Chinchiná)	Empresa particular	50 kilovatios
Santa Rosa	Empresa oficial	112.5 kilovatios
	Empresa particular	110 kilovatios
Santuario	Empresa oficial	30 kilovatios

Cauca

Popayán	Empresa particular con acciones por parte del departamento	Capacidad 250 kW
---------	---	------------------

Cauca

Santander	Empresa particular	30 kilovatios
Silvia	Empresa particular	Capacidad 15.5 kilovatios

Cundinamarca (Municipios cafeteros con luz eléctrica)

Anapoima, Anolaima, Cáqueza, Choachi, El Peñón, Fómeque, Fosca, Fusagasugá, Gachetá, Guaduas, Guayabal, Junín, La Mesa, La Vega, Pacho, Pasca, Quebradanegra, Quipile, Tocaima, Une, Vergara, Villeta

Nota: Cundinamarca tenía entonces 54 municipios *no* cafeteros. Nuestra fuente no indica cuáles de ellos tenían planta eléctrica. Tampoco indica las capacidades en potencia de las plantas eléctricas, ni quiénes eran sus dueños.

Huila

Neiva	Empresa particular	Capacidad 2500 lámparas
Garzón	Empresa particular	Capacidad 1.000 bombillas
Pitalito		
Timaná		
Elías		
Naranjal		
Altamira		
Guadalupe		
Santa Librada		
Hato		

Magdalena

Santa Marta	Empresa particular	350 kilovatios
	Compañía de Hielo	180 kilovatios
Riohacha	Empresa particular	44 kilovatios
Ciénaga	Empresa particular	100 kilovatios
Plato	Empresa particular	45 kilovatios
El Banco	Empresa particular	15 kilovatios
Remolino	Empresa particular	12.5 kilovatios

Nariño

Pasto	Empresa particular	172 HP
	Empresa particular de Santander y Cia.	13 HP
	Empresa de la curia	25 HP
Ipiales	Empresa particular de Julio Bravo	133 HP
Túquerres	Empresa particular de Herederos de Angel León	75 HP
Tumaco	Empresa oficial	120 HP

Norte de Santander

Cúcuta Empresa particular 20 kilovatios
 Salazar Empresa particular

Capacidad de 11.000 kilovatios. Presta servicio a las siguientes poblaciones: Gramalote, Concepción, Sardinata, San Cayetano, Rosario, San Luis, Cerrito. Y a los sitios de La Laguna, Cornejo, Zulia, Escobal, El Salado.

Pamplona Empresa particular 30 kilovatios
 Ocaña Empresa de participación

Tolima

Ibagué Empresas particulares
 Honda Empresa particular
 Chaparral Empresa particular
 San Lorenzo (Armero) Empresa particular
 Libano Empresa particular
 Fresno Empresa particular

Valle del Cauca

Buenaventura Empresa oficial del muelle de Buenaventura. 4.000 bombillas de 25 vatios
 Dagua Empresa oficial del ferrocarril del Pacifico. Generador de corriente alterna de 20 kW 36 HP
 Los Remedios El alumbrado en este lugar es una derivación de la planta eléctrica de Dagua
 Darién Empresa particular de Caicedo y Puente 60 bombillas 5 HP
 Cali Empresa particular Máquinas: 2 turbinas marca Pelton Francis de 250 HP cada una, y otra turbina de 500 HP. Voltaje de alumbrado público y privado: 110
 Palmira Empresa particular Dos turbinas cada una de 150 HP y capacidad para 14.000 bombillas de 20 vatios cada una.
 Buga Empresa particular Maquinaria de 2 turbinas de 150 HP cada una. Capacidad para 16.000 bombillas de 25 vatios cada una.
 Cartago Empresa particular Maquinaria de 250 kW 4.000 vatios, 3 fases, capacidad para 12.000 bombillas de 25 bujías cada una.

Valle del Cauca

Cerrito	Empresa oficial con capacidad para 1.200 bombillas de 25 vatios Caída de 5 m	Maquinaria hidráulica Turbina marca Leffel de 50 HP Generador de 35.5 kilovatios y 2.300 voltios. 58 HP
Sevilla		
Tuluá		Maquinaria de 125 kilovatios Capacidad para 5.000 lámparas de 25 vatios cada una.
Roldanillo	Empresa oficial	Maquinaria de 60 HP

Fuente: Diego Monsalve, *Colombia cafetera*, 1928.

Durante esos primeros veinte años del siglo comenzaron a prestar servicio eléctrico plantas de empresas particulares en Corrales y Sogamoso, Duitama, Tunja y Chiquinquirá. En el departamento del Cauca existían en 1924, tan sólo tres plantas eléctricas: la de Popayán (250 kW), la de Santander (30 kW) y la de Silvia (15.5 kW), todas de propiedad de particulares. En Nariño operaban seis plantas en cuatro cabeceras municipales. Tres de ellas funcionaban en Pasto: dos de particulares, con 96 kW y siete kW; y una de la curia arquidiocesana, con catorce kW. Ipiales tenía una planta de 74 kW, hidráulica; en Túquerres había una de 42 kW, particular, accionada por agua; y en el puerto de Tumaco una de 67 kW, de propiedad del gobierno nacional, que también era el dueño del puerto marítimo.

En 1924 el gobierno, muy progresista, del ingeniero Pedro Nel Ospina, con su ministro de Industrias, el ingeniero Carlos Bravo, ordenó hacer en los catorce departamentos que entonces existían en el país, un censo de plantas eléctricas. Acabamos de mostrar el resultado parcial de ese censo, en lo que se refiere a los 200 municipios de once departamentos. Allí se comprueba que era en Antioquia donde había más municipios con electricidad (aunque casi solamente en sus cabeceras). En Cundinamarca (que no se describe en el cuadro que se menciona) tenían luz eléctrica también las poblaciones de Girardot, Zipaquirá, Tocaima, Agua de Dios, Facatativá y Ubaté. La empresa de Bogotá suministraba energía a Fontibón, Funza, Mosquera, Madrid, Soacha, Sibaté, Bosa y Bojacá. Y el ferrocarril de Girardot vendía alguna energía a Apulo, La Mesa, Anolaima, El Ocaso y Cachipay, generada en las pequeñas plantas de motor que iluminaban las estaciones del ferrocarril en esas poblaciones. En 1925 otros 85 municipios de Cundinamarca ya tenían sus plantas propias.

La empresa de los Dávila, en Bogotá, inauguró en 1927 una nueva planta generadora sobre el río del mismo nombre. Esa central funcionó aproximadamente hasta 1985. Estaba dotada con dos turbinas Pelton de eje horizontal. Cada

una de ella tenía 3.000 HP de potencia hidromecánica, y accionaba un alternador de 2.000 kW (dos megavatios = dos MW). En total, entraban así 4.000 kW nuevos (cuatro MW) a la capacidad generadora de esa empresa y de esa ciudad. En los últimos años de su vida se la conocía como Plantavieja, debido a su antigüedad, pues en 1983, al salir de servicio, ya cumplía 56 años de trabajo.

En su libro, que citamos en la bibliografía, el ingeniero Alberto Pardo Pardo da una tabla que indica el número de plantas en los departamentos y en sus capitales en el año de 1924 ó 1925. Pero el autor no menciona de donde tomó esos datos, los cuales seguramente procedían de una fuente gubernamental. Quien esto escribe considera que posiblemente fue del censo de plantas que se hizo en 1924 bajo el gobierno del presidente Pedro Nel Ospina. Tales datos se presentan en el Cuadro 9.

MEDELLIN, 1928-1929

En 1928 la empresa eléctrica de Medellín (ya entonces municipal) dio al servicio una segunda planta de vapor, alimentada con carbón. Se inició con una unidad turbogeneradora. La turbina, tipo Parsons, de marca Sulzer, operaba a 5.500 rpm. Estaba acoplada con engranajes al alternador trifásico, a 60 ciclos por segundo (ésta era ya la frecuencia usada en todo el país y en todo Estados Unidos); giraba a 1.200 rpm y generaba 750 kVA (0.5 MW) a 6.600 voltios entre fases. Su marca, Brown Boveri, suiza, ya comenzaba a conocerse como un nombre digno de respeto técnico.

En la misma planta se instaló en 1929 otra unidad. La turbina, del tipo Parsons, era de 3.600 rpm. Estaba montada sobre el mismo eje del alternador (también a las mismas 3.600 rpm). Este último generaba CA trifásica a 6.600 voltios entre fases a 60 ciclos por segundo, y podía producir 1.375 kVA (1.100 kW), consumía 1.4 kilogramos de carbón por kilovatio-hora, es decir 1.540 kilos de carbón por hora a plena carga. Se deduce que los factores de potencia de las dos unidades de esa planta eran de 0.80 (u 80%).

La demanda en ascenso obligó a dar al servicio, en 1929, otra unidad en la planta hidroeléctrica de Santa Elena. La turbina Pelton tenía doble eje horizontal y cuatro chorros. Nominalmente era para 750 HP a 900 rpm, fabricadas por James Gordon and Sons. Cabe aquí recordar que la altura de caída bruta del agua era de 197.6 m, y la neta era de 180.2 m. Esta unidad gastaba 0.4 m^3 por segundo, o sea 2.880 m^3 /kilovatio-hora a plena potencia. El alternador, trifásico, a 60 ciclos por segundo, factor de potencia de 0.80, marca Westinghouse, generaba hasta 625 kVA (0.5 MW) a 6.600 voltios entre fases.

CUADRO 9

PLANTAS ELECTRICAS PARA SERVICIO PUBLICO EN TODOS
LOS MUNICIPIOS DE COLOMBIA, ca. 1925¹

Departamento ²	Plantas	Potencia HP ⁶	Capital	Potencia HP
Antioquia ³	57	4.386	Medellín	2.000
Atlántico	6	3.088	Barranquilla	3.000
Boyacá	15	636	Tunja	235
Caldas ⁴	18	1.421	Manizales	183
Cauca	3	240	Popayán	200
Cundinamarca	105	25.380	Bogotá	21.925
Huila	2	115	Neiva	80
Magdalena ⁵				
Nariño	7	596	Pasto	401
Norte de Santander	12	1.051	Cúcuta	
Valle	11	1.890	Cali	600

- 1 Tomado de Alberto Pardo P., *Geografía económica y humana de Colombia, Bogotá, Tercer Mundo Editores, 1972.*
- 2 Curiosamente el autor (y/o su fuente) no mencionan los departamentos de Tolima, Santander y Bolívar (que incluía entonces a Córdoba y Sucre de hoy).
- 3 Como anota De la Pedraja (véase bibliografía), consta que en Antioquia en 1924 ya había 54 municipios con energía y un total de 2.124 kW.
- 4 Caldas incluía a Risaralda y Quindío de hoy.
- 5 A. Pardo deja vacías las casillas de datos para el departamento del Magdalena. Ni siquiera indica que su capital era la ciudad de Santa Marta.
- 6 La "potencia" en HP que menciona esa fuente parece ser la potencia mecánica de turbinas y motores térmicos que actúan sobre los generadores, y no la capacidad generadora de estos últimos.

En el mismo año entró en operación la planta del Orfelinato, aguas abajo de la casa de máquinas de Piedras Blancas. Estaba equipada con una turbina Pelton de dos cojinetes, eje horizontal, dos chorros y regulador acoplado mecánicamente. Desarrollaba 770 HP nominales a 600 rpm; fue construida en Suiza por la ya renombrada fábrica de turbinas Escher Wyss. La caída de agua tenía 193.4 m brutos y 176.0 m netos; y a plena carga gastaba 0.4 m³/segundo, vale decir 2.796 m³/kilovatio-hora. El alternador, trifásico, estaba acoplado directamente, sobre el mismo eje de la turbina (a 900 rpm); generaba a 60 ciclos/segundo, a 6.600 voltios entre fases, hasta 650 kVA (0.52 MW) de capacidad nominal. Su factor de potencia era el usual: 80%.

La ciudad tenía en ese momento unos 120 mil habitantes y se encaminaba firmemente a ser el principal centro industrial en el país. Precisamente en 1929

comenzó la construcción de la central hidroeléctrica de Guadalupe, de la cual hablaremos más adelante.

Gracias al apoyo de la administración Ospina, durante ese gobierno, y en los años que le siguieron, otros municipios adquirieron e instalaron sus plantas propias, o contrataron el servicio con particulares, durante los años comprendidos entre 1924 y 1929. Al terminar el tercer decenio del siglo había quizá 250 o más cabeceras municipales colombianas con servicio eléctrico, incluyendo a las catorce capitales departamentales.

En 1930 las capacidades de generación que estaban instaladas en las ciudades principales, eran las que se muestran en el Cuadro 10.

A la anterior información habría que hacer las siguientes anotaciones:

1. En algunas ciudades las capacidades de generación eran muy superiores a la demanda. Era el caso de Bogotá, Manizales, Armenia y Popayán.
2. En otras la situación era la opuesta. La capacidad generadora era insuficiente. Así ocurría, por ejemplo, en Cali, Neiva, Pereira y Zipaquirá.
3. Cada planta abastecía solamente a la cabecera municipal donde estuviera ubicada. No había ninguna interconexión entre plantas.
4. En algunas ciudades había varias plantas de distintos propietarios, con diferentes redes de distribución, las cuales atendían, cada una, a sus propios clientes, con distintas tarifas. Así ocurría en Manizales (con tres empresas), Ibagué (dos empresas) o Pasto (dos empresas).
5. En la mayor parte de los aproximadamente 250 municipios que tenían electricidad, el servicio lo daban pequeñas plantas desde cinco hasta 90 ó 100 kW de potencia nominal. Podría conjeturarse que entre todos reunían, numéricamente, unos 10.000 ó 15.000 kW. (En esa época ni siquiera se usaba la palabra megavatio).
6. Todas las plantas hidráulicas operaban a filo de agua, salvo una de ellas en Bogotá, que se regulaba con el embalse de Alicachín. No había ningún otro embalse de regulación en el país. Por tanto, las capacidades efectivas (o capacidades firmes) eran en realidad menores que las nominales.
7. En todo el país había sólo una línea de transmisión: la que llevaba energía de las plantas de El Salto y El Charquito a Bogotá. Su capacidad era quizá de 10.000 kW, más o menos: tenía 26 kilómetros, un circuito de tres fases y trabajaba a 20.000 voltios de tensión. Hasta 1932 fue la única línea de transmisión que existió en el país.

De Salazar de las Palmas a Cúcuta y otras poblaciones vecinas había unas pequeñas líneas, con muy bajas capacidades y voltajes muy moderados.

CUADRO 10

POTENCIA NOMINAL EN MAQUINAS INSTALADAS, 1930

Ciudad	Potencia
Bogotá	10.335 kW hidráulicos + 4.500 kW térmica
Medellín	4.220 kW hidráulicos + 1.700 kW térmica
Barranquilla	1.678 kW térmica
Cali	600 kW hidráulicos
Cartagena	200 kW térmicos
Bucaramanga	400 kW hidráulicos
Manizales	1.000 kW hidráulicos (tres empresas y tres plantas)
Santa Marta	747 kW térmicos (dos empresas)
Ibagué	400 kW hidráulicos (dos empresas y dos plantas)
Pereira	150 kW hidráulicos
Armenia	3.000 kW hidráulicos
Popayán	2.450 kW hidráulicos (dos plantas de dos empresas)
Cartago	250 kW hidráulicos
Buenaventura	125 kW térmicos
Palmira	280 kW hidráulicos
Neiva	150 kW térmicos
Zipacquirá	360 kW hidráulicos
Cúcuta y algunos municipios vecinos	1.260 kW hidráulicos (dos plantas de dos empresas)
Honda	300 kW hidráulicos
Libano	200 kW hidráulicos
Sonsón (2o. municipio antioqueño)	200 kW hidráulicos
Girardot	180 kW a motor
Tunja	100 kW hidráulicos
Suma aritmética	28.095 kW (en su mayor parte hidráulicos)
Colombia entera	45.000 kW

Notas:

Estas capacidades eran más nominales que efectivas. Cada localidad se servía a sí misma. No había ninguna interconexión entre sistemas. No se mencionan las numerosas plantas menores que ya funcionaban.

Fuente: Diversos documentos que se mencionan en la bibliografía.

8. Sistemas trifásicos había en Bogotá, Medellín, Barranquilla, Manizales, Cali, Cartagena y dos o tres ciudades más, en donde ya había fábricas con motores eléctricos que demandaban alguna potencia de importancia. En casi todos los municipios pequeños y medianos que sólo usaban la electricidad para su iluminación, y casi todos en las horas de la noche, sus pequeñas plantas eran monofásicas, por razones de economía en su costo.

9. Ya entonces todas las instalaciones a los consumidores finales operaban a 220 V, a 220/110 V ó a 110 V. Solamente Bogotá conservaba los niveles de Milán, como empezó en 1890: 300 V, 300/150 V, y 150 V.
10. Sólo se disponía de electricidad pública en ciudades y cabeceras municipales. La electricidad era desconocida en los campos, salvo escasos alrededores muy próximos a los perímetros urbanos de Bogotá y de Medellín.

Sobre la demanda efectiva de electricidad en aquella época, únicamente se han hecho las estimaciones de G. Poveda, las cuales, desde 1925, tratan de cuantificar el consumo agregado (numéricamente) en todo el país. Tales cifras son las siguientes:

CONSUMO TOTAL NACIONAL DE ELECTRICIDAD

Año	Millones de kWh (aprox.)
1925	64.96
1926	77.95
1927	90.94
1928	97.44
1929	103.94
1930	110.43
1931	113.68
1932	120.18

Fuente: G. Poveda R., *Políticas económicas, desarrollo industrial y tecnología en Colombia*.

A pesar de su carácter de estimación retrospectiva, estas cifras concuerdan en su tendencia general con la historia económica e industrial del país en aquellos años. En efecto, entre 1922 y 1928 el país conoció una fase de rápido crecimiento fabril, especialmente localizado en Bogotá, Medellín y Barranquilla. Gracias a las políticas del presidente Ospina, la economía creció a grandes pasos: en minería, en industrias, en café, en comercio exterior, en ferrocarriles, en carreteras, en presupuesto público, en inversión privada y pública, etc. Ese impulso duró, después de que entregó la presidencia a Abadía Méndez, hasta el fin de 1929, cuando sobre el mundo occidental se abatió la Gran Depresión. El desarrollo físico y económico del país se paralizó (como en toda América y en Europa Occidental). El crecimiento del consumo de electricidad en Colom-

bia se vio frenado aunque no paralizado, hasta cuando en 1933 y 1934 se reanudó el crecimiento de la economía colombiana. Por eso, entre 1930 y 1938 no se hizo ni se instaló ninguna nueva planta, excepto la de Guadalupe en Medellín, de la que hablaremos luego.

LA COMPAÑIA COLOMBIANA DE ELECTRICIDAD

Desde 1909 se estableció en el país la Compañía Colombiana de Electricidad, una filial y dependencia de la empresa American and Foreign Power Company. Comenzó con una planta térmica que compró en Santa Marta, y con otra que montó en Ciénaga para dar electricidad a las instalaciones de la United Fruit Company en la zona bananera. Entre su iniciación y el año de 1920, la Compañía Colombiana de Electricidad se hizo propietaria de las plantas de Barranquilla, Santa Marta, Ciénaga, Aracataca, Buenaventura, Cali, Palmira, Buga, Tuluá, Honda, Zipaquirá, Mariquita, Girardot y otras poblaciones más pequeñas.

CUADRO 11
COMPAÑIA COLOMBIANA DE ELECTRICIDAD, 1937

Departamento	Potencia instalada (kW)
Atlántico (Barranquilla)	52.200
Magdalena	7.550
Cundinamarca (Girardot y Zipaquirá)	5.800
Tolima (Honda)	2.850
Valle (Cali y varias poblaciones)	15.800
Todo el país	84.200

Fuente: Alberto Pardo P., *Op. cit.*

La política de esa empresa no era instalar equipos sino comprar los que existieran, para tecnificarlos con una buena aplicación de la electrotecnia norteamericana, entonces en pleno desarrollo. Además, como es claro, la empresa actuaba en cada ciudad como monopolio local. Nunca compitió con empresas municipales ni con empresas privadas colombianas en una misma plaza. Hoy

se acepta que la calidad del servicio de la Colombiana de Electricidad era mediocre o mala, aun para las pequeñas escalas de la demanda local, en esos sitios y en esos años. Desde 1937 toda la energía eléctrica que se consumía en Barranquilla era de esta empresa. En ese momento daba servicio a dos capitales departamentales (Barranquilla y Santa Marta), a siete poblaciones importantes (Girardot, Palmira, Buga, Buenaventura, Zipaquirá, Honda y Mariquita), a once municipios y a seis corregimientos. Pero fue Barranquilla la ciudad que más dificultades tuvo con esta empresa, que fueron más notorias en los años treinta y cuarenta, cuando la ciudad aceleró su veloz crecimiento demográfico y económico. Finalmente, el gobierno compró esta empresa en 1967 y la cerró.

TECNOLOGIA ELECTRICA EN 1930

Después del gran debate, a fines del siglo XIX, en Estados Unidos y en Europa, entre los técnicos que abogaban por la corriente directa (encabezados por el famoso Tomás Alva Edison) y los que propendían por la corriente alterna (encabezados por George Westinghouse, Nikola Tesla y Charles P. Steinmetz), la tecnología de la CA dominaba ya el mundo industrial de Occidente. Además, a fines del siglo XIX el ingeniero y físico ruso Mikhail Ossipovich Dolivo-Dovrowolski había desarrollado en Alemania la teoría y la tecnología conceptual de los sistemas trifásicos. De manera que, durante la transición de ese siglo al siglo XX, la CA trifásica se imponía rápidamente en Estados Unidos y en los otros países industrializados. Simultáneamente, la iluminación con lámparas de Jablockoff y con lámparas de arco ordinario, la cual exigía CD, era sustituida por la bombilla incandescente que operaba muy bien con CA.

La empresa eléctrica de los Ospina en Bogotá fue la única que produjo solamente CD. Como ya vimos, operó de 1890 a 1903. Y cuando la empresa de los Samper Brush comenzó a generar en El Charquito, en 1900, lo hizo con dos generadores de CA trifásica para el alumbrado incandescente y para suministrar potencia a motores industriales. Desde 1903 desaparecieron las lámparas de arco de Bogotá y con ellas desapareció la CD de los sistemas públicos de energía en Colombia.

Tesla y Westinghouse habían desarrollado el diseño y habían iniciado la producción de equipo industrial de CA: alternadores, transformadores, circuitos monofásicos y trifásicos. Y Dolivo-Dovrowolski había inventado el motor de inducción, para una fase y para tres fases. Los voltajes que se usaban hacia 1930 para generar y transportar la CA eran pequeños (de una o unas pocas

decenas de kilovoltios) porque las cantidades de energía para transportar eran reducidas (de una o de pocas decenas de megavatios, aun en las mayores plantas de Estados Unidos) y las distancias eran pequeñas (a lo sumo algunas decenas de kilómetros). Los alternadores más grandes que se construían en el mundo en CA de tres fases hacia 1930, eran de 10 megavatios de potencia, o un poco más. De capacidades semejantes eran los mayores transformadores trifásicos. No había líneas de transmisión propiamente dichas, en Colombia, salvo la que iba de El Charquito a Bogotá. Casi todas las plantas estaban cerca de sus centros de carga (ciudades y poblaciones). En las muchas localidades donde el único uso de la electricidad era el alumbrado, las plantas eran de unas decenas de kilovatios, y generaban CA monofásica. Muy pocas poblaciones tenían 100 kilovatios o más en sus pequeñas plantas, que eran todas para el consumo local.

Respecto a la demanda, hacia 1930 los motores eléctricos de mayor potencia eran trifásicos y estaban en las dos fábricas de cementos que había en Colombia. Su potencia llegaba a 10 HP o algo menos. Motores monofásicos de uno a cinco HP ya se usaban, en buen número, para mover telares, trapiches de ingenios azucareros, compresores en fábricas de hielo, cervecerías, bombas para acueductos, estaciones de trenes, molinos de trigo, trituradoras de roca en minas, bombas de petróleo en oleoductos y refinerías, sierras circulares en aserraderos, tornos y taladros en talleres mecánicos, etc. Los bombillos incandescentes tenían ya filamento de tungsteno y atmósfera de argón a presión. En las casas, las bombillas más comunes eran de 50 ó 60 vatios, aunque lo usual era especificarlas por su potencia lumínica en bujías. Los tranvías públicos que había en Bogotá, Medellín y Pereira se movían con motores de CD, con campo estator y armadura rotor en serie (para darles alto torque de arranque). Eran alimentados por plantas especiales que recibían la CA del sistema público y la convertían en CD mediante unidades motogeneradoras (con motor de CA y dinamo generador de CD) también llamadas convertidores sincrónicos o rectificadores sincrónicos o rotatorios.

En unas pocas industrias y talleres apenas comenzaba a conocerse el equipo de soldadura eléctrica o de arco. No se conocía en el país el horno eléctrico de arco para fundir metales. Ni la celda electrolítica industrial, operada con CD. Ni equipos de galvanización electroquímica. En los hogares de las ciudades mayores apenas se comenzaba a usar la plancha eléctrica (inventada en Estados Unidos hacia 1895), el refrigerador doméstico (inventado hacia 1910), la aspiradora para pisos (inventada en Estados Unidos, en 1907, por Spangler), la lavadora eléctrica (patentada en ese país en 1907 por la empresa Hurley and Co.). Por excepción había una que otra estufa eléctrica de cocina (inventada en 1896 por Hodaway),

y sólo en casas de familias pudientes. Y, por supuesto, todos esos aparatos eran importados, así como conductores, contadores de energía, interruptores, aisladores, etc. El voltaje domiciliario (por ejemplo para las bombillas) era de 110 V en todas partes, menos en Bogotá, donde era de 150 V.

Al constituirse en 1927, Empresas Unidas de Energía Eléctrica de Bogotá, puso en operación una planta, entonces nueva, con 4.000 kW (o sea cuatro megavatios) de capacidad nominal. Para ilustrar algo el tipo de obra y de tecnología de que se trataba, se puede rememorar algo de sus características. Al inaugurarla, se la llamó simplemente Central de El Salto.

Para esa central se hizo el embalse del Muña (pequeño río afluente del Bogotá) con 41.4 millones de m^3 ($41.4 Mm^3$) que hoy están reducidos a un volumen útil de $32 Mm^3$. Del embalse hacia la planta se hizo un túnel de carga de 1.700 m de longitud. El túnel da paso a un tubo de presión con diámetro decreciente de 35.47 pulgadas (0.901 m) a 31.53 pulgadas (0.801 m). El caudal para el diseño fue fijado en 800 litros por segundo ($0.8 m^3/s$). Para operar el del Muña como embalse regulador, las aguas del río Bogotá eran bombeadas con el fin de superar un desnivel de 35 m.

En una casa de máquinas, que hoy nos parece muy pequeña y que entonces se veía muy grande, construida en la superficie del terreno, se instalaron las dos unidades que todavía están en servicio. Cada unidad consta de una válvula y una turbina tipo Pelton, con rotor vertical y eje horizontal, acoplado directamente a un alternador de 1.800 kW (1.8 MW) de potencia, a 60 ciclos, tres fases. El agua sale por un túnel de descarga que recorre 30 m y desemboca en el cauce del río Bogotá.

Esta obra fue en su tiempo una gran realización de ingeniería, así los ingenieros colombianos hubieran tenido muy poca participación en ella. En ese momento no había casi ningún profesional graduado como ingeniero electricista en el país. Y aunque los ingenieros civiles graduados en la Universidad Nacional de Bogotá y en la Escuela de Minas de Medellín ya sabían construir túneles, y algunos de ellos se habían autocapacitado en electrotecnia, se creía, en los medios empresariales, que nuestros ingenieros no tenían ni experiencia técnica ni capacidad financiera para manejar trabajos muy novedosos y complejos como éste.

En esa época las dos facultades mencionadas, más la del Cauca en Popayán y el Instituto Técnico Central de los padres salesianos en Bogotá, eran las únicas instituciones que enseñaban ingeniería y sólo impartían formación en ingeniería civil. Sus estudiantes recibían, más o menos en el tercer año de los cinco que duraba la carrera, un curso anual de electricidad (en algunas se llamaba

electricidad industrial), de nivel elemental. Algunas escuelas vocacionales en pocas ciudades ofrecían cursos prácticos para formar electricistas operarios. Así lo hacían los mismos salesianos en Bogotá; en el Instituto Industrial Dámaso Zapata en Bucaramanga, en el Instituto Pedro Justo Berrío en Medellín, y en otros. En pocas palabras, la disponibilidad de conocimientos y habilidades en ingeniería eléctrica y en ingeniería mecánica era escasa y de nivel no muy alto, aun para lo que se necesitaba en las menores escalas y en los equipos eléctricos y mecánicos más sencillos de aquel tiempo. En 1930 probablemente había menos de dos docenas de colombianos graduados como ingenieros electricistas, egresados de escuelas técnicas o universidades extranjeras. La primera facultad de ingeniería eléctrica en Colombia abrió sus puertas en 1950, en la Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga.

EXPANSION DEL MERCADO ELECTRICO E INDUSTRIALIZACION EN MEDELLIN, 1916-1928

El período de 1915 a 1930 fue de rápido crecimiento de la industria antioqueña, que en ese momento era la más desarrollada del país. En aquella ciudad operaban en 1916 numerosas trilladoras de café, seis o siete fábricas textiles mayores, dos de fósforos, una de cigarrillos, tres chocolaterías, dos fábricas de gaseosas, dos molinos de trigo, dos jabonerías, una curtiduría, tres fábricas mecanizadas de calzado, una planta de hielo, tres fundiciones (y otras en los alrededores), la vidriería en el municipio de Caldas y, allí mismo, la locería del mismo nombre, fuera de numerosas panaderías, talleres mecánicos, talabarterías, sastrerías, ladrilleras, carpinterías. Era sin duda el primer centro industrial del país.

Así mismo, alrededor de 1920 comenzaba a operarse un gran cambio tecnológico en la industria de todas las ciudades del país, el cual ya se había cumplido en Estados Unidos y Europa. Fue la sustitución del vapor por la electricidad como energía motriz. En Colombia comenzó hacia 1920 y quedó casi completa hacia 1930. Antes de esa transición, las fábricas con maquinaria de movimiento permanente (como telares, máquinas-herramientas, trilladoras, compresores, molinos y otras) tenían una caldera acoplada a un motor de vapor con un gran volante cilíndrico, liso. Este se acoplaba con correas de cuero a varios ejes de hierro o acero, largos, paralelos entre sí, dispuestos horizontalmente a lo largo de los salones de trabajo, cerca del techo. Cada eje llevaba, a intervalos iguales, una polea de hierro, de unos 20 a 40 cm de diámetro, abra-

zada por una correa de cuero cerrada. El otro extremo de estas correas se abrazaba a la polea motriz impulsora de cada máquina en movimiento. Estas máquinas, en el piso, se colocaban en línea recta, paralelamente al eje en el techo, que las movía mediante las correas verticales u oblicuas. Así pues, en un salón de telares se veían éstos en filas a lo largo del salón, paralelas a otros tantos ejes cercanos al techo, rotatorios y paralelos entre sí. Y de los ejes en el techo, a las máquinas en el suelo se veía un bosque de correas verticales o diagonales que las movían.

Al adoptar la electricidad, cada máquina móvil era dotada de su propio motor eléctrico, y éste quedaba conectado por conductores no muy visibles a las líneas de alimentación de las fábricas. Con este cambio, desaparecían los bosques de correas de transmisión, los ejes horizontales elevados que giraban a alta velocidad, las máquinas de vapor, las calderas y los depósitos de carbón.

Esta modificación tecnológica radical permitía algo sumamente importante: establecer pequeñas industrias, que operaban muy bien con motores eléctricos, y que con el sistema anterior (tan costoso, peligroso y engorroso) no hubieran podido existir. En efecto, aquél sólo podía actuar en fábricas y talleres con muchas máquinas y no en talleres pequeños.

El desarrollo textil se aceleró. En 1923 existían en Medellín y los poblados vecinos, 650 telares mecánicos y 16.500 husos de hilar. En 1930 había ya más de mil telares y de 30 mil husos. En 1927 se contaban allí nueve fábricas textiles, diez chocolaterías, 18 trilladoras de café, una vidriería, una locería, dos cervecerías, cuatro fábricas de café tostado y molido, cinco de cigarros y cigarrillos, una de confites, dos de confecciones, dos laboratorios de drogas, dos fosforeras, cinco fundiciones, una galletería, cinco fábricas de gaseosas, 20 ebanisterías, cinco jabonerías, una planta de licores, dos talleres manufactureros de cuero, una fábrica de mosaicos, tres molinos de harina, más de quince talleres de maderas, una fábrica de sombreros, 17 tipografías, tres fábricas de velas, etc. Es seguro que ya en ese momento todos esos establecimientos industriales tenían alumbrado eléctrico, y que usaban electricidad (casi todos) para mover motores, para calentar hornos, para electrogalvanizar metales o para operar soldadores de arco.

El crecimiento extraordinario de la planta industrial de Antioquia y del país, de su producción y de su actividad física, se pone de presente en las estadísticas de importación de algunos tipos de mercancías a toda Colombia y en especial de material eléctrico, que en gran parte iba para las fábricas. Tales cifras se muestran en el Cuadro 12.

CUADRO 12
COLOMBIA - IMPORTACIONES POR AGRUPACIONES, 1916-1928
 (Cantidades en toneladas)

	1916	1917	1918	1919	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928
Artes, oficios y profesiones	971	909	607	844	1.005	1.359	1.312	2.437	3.736	4.125	3.301
Barnices, etc.	810	725	506	987	1.240	1.412	1.434	2.209	2.211	3.046	3.169
Cristal, vidrio, etc.	15.882	14.593	9.270	14.550	23.080	39.727	42.014	52.734	72.829	117.473	156.361
Caucho, celuloide, etc.	88	61	38	74	134	218	233	411	414	604	803
Concha, carey, coral, etc.	42	25	13	11	24	43	37	42	143	66	62
Cueros y pieles	117	114	58	111	148	202	207	394	543	662	847
Material eléctrico	510	424	371	555	815	1.055	1.324	2.142	2.458	2.977	4.059
Metales	13.849	9.302	5.124	17.859	21.846	34.284	34.510	52.457	59.406	67.900	83.939
Papel, cartón, etc.	3.889	3.669	2.287	3.479	5.055	6.857	6.138	8.454	11.921	11.624	13.826
Miscelánea	66	49	352	225	316	486	454	646	699	9.242	2.267

Fuente: Anuario Estadístico de Antioquia, 1928-1930.

CUADRO 13
ALGUNOS FACTORES DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL, 1930-1950

Años	Producto bruto (Millones de pesos de 1950)	Población activa (Miles de personas)	Inversión bruta (Millones de pesos de 1950)	Capital existente (Millones de pesos de 1950)	Consumo industrial de electricidad (Miles kWh)
1929	198	107	135	1.193	n.d.
1930	192	114	35	1.198	n.d.
1931	188	117	22	1.173	n.d.
1932	216	121	20	1.146	n.d.
1933	253	125	31	1.132	n.d.
1934	269	129	45	1.130	28.765
1935	298	133	50	1.136	34.141
1936	325	136	64	1.152	46.791
1937	382	140	89	1.190	53.522
1938	390	145	109	1.248	61.486
1939	479	150	184	1.299	74.077
1940	448	156	81	1.368	74.151
1941	536	162	85	1.397	81.010
1942	555	168	36	1.377	81.132
1943	562	174	30	1.352	94.490
1944	631	181	48	1.346	107.672
1945	656	188	156	1.455	121.439
1946	749	196	201	1.584	138.120
1947	799	204	306	1.819	146.298
1948	871	213	281	2.021	166.838
1949	939	221	231	2.169	193.246
1950	1.068	232	250	2.329	219.183

Fuentes: Cepal, Anexo estadístico de *Desarrollo económico de Colombia, 1957*.
 Banco de la República, *XLII y XLIII Informe Anual del Gerente a la Junta Directiva. Segunda parte/67*.

Este proceso de crecimiento industrial (y económico, en general) no se circunscribía solamente a Medellín. También Bogotá, Barranquilla y Cali lo experimentaban. El índice retrospectivo proyectado, que la Cepal preparó en 1957 sobre Colombia, para la producción industrial a partir de 1925, muestra que el volumen físico de dicha producción, agregado para todo el país, creció aceleradamente a todo lo largo del quinquenio que terminó en 1930. Otros indicadores estadísticos confirman el rápido crecimiento económico en esos años. Por ejemplo, los siguientes:

Indicador	1925	1930	% aumento
Producto bruto interno nacional (PIB), en millones de pesos constantes de 1950	2189	2882	31.6
Aporte de la industria al PIB, en millones de pesos constantes de 1950	166	192	15.6
Aporte de la agricultura y la ganadería al PIB, en millones de pesos constantes de 1950	1288	1626	26.2
Producción de cemento, en toneladas	8659	9525	10.0
Producción de azúcar, en toneladas	37353	32669	-12.6
Producción de gasolina, en miles de barriles de 42 galones	93	285	206.4
Producción de cerveza, en miles de litros	12.4	17.3	39.5
Índice de cuántum (o cuantía) de la producción física de las industrias alimenticias, con base en 100.0 puntos de 1950	36.22	49.07	35.5
Producción de telas de algodón, en millones de metros cuadrados	26.2	22.5	-14.2
Consumo de electricidad, nacional, en miles de kilovatios-hora	64.96	110.43	70.0

Fuente: Gabriel Poveda, *Políticas económicas, desarrollo industrial y tecnología en Colombia, 1925-1930*.

Este crecimiento veloz y sostenido estuvo acompañado por una expansión todavía más rápida del mercado de electricidad en el país, cuyo consumo agregado nacional evolucionó así en esos años, según ha estimado el autor:

	1925	1926	1927	1928	1929	1930
Miles de kilovatios-hora	64.962	77.954	90.946	97.443	103.939	110.435

Fuente: G. Poveda R., *op. cit.*

Es decir, en cinco años el consumo creció en 70.09% acumulado, esto es, un 11.21% anual (acumulativo) promedio.

GUADALUPE I: PRIMERA GRAN HIDROELECTRICA

A comienzos de los años veinte, el joven estudiante de ingeniería de la Escuela de Minas, Francisco Eladio Restrepo, en sus correrías por las montañas de Antioquia, advirtió las posibilidades de aprovechar el salto que forma el río Guadalupe, no muy lejos de Medellín, antes de desembocar al río Porce. Poco después los ingenieros Julián Cock y Gabriel Sanín Villa escribieron un documento público en el cual recomendaban el aprovechamiento hidroeléctrico del Guadalupe. Así pues, la empresa municipal de energía de Medellín encargó al ingeniero Francisco E. Restrepo que examinara algunas caídas de agua cercanas a esa ciudad. El ingeniero Restrepo reconoció y estudió varias alternativas: la quebrada Ovejas cerca de la población de Barbosa; la cascada del río Guadalupe en el municipio de Carolina; la quebrada La Sucia, cerca a Ebéjico, y el río Grande, entre Donmatías y Barbosa. Restrepo recomendó decididamente el proyecto del río Guadalupe. Esto ocurrió en 1922.

Sin embargo, la idea despertó oposición por su altísimo costo y porque el potencial de generación era muchas veces mayor que la demanda de electricidad de Medellín en ese momento. (La capacidad de generación en Medellín era sólo de 4.150 kW).

No obstante, dado el rápido crecimiento económico y material de Medellín y de todo el país durante el gobierno de Pedro Nel Ospina (1922-1926), en 1927 la empresa municipal de servicios contrató con el ingeniero estadounidense Charles E. Waddell un estudio sobre tres sitios como posibles fuentes hidroeléctricas. El ingeniero Waddell recomendó nuevamente a Guadalupe, y orientó cómo desarrollarlo adecuadamente. En ese mismo año la empresa y el concejo municipal aprobaron el proyecto, y las actividades se iniciaron en octubre de 1927 bajo la dirección del ingeniero Luis Alfonso Correa. Uno de sus primeros pasos fue el de contratar el diseño del proyecto, para la capacidad de 120.000 kW (desproporcionadamente grande para este tiempo), con una firma norteamericana. Las obras comenzaron en 1929. Desde enero de 1930 se abatió sobre Colombia y el mundo la gran crisis mundial, pero el municipio de Medellín continuó realizando la obra. El ingeniero Alex Magnus Torpen asumió la dirección del proyecto, primero, y de la obra, después. En 1932 fue remplazado

por el ingeniero Jaime Arango Velásquez y con él se inauguró la central generadora en septiembre de 1932.

La planta tenía una estructura de toma o bocatoma, aguas arriba del salto de Guadalupe; una tubería de presión paralela a la caída de agua; una casa de máquinas en superficie, cerca al pie de la cascada, y un canal de descarga que, a corta distancia, desaguaba en el cauce inferior del río. La caída bruta del agua medía 555.0 metros, y la neta era de 510.0 metros. El caudal era de 1.3180 metros cúbicos por segundo. El equipo de generación consistía de dos unidades. Cada una tenía válvula; boquilla y turbina Pelton de eje horizontal, de un rodete y un chorro, con potencia aprovechable hasta 6.800 HP a la velocidad de 720 rpm. Cada turbina tenía un cojinete regulador acoplado mecánicamente. Fueron construidas por la fábrica Boving, y sus reguladores por la Verkstanden Kristinehan. Cada turbina estaba acoplada directamente a un alternador General Electric, trifásico, 60 ciclos por segundo, factor de potencia de 0.80. La potencia nominal de cada uno era de 6.250 kVA (correspondiente a 5.000 kW) y generaba a 6.600 voltios.

El sistema de Medellín quedaba en 14.150 kW, con amplia capacidad sobrante, en el peor momento de la Gran Depresión, cuando la demanda eléctrica estaba completamente estancada. Esta circunstancia permitió, en 1934, sacar de servicio la única unidad que todavía operaba en la antigua planta de Santa Elena. El sistema de la ciudad quedó así con 13.650 kW de capacidad.

Para transportar la energía desde la central hasta Medellín se construyó una subestación con dos transformadores en Guadalupe, y una línea de transmisión de un solo circuito trifásico, montada en altas torres de acero estructural, diseñada para una capacidad bastante holgada en potencia (para ensanches futuros de la generación), y a 110.000 voltios (110 kV = 110 kilovoltios) de tensión entre fases. En Medellín se construyó la subestación receptora junto al río Medellín.

Toda esta obra eléctrica y de ingeniería en su momento fue de magnitud extraordinaria. Y técnicamente constituía una importantísima novedad. Así por ejemplo, allí se hicieron por primera vez en Colombia muchas innovaciones en tecnología de ingeniería:

- La bocatoma era mucho más grande que lo que hasta entonces se había hecho en el país. El caudal de diseño era para 1.318 litros por segundo, mientras el de Plantavieja en el río Bogotá era sólo de 800 litros por segundo, o sea 0.8 metros cúbicos por segundo.

- La tubería de carga era en ese momento mucho más larga que cualquiera otra del país.
- La caída media neta que aprovechaba era espectacularmente alta: 502 metros de altura.
- La eficiencia hidroeléctrica era muy superior a lo que antes hubo en el país: 0.949 metros cúbicos por kilovatio-hora generado.
- Cada alternador era bastante mayor que cualquiera otro en el país.
- Los transformadores de la subestación elevadora en la central, y los de la subestación receptora en Medellín, eran con mucho margen, los más grandes que existían en Colombia, tanto en kilovoltamperios de capacidad, como en tensiones primarias y secundarias, en tamaño y en toneladas de peso.
- Por primera vez se construyó en el país una línea de transmisión de 75 kilómetros, y por un terreno muy áspero y escarpado. (La de El Charquito a Bogotá era y es bastante más corta, casi en línea recta, y recorre la muy plana sabana que rodea a la capital.
- La capacidad de la línea, en términos de potencia transportable, era también muy superior a la que le seguía, que era la de El Charquito-Bogotá.
- La tensión de la línea, de 110.000 voltios (110 kV), era ya una tensión internacionalmente establecida y muy usada en los grandes países. Numéricamente era casi seis veces mayor que la de la línea El Charquito-Bogotá (20 kV).

Para estimular el consumo de electricidad, en medio de la crisis económica mundial y de la virtual parálisis de la industria, la empresa de Medellín ofreció tarifas muy bajas y otros incentivos a la demanda, la cual, desde 1933, comenzó a reanudar su crecimiento. En 1934 la industria y el comercio de Antioquia estaban en plena mejoría. Y a continuación emprendieron una de las etapas de más acelerado crecimiento relativo y porcentual que ha tenido su historia. La demanda de electricidad, especialmente la de tipo industrial, creció con rapidez. Por eso la empresa de energía tuvo que agregar en 1938 otra unidad de turboalternador de 10 MW en Guadalupe, y otra más de 10 MW en 1939. Los registros estadísticos que conserva la empresa datan de 1936. En este año el consumo en Medellín fue de 49.064 Megavatios-hora ($49064 \text{ MWh} = 49.06$ millones de kilovatios-hora = 49.06 gigavatios-hora = 49.06 GWh). Por eso para atender esa demanda creciente, en 1938 y 1943 entraron tres unidades adicionales en Guadalupe, cada una con 10.000 kW, o sea 30 MW más.

Al comenzar la segunda guerra mundial, Medellín contaba ya con 33.650 kW de capacidad generadora, a pesar de haber suprimido desde 1934 la última unidad de la vieja central de Santa Elena. En diez años (1929-1939) había aumentado en ocho veces la capacidad de generación.

En los años finales del decenio de 1930 la demanda de potencia (la máxima momentánea dentro del año, o "pico" del año) y el consumo de energía en la empresa de Medellín crecieron con celeridad. Así lo muestran las siguientes cifras publicadas por esa empresa:

	1936	1937	1938	1939	1940
Pico de demanda de potencia en el año, en kilovatios (kW)	11.800	13.700	17.800	20.300	21.600
Consumo anual de energía en megavatios-hora (MWh)	49.064	56.687	69.138	86.388	91.757
Consumo en el país (MWh)	204.000	230.000	262.000	306.000	316.000

Fuente: Datos de Empresas Públicas de Medellín.

El Cuadro 14 muestra que tanto el pico de carga del año, como el consumo en Medellín, casi se duplican en el lapso de cuatro años. Y este fenómeno sin duda se debió al aumento de la actividad industrial de esta ciudad. Si no hubiera sido por Guadalupe, esta expansión fabril no hubiera sido posible.

En el conjunto del país, en ese mismo periodo, también aumentó rápidamente el consumo (55% en el cuatrienio de 1936 a 1940), pero no tan aceleradamente como en la capital antioqueña. En realidad en todos los años del lapso reseñado, Medellín consumió más electricidad industrial que Bogotá.

LOS AÑOS TREINTA EN BOGOTÁ

El decenio de los años treinta se inició en Bogotá, como en todo el país, en la atmósfera de crisis económica de la Gran Depresión; y en un nuevo clima político determinado por el cambio que llevó en 1930 al poder al presidente liberal Enrique Olaya Herrera. Además en 1932 estalló la guerra con el Perú.

CUADRO 14
RELACION KWH ANUALES CONSUMIDOS A KW DEMANDA MAXIMA
 Empresas Públicas de Medellín

Año	KW	MWH/anales	Relación MW/GWH
1936	11.800	49.064	4.15
1937	13.700	56.687	4.14
1938	17.800	69.138	3.89
1939	20.300	86.388	4.25
1940	21.600	91.757	4.25
1941	22.400	99.360	4.43
1942	23.090	103.501	4.48
1943	25.300	114.862	4.52
1944	29.300	130.221	4.45
1945	35.800	152.969	4.28
1946	41.500	179.835	4.33
1947	42.700	200.041	4.68
1948	42.780	211.610	4.95
1949	52.700	234.100	4.45
1950	53.800	250.388	4.70
1951	52.400	256.862	4.90
1952	77.900	309.316	3.96
1953	83.700	361.546	4.32
1954	96.800	418.810	4.32
1955	101.200	464.569	4.57
1956	117.400	489.293	4.57
	983.590	4.330.324	4.40

La relación entre megawattios y GWh (millones de kWh anuales) está entre 4.89 y 4.95. El consumo de Bello, por ejemplo, fue de 16.8 GWh en 1956, debe corresponder a una demanda entre 16.8/3.89 = 4320 kW y 16.8/4.95 = 3.400 kW

Fuente: Documentos de EE.PP. de Medellín.

El nuevo presidente tuvo dos ministros de Hacienda, autodidactas en economía: Jesús María Marulanda, nacido en Sonsón, y Esteban Jaramillo, nacido en Abejorral. Ambos antioqueños. El presidente y ellos se enfrentaron a la situación con gran decisión. Convocaron empréstitos internos; declararon la moratoria de las deudas entre particulares dentro del país y hacia el exterior; abolieron el patrón oro de la moneda; devaluaron el peso frente al dólar; se enfrentaron a los banqueros del exterior; reajustaron los aranceles a niveles resueltamente proteccionistas para los productores nacionales; dieron todo su apoyo a la naciente Federación Nacional de Cafeteros (fundada en 1927); crearon la Caja de Crédito Agrario Industrial y Minero con características de banca oficial de fomento, y le entregaron al Banco de la República el manejo de las divisas y de las tasas de interés. Además, lanzaron una vigorosa política keynesiana de construcción de obras públicas, especialmente ferrocarriles, carreteras, y servicios públicos municipales.

Estas medidas permitieron que desde 1933 se viera un movimiento cada vez más decidido de recuperación económica, financiera y fiscal de la economía. Así se hizo ver en la industria manufacturera: antiguas empresas se fusionaron para superar la crisis y volvieron a crecer; el desempleo en las ciudades mermó; nuevas fábricas y talleres surgieron en Bogotá, Medellín y otras partes; las exportaciones de café volvieron a aumentar; la construcción de edificios y viviendas urbanas recuperó su ascenso; consumos populares como las cervezas y las telas subieron pronto; y, en fin, el país vivió a lo largo del decenio restante, y hasta comienzos de la segunda guerra mundial, una fase de rápida expansión económica.

Algunos indicadores estadísticos agregados nacionalmente demuestran con elocuencia esa vigorosa expansión. (Véase el Cuadro 15).

Por diversas razones Bogotá (después de Medellín) fue la ciudad donde se hicieron más visibles esos progresos. Se construyeron edificios y extensas urbanizaciones; aumentó la población; nacieron nuevas fábricas y crecieron junto con las antiguas; aumentó su movimiento de automotores, de trenes y de aviones; se hizo la represa de La Regadera —la primera de cierta importancia en el país— para dar agua suficiente a la ciudad. Baste decir que si en 1928 la capital registró un censo de 235.421 habitantes, el censo de 1938 ascendió a 330.312.

A lo largo de ese proceso demográfico, físico y económico, la ciudad aumentó su consumo de energía eléctrica a pasos agigantados. Miles de nuevos abonados se conectaron a las redes; centenares de talleres y fábricas pidieron cada vez más energía y mayor potencia; los tranvías urbanos eléctricos recorrieron más kilómetros diarios; los motores en las fábricas trabajaban más horas diarias y a mayores velocidades. En las casas, que antes usaban comúnmente

CUADRO 15
LA EXPANSION INDUSTRIAL (1930-1940)

	1930	1932	1934	1936	1938	1940
Producción de cerveza (kilolitros)	17.30	12.40	37.10	43.50	53.60	64.5
Producción de cemento (10 ³ ton.)	9.52	19.92	72.00	105.00	153.80	189.00
Producción de telas de algodón (10 ³ m ²)	22.50	32.70	40.70	51.60	78.10	80.20
Producción de azúcar (10 ³ ton.)	32.67	39.81	33.20	30.90	48.75	51.92
PIB de la industria (10 ⁶ pesos de 1950)	192	216	269	325	390	448
Empleo en industrias (10 ³ personas)	114	121	129	136	145	156
Consumo electricidad industrial (GWh)	n.d.	n.d.	28.76	46.79	61.49	74.15

Fuente: G. Poveda R., *Políticas económicas, desarrollo industrial y tecnología en Colombia, 1925-1930.*

bombillas de 25 ó 50 vatios, fueron cambiándose por las de 50, 60 ó 100 vatios. Además, en todas las casas se instalaban más bombillas. La clase media alta y la de mayores ingresos aprendieron a adquirir y a usar los refrigeradores eléctricos y las estufas eléctricas para cocina. Los radiorreceptores se multiplicaron por millares. Muchas radioemisoras nuevas se abrieron y operaron más horas del día y de la noche. Las salas de cine, con sus proyectores de arco eléctrico y sus equipos electrónicos de sonido, presentaban cada vez más películas.

Las grandes fábricas tradicionales que habían funcionado con calderas y máquinas de vapor, las remplazaron pronto por el motor de inducción de CA, monofásico o trifásico. Los talleres mecánicos que antes soldaban con oxígeno y acetileno, aprendieron a hacerlo con arco eléctrico. Los consumos por instalación-mes crecían en todas partes.

En 1933 el Banco de la República comenzó a registrar y a publicar los consumos de energía eléctrica en la capital. Aún eran pequeños, si los comparamos con los de hoy; pero ya iban en ascenso acelerado, como se ve en esta serie estadística de 1933 a 1942.

GENERACION NETA DE ELECTRICIDAD TOTAL

Año	Megavatios-hora	Tasa de crecimiento (% anual)
1933	40.071	
1934	45.702	14.05
1935	50.206	9.85
1936	55.264	10.07
1937	58.810	6.41
1938	63.983	8.79
1939	73.116	14.27
1940	72.933	-2.50
1941	80.182	9.93
1942	84.331	5.17

Fuente: *Revista del Banco de la República*, varios números.

En cuanto al suministro de electricidad en Bogotá, pronto comenzaron a aparecer problemas. Empresas Unidas de Energía Eléctrica se vio afectada por el estallido de la crisis en octubre de 1929 que la encontró bastante endeudada y con altos costos financieros. Para construir nuevas redes y subestaciones distribuidoras necesitaba sumas considerables, y, por supuesto, el pequeñísimo mercado de capitales del país no los tenía, y menos en las condiciones económicas de la crisis mundial. La Bolsa de Bogotá había sido fundada en 1928 y dos años después, la crisis la tenía sumida en la postración. Nadie invertía ni un peso en nada. No entraba ni un dólar de inversión externa. Los bancos estaban virtualmente cerrados y nadie prestaba un centavo. Los Samper y los Pumarejo, los mayores accionistas de Empresas Unidas de Energía estaban en iguales condiciones de insolvencia. Cuando comenzaron a recuperarse, después de 1934, ambos tuvieron que dedicar sus recursos frescos a pagar deudas dentro y fuera del país y a capitalizar sus otros varios negocios. La compañía eléctrica escasamente pudo, en todo el curso de los años treinta, instalar tres pequeños turboalternadores de vapor, alimentados por carbón, en la central de El Charquito.

El resultado de esta situación de insolvencia de la empresa y de sus socios fue que la dotación de equipo de generación quedó estancada casi en el estado que tenía al llegar 1930. La insuficiencia de Empresas Unidas para atender debidamente a Bogotá en ese período, contrastaba drásticamente con la situación eléctrica en Medellín en la misma época. Así por ejemplo, en 1936 la capacidad generadora nominal de Bogotá era de 16.000 kilovatios, mientras en Medellín era de 13.650 kilovatios. Y durante ese mismo año, en la capital de la

república se generaron 55.264 megavatios-hora en plantas. Después de descontar el gasto propio de la empresa, las pérdidas en línea de transmisión y las pérdidas en distribución (que en conjunto serían por lo menos el 20% de lo generado), puede estimarse que los suscriptores consumieran 44 ó 45 mil MWh. En ese mismo año Medellín era una ciudad bastante menor que Bogotá en superficie, en población y en abonados eléctricos. Pero aun así, consumió 49.064 MWh en todas sus instalaciones.

Para agravar la insuficiencia eléctrica de la capital del país, el río Bogotá, que accionaba los generadores de El Charquito, sufría sequías (hoy decimos estiajes) pronunciadas, como no había ocurrido antes. En el río sólo había el embalse de Alicachín, con muy pequeña capacidad, como medio de regulación del caudal. Así que las sequías, aun las breves, repercutían directamente rebajando la capacidad efectiva de la planta de El Charquito. Eso fue lo que sucedió durante el año de 1940, cuando el fenómeno fue tan severo que solamente se generaron en esa ciudad 72.9 gigavatios-hora (72.9 GWh), o sea una cantidad menor que durante 1939.

Precisamente en ese año el problema de la escasez de energía eléctrica era ya una cuestión que preocupaba al común de las gentes, a los industriales, a los gobernantes y a los ingenieros de Bogotá. En un número de la revista de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, *Anales de Ingeniería*, correspondiente al año ya indicado, hay un interesante artículo en donde los ingenieros Vicente Pizano, Julio Jácome y Andrés Obregón señalaban que la empresa de energía solamente reunía, a lo sumo, 18.000 kilovatios: 5.700 kW hidroeléctricos en El Charquito, en invierno; 5.200 kW hidroeléctricos en El Salto; y 8.100 en la térmica de El Charquito. Advertieron que en verano la hidroeléctrica de El Charquito sólo alcanzaba a generar 1.132 kW en su punto máximo. Y llamaban la atención sobre la muy insuficiente dotación. Por contraste, en 1939 Medellín podía generar, en firme, 20.300 kW, gracias sobre todo a la central de Guadalupe.

En esos años críticos las industrias bogotanas tuvieron muchos y serios problemas eléctricos: apagones inesperados, bajos voltajes, bajas frecuencias (que debían estar normalmente en 60 ciclos por segundo), racionamientos, bajos factores de potencia y, en general, mal servicio y muy poca confiabilidad. La solución que ellos buscaron fue la de dotarse de plantas diesel eléctricas para autoabastecerse durante las emergencias e, inclusive, permanentemente. El autor de este trabajo oyó un testimonio de labios del ingeniero Vicente de la Cuesta, quien en todos esos años trabajó en Bavaria, en Bogotá, y que con el tiempo fue presidente de esta empresa cervecera. Precisamente en los años treinta o cuarenta, Bavaria instaló para su servicio una termoeléctrica de vapor de 1.000 kW en su fábrica localizada en el corazón de Bogotá.

CUADRO 16

GENERACION ELECTRICA POR DEPARTAMENTOS, 1939-1967
Gigavatios-hora en cada departamento en el año*.

Departamento	1939	1953	1960	1967
Antioquia	59.9	472.5	851.1	1709.5
Atlántico	30.1	151.0	280.6	468.3
Bolívar ¹	10.6	45.0	75.7	201.6
Córdoba ¹	-	-	10.7	35.4
Sucre ¹	-	-	-	18.8
Boyacá	1.0	7.5	11.7	128.9
Caldas ²	19.9	131.0	211.3	278.1
Quindío ²	-	-	-	48.7
Risaralda ²	-	-	-	93.7
Cauca	2.9	11.0	23.4	47.2
Cundinamarca	75.9	319.0	725.3	1442.0
Chocó ³	-	-	1.9	4.0
Guajira ⁴	-	-	-	10.2
Huila	0.81	8.0	18.5	42.2
Magdalena ^{4 5}	4.4	18.0	27.7	55.9
Cesar ⁵	-	-	-	14.4
Meta ⁶	-	-	4.1	13.9
Nariño	0.7	20.0	21.7	69.1
Norte de Santander	1.4	24.0	35.8	99.3
Santander	3.9	34.0	62.0	128.8
Tolima	2.7	21.0	16.4	91.8
Valle	24.7	146.0	416.8	911.3
Intendencias ⁷	12.6	2.0	-	13.7
Comisarias ⁸	0.0	-	-	9.4
Total país ⁹	322.5 ¹⁰	1.410.0 ¹¹	2.795.0 ¹²	5.936.3 ¹³

Fuente: Alberto Pardo P., *Geografía económica y humana de Colombia*.

* A. Pardo P. trae este cuadro (véase la bibliografía). Pero indica que la unidad de medida es de "miles de kilovatios-hora" (MWh = megavatios-hora. Evidentemente está errado en un factor de 10^{-3} . Porque la unidad no puede ser otra que "millones de kilovatios-hora (GWh = gigavatios-hora). Así se deduce, forzosamente, al confrontar este cuadro con muchas otras fuentes enteramente confiables.

1. En 1939 y en 1953 Bolívar incluía a Córdoba y a Sucre. Después Córdoba se separó de Bolívar. En 1960 Bolívar incluía a Sucre. Posteriormente Sucre también se separó.
2. En 1939, 1953 y 1960 Caldas incluía íntegramente a Quindío y a Risaralda. Después estos últimos se separaron; primero Quindío y luego Risaralda.
3. En 1939 y 1953 el Chocó tenía el carácter de intendencia. Aún no era departamento.
4. En 1939 y 1953 la Guajira era una comisaría. En 1960 era una intendencia. Posteriormente se convirtió en departamento y en ese momento se le agregó una parte del extremo nororiental del vecino departamento del Magdalena.
5. En 1939, 1953 y 1960 el Cesar era parte integrante del territorio del Magdalena. Era la parte sur del Magdalena. En 1966 ya estaba separado.
6. En 1939 y 1953 el Meta era una intendencia. En 1960 ya era departamento.
7. En 1939 la isla de San Andrés, Quibdó y Villavicencio tenían pequeñísimas plantas térmicas para alumbrado público que sólo funcionaban de noche. En todo el resto de las intendencias no había este servicio. Ellas eran: Meta, Chocó, San Andrés y Providencia y la Guajira. En 1960 eran intendencias

Continúa en la página siguiente

El motor diesel era conocido a mediados de los años treinta por algunos poquísimos conductores de camiones "pesados" (¡los más grandes eran para 8 ó 10 toneladas!) y por los mecánicos (todavía menos en número) que los servían. En 1935 llegó al país el primer bulldózer, equipado con motor diesel. Y en esos años las fábricas de Bogotá importaron gran número de grupos electrogeneradores (solía decirse electrógenos) movidos por diesel. Desde entonces su uso en el país sigue multiplicándose.

Los problemas que en los años treinta y cuarenta, afectaban a Bogotá y a Barranquilla, con sus respectivas empresas eléctricas de particulares, junto con la profunda conciencia sobre el interés público por parte del presidente Alfonso López Pumarejo (1934-1938) y de sus colaboradores, movieron a ese gobierno a señalarle al país el carácter esencial de la energía eléctrica para la vida del país y para su proceso de desarrollo rápido. Ministros, gobernadores y parlamentarios hicieron eco de esta inquietud. Y cuando el presidente Eduardo Santos Montejó (1938-1942) subió a la presidencia, su ministro de Gobierno llevó al Congreso el proyecto que fácilmente se convirtió en la ley 26 de octubre de 1938. Su primer artículo decía: "El suministro de energía eléctrica es un servicio público fundamental, y en su establecimiento, desarrollo y financiación, cooperarán la Nación, los departamentos y los municipios". Y en el artículo 24 agregaba: "Declárese de utilidad pública la adquisición por la Nación, los departamentos y los municipios de las empresas de producción, conducción y distribución de energía eléctrica, las de teléfonos y las de acueductos dedicadas a prestar servicio público".

Viene de la página anterior

- San Andrés y Providencia, Guajira, Putumayo y Arauca. La energía que se generaba en sus capitales y uno o dos pueblos más era insignificante. Por eso en 1960 aparece el símbolo "..." en el cuadro.
8. Los territorios que eran comisarías en 1939, 1953 y 1960 carecían de servicios públicos de electricidad (era el caso en 1939) o ésta era insignificante (en 1953 y 1960). Las que en 1967 eran comisarías ya generaban en una pequeña cantidad registrable, que el cuadro muestra.
 9. El libro de Alberto Pardo que trae estas cifras no dice de dónde las tomó. Las de 1939 y 1950 proceden, probablemente, de la Contraloría Nacional, que en esos años llevaba las estadísticas oficiales. Las de 1960 y 1967 se originan, casi sin duda, en el Departamento de Estadística (salvo errores de transcripción, si los hubiere).
 10. La serie de G. Poveda R. en *Políticas económicas...* (véase la bibliografía), estima para 1939 que el consumo (que siempre y en todo caso es menor que la generación) en todo el país fue de 251.19 gigavatios-hora. De esto, calcula que 74.077 fueron a usos industriales. Aquí la generación se da en 322.5 GWh. Los datos parecen compatibles.
 11. G. Poveda R., *op. cit.*, estima que en 1953 se consumieron en el país 1.012.03 GWh. Aquí se informan 1.410 GWh generados. Hay una discrepancia notoria.
 12. El mismo autor estima que en 1960 se consumieron 2.223.75 GWh. Aquí se informan 2.795.0 GWh generados. Parecen compatibles.
 13. Ese autor estima el consumo, en 1967, en 4.046.89 GWh. Aquí se informa una generación de 5.936.6 GWh. La discrepancia tiene un sentido aceptable, pero su valor absoluto es exagerado.

CUADRO 17
COLOMBIA: CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA, 1934-1955

Años	Consumo de electricidad pública		Distribución del consumo total		
	Total (millones de kWh)	Porcentaje de la producción	Industrial (porcentaje)	Otros (porcentaje)	Consumo total por habitante
1934	136	87	-	-	21
1935	163	90	-	-	24
1936	204	88	-	-	28
1937	230	89	-	-	32
1938	262	89	-	-	35
1939	306	89	-	-	39
1940	316	87	-	-	40
1941	335	87	-	-	41
1942	351	87	-	-	42
1943	375	87	-	-	45
1944	434	87	-	-	50
1945	492	86	36	64	55
1946	578	85	-	-	62
1947	641	85	-	-	67
1948	692	85	-	-	70
1949	789	85	-	-	79
1950	873	84	-	-	67
1951	931	84	-	-	93
1952	1.059	84	-	-	105
1953	1.211	84	37	63	118
1954	1.350	83	-	-	129
1955	1.450	83	-	-	142

Ya el tema del servicio público de electricidad comenzaba a ser un asunto de interés nacional, y se formaba un embrión de sector eléctrico, como mostró un censo de plantas electrogeneradoras que hizo la diligente —en ese tiempo— Contraloría General de la Nación, encomendada al joven y promisorio político Carlos Lleras Restrepo, en el año de 1937. El censo encontró 226 plantas de servicio público en toda Colombia con una capacidad de 144.108 kVA (alrededor de 118.000 kW). Pese a la crisis, había una capacidad 2.6 veces mayor que los 45.000 kW de 1930. La Contraloría encontró que las 226 plantas habían generado 263.400 megavatios-hora durante ese año. Era un salto espectacular en sólo siete años, con tremendas dificultades económicas.

CHAPTER II

GENERAL INFORMATION

Year	Population	Area	Population Density
1950	1,000,000	100,000	10
1955	1,100,000	100,000	11
1960	1,200,000	100,000	12
1965	1,300,000	100,000	13
1970	1,400,000	100,000	14
1975	1,500,000	100,000	15
1980	1,600,000	100,000	16
1985	1,700,000	100,000	17
1990	1,800,000	100,000	18
1995	1,900,000	100,000	19
2000	2,000,000	100,000	20
2005	2,100,000	100,000	21
2010	2,200,000	100,000	22
2015	2,300,000	100,000	23
2020	2,400,000	100,000	24
2025	2,500,000	100,000	25
2030	2,600,000	100,000	26
2035	2,700,000	100,000	27
2040	2,800,000	100,000	28
2045	2,900,000	100,000	29
2050	3,000,000	100,000	30
2055	3,100,000	100,000	31
2060	3,200,000	100,000	32
2065	3,300,000	100,000	33
2070	3,400,000	100,000	34
2075	3,500,000	100,000	35
2080	3,600,000	100,000	36
2085	3,700,000	100,000	37
2090	3,800,000	100,000	38
2095	3,900,000	100,000	39
2100	4,000,000	100,000	40

The population data presented in this table is based on the most recent available data from the United States Census Bureau. The population density is calculated by dividing the total population by the total area. The data shows a steady increase in both population and population density over the period shown.

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo Latorre, Eduardo
(1957) **La Comisión Corográfica**. Bogotá: Banco de la República.
- Acosta de Samper, Soledad
(1969) **Los piratas en Cartagena**. Medellín: Bedout.
- Acosta, Joaquín
(1971) **Historia de la Nueva Granada**. Medellín: Bedout.
- Acuña, Luis Alberto
(1950) "Esbozo biográfico de Agustín Codazzi". **Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fis. y Nat.** Bogotá: 8 (29).
- Ancízar, Manuel
(1970) **Peregrinación de Alpha**. Bogotá: Banco Popular, 2 vols.
- Arias de Greiff, Gustavo
(1984) "A todo vapor en 1984". **Revista Lámpara**. Bogotá: 12 (94).
(1986) **La mula de hierro**. Bogotá: Carlos Valencia Editores.
- Ashton, T. S.
(1950) **La revolución industrial**. México: Fondo de Cultura Económica.
- Asimov, Isaac
(1981) **Momentos estelares de la ciencia**. Madrid: Alianza Editorial.
- Asociación Nacional de Industriales
(1961) **Medellín y su área circundante**. Medellín.
- Atherton, W. A.
(1984) **From Compass to Computer**. San Francisco: San Francisco Press.
- Bateman, Alfredo
(1959) **Francisco José de Caldas: el hombre y el sabio**. Ensayo biográfico y crítico de la personalidad del ilustre payanés, presentado al concur-

- so abierto por el departamento de Caldas, según Decreto 645 de septiembre 10 de 1953, con motivo del Cincuentenario de la creación de dicho Departamento. Manizales: Imprenta Oficial.
- (1971) "Historia de la matemática y la ingeniería". En: Jaramillo Uribe, Jaime. **Apuntes para la historia de la ciencia en Colombia**. Bogotá: Colciencias, vol. 1.
- (1972) "Manuel Ponce de León". En: Bateman, A. **Páginas para la historia de la ingeniería colombiana**. Bogotá: Editorial Kelly: 508-512.
- (1972) "Ramón Guerra Azuola". En: Bateman, A. **Páginas para la historia de la ingeniería colombiana**. Bogotá: Editorial Kelly: 409-412.
- (1972) "Agustín Codazzi". En: Bateman, A. **Páginas para la historia de la ingeniería colombiana**. Bogotá: Editorial Kelly: 581-611.
- (1972) **Páginas para la historia de la ingeniería colombiana**. Bogotá: Editorial Kelly.
- Bernal, John D.
(1973) **Ciencia e industria en el siglo XIX**. Barcelona: Ediciones Martínez Roca.
- Boll, Marcel
(1961) **Histoire de la Mécanique**. París: Presses Universitaires de France.
- Boussingault, J. B.
(1985) **Memorias**. Bogotá: Banco de la República, 5 vols. (Traducido por Alexander Koppel de León).
- Bowers, Brian
(1982) **A History of Electric Light and Power**. Nueva York: Peter Peregrinus Ltd.
- Bravo Betancur, José María
(1974) **Monografía sobre el Ferrocarril de Antioquia**. Medellín: Multigráficas.
- (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.
- Burden, Nielson
(1960) **66 Centuries of Measurement**. Sheffield Corporation.
- Cámara de Comercio de Cartagena
(1924) **Souvenir of Cartagena de Indias**. Cartagena: Tipografía Mogollón.

- Caro Molina, Fernando
(1954) **De Agustín Codazzi a Manuel María Paz**. Cali.
- Castrillón Arboleda, Diego
(1979) **Tomás Cipriano de Mosquera**. Bogotá: Arco.
- Cisneros, Francisco Javier
(1880) **Memoria sobre la construcción de un ferrocarril de Puerto Berrío a Barbosa (Estado de Antioquia)**. Nueva York: Imprenta y Librería de N. Ponce de León.
- Cock, Julián
(1938) "Estudio de una empresa siderúrgica en Medellín". Tesis de ingeniero. Medellín: Escuela Nacional de Minas.
- Codazzi, Agustín
(1973) **Memorias**. Traducción de Andrés Soriano Lleras y Fr. Alberto Lee López. Bogotá: Banco de la República.
- Comisión Corográfica. Colombia
(1856) **Jeografía física i política de las provincias de la Nueva Granada: Provincias de Socorro, Vélez, Tunja y Tundama**. Bogotá: Imprenta del Estado.
(1957) **Jeografía física i política de las provincias de la Nueva Granada: Provincias de Socorro y Vélez**. Bogotá: Banco de la República (Archivo de la Economía Nacional: 21).
(1958) **Jeografía física i política de las provincias de la Nueva Granada: Provincias de Soto, Santander, Pamplona, Ocaña, Antioquia y Medellín**. Bogotá: Banco de la República (Archivo de la Economía Nacional: 23).
(1958) **Jeografía física i política de las provincias de la Nueva Granada: Provincias de Tunja y Tundama**. Bogotá: Banco de la República (Archivo de la Economía Nacional: 22).
(1959) **Jeografía física i política de las provincias de la Nueva Granada: Provincias de Córdoba, Cauca, Popayán, Pasto y Túquerres**. Segunda Parte: Informes. Bogotá: Banco de la República (Archivo de la Economía Nacional: 24).
- Congrains Martin, Enrique
(1979) **Las maravillas de Colombia**. Bogotá: Editorial Forja, 4 vols.
- Dampier-Whetham, William C.
(1944) **Historia de las ciencias**. México: Editorial Mexicolee.
- DANE
Anuario general de estadística. Bogotá: DANE. Distintos números.

- (1981) **Panorama estadístico de Antioquia: Siglos XIX y XX**. Bogotá: DANE.
- Davis, Raymond E. y Fooks, Francis S.
 (1940) **Surveying. Theory and Practice**. Nueva York: McGraw-Hill.
- De Camps, L. Sprague
 (1974) **The Ancient Engineers**. Nueva York: First Ballantine Books.
- Departamento Administrativo de Planeación
Boletín Estadístico de Antioquia. Medellín (1-13).
- Derry, T. K. y Williams, Trevor I.
 (1960) **A Short History of Technology**. Londres: Oxford University Press.
- De Solla Price, Derek
 (1964) **Science since Babylon**. New Haven: Yale University Press.
- Dorta, Enrique Marco
 (1951) **Cartagena de Indias: la ciudad y sus monumentos**. Sevilla: Tipografía España.
- Ducasse, Pierre
 (1958) **Histoire des techniques**. París: Presses Universitaires de France.
- Dugand, Armando
 (1954) "Itinerarios botánicos de José Jerónimo Triana". **Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fís. y Nat.** Bogotá: 5 (20), agosto.
- Empresa Nacional de Telecomunicaciones de Colombia
 (1970) **Historia de las comunicaciones en Colombia**. Bogotá: Litografía Arco.
- Empresas Públicas de Medellín
 (1979) **Equipo electromecánico de las plantas de energía**. Medellín: Gerencia de Energía.
 (1985) **Central hidroeléctrica de Guadalupe IV**. Medellín: Oficina de Comunicaciones.
 (1985) **Empresas Públicas de Medellín: Fuente vital de bienestar y progreso 1985**. Medellín: Oficina de Comunicaciones.
 (1989) "Evolución del desarrollo hidroeléctrico en el departamento de Antioquia". **Revista Empresas Públicas de Medellín**. Vol. II, Nos. 3 y 4, julio/diciembre.
- Empresas Públicas de Medellín. División Riogrande
 (s.f.) **Sistema Riogrande II, acueducto y energía**. Medellín: Oficina de Comunicaciones.

- Flin, M. W.
(1966) **Origins of the Industrial Revolution**. Londres: Longmans and Green Co.
- Ford, Henry
(ca 1945) **Biografía de Thomas Alva Edison**.
- Fulton, Charles Herman
(1910) **Principles of Metallurgy: An Introduction to the Metallurgy of the Metals**. Nueva York: McGraw-Hill.
- Galindo, Aníbal
(1978) **Estudios económicos y fiscales**. Bogotá: Anif-Colcultura.
- García, Julio César
(1962) **Historia de la instrucción pública en Antioquia**. Medellín: Universidad de Antioquia.
- General Motors
(1956) **The History of Power**. Detroit: General Motors Corp.
- Gille, Bertrand
(1966) **Histoire de la métallurgie**. París: Presses Universitaires de France.
- Gómez Picón, Rafael
(1948) **Magdalena, río de Colombia**. Bogotá: Editorial Antena.
- Grimberg, Carl
(1967) "El siglo del liberalismo". En: **Historia Universal Daimon**. Madrid: Daimon.
- Guerra Azuola, Ramón
(1891) "Personal de la Comisión Corográfica". **Revista Literaria**, T. II. En Caro Molina, Fernando. "De Agustín Codazzi a Manuel María Paz". Cali.
- Hagen, Victor W. von
(1958) **Aztec, Man and Tribe**. Nueva York: Mentor Books.
(1961) **El imperio de los Incas**. México: Diana.
(1964) **El mundo de los Mayas**. México: Diana.
- Hawke, David Freeman
(1988) **Nuts and Bolts of the Past: A History of American Technology, 1776-1860**. Nueva York: Harper and Row.
- 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.

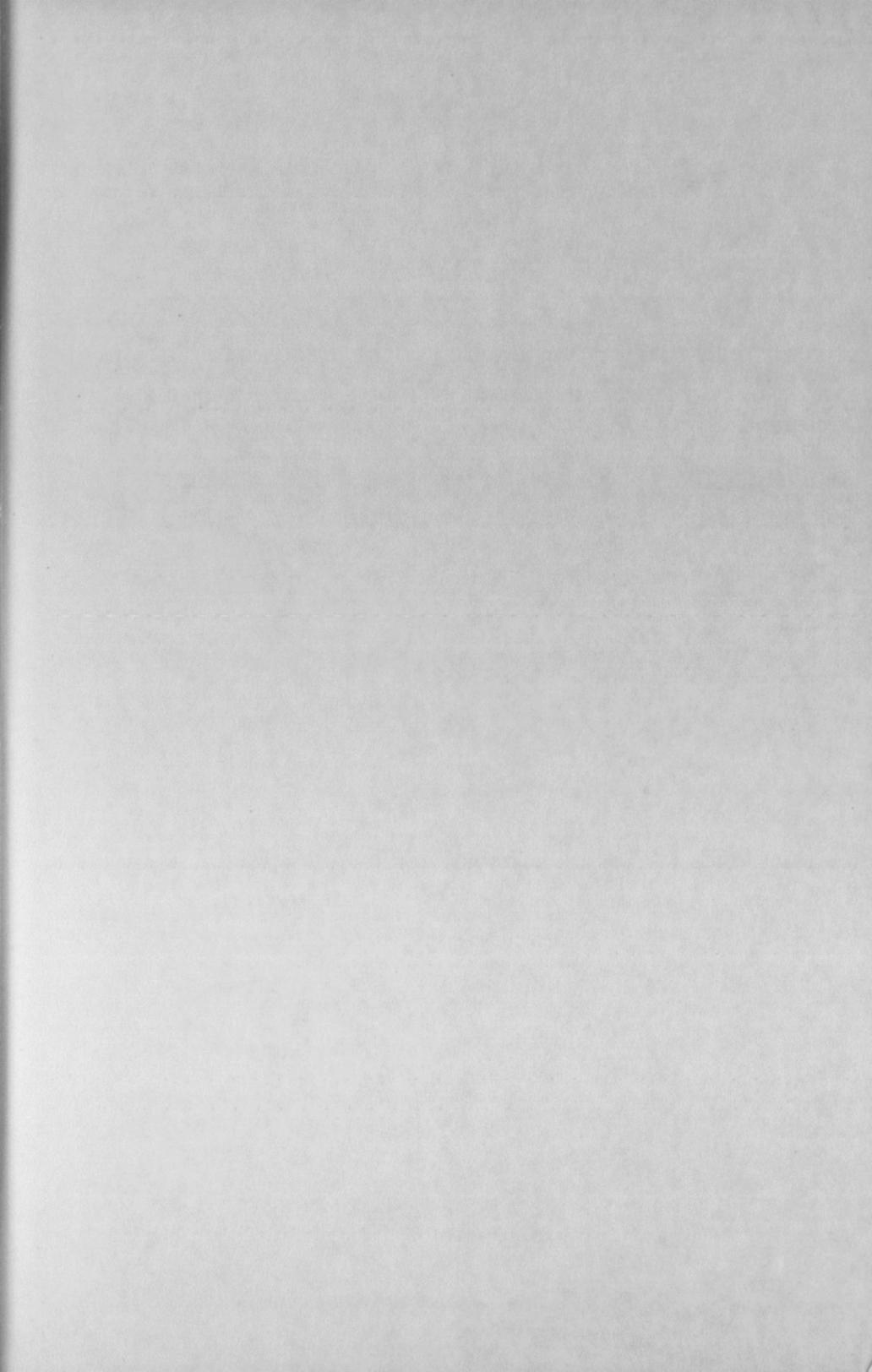
- Henao, Jesús María y Arrubla, Gerardo
(1967) **Historia de Colombia**. Bogotá: Editorial Voluntad.
- Henry Ford Museum
(1974) **Mechanical Arts at the Henry Ford Museum**. Detroit: Edison Institute.
- Hope, Edmond
(1909) **Histoire de la physique**. París: Librairie Hachette (traducción del inglés).
- Humphrey Beggs, Mary, Gregory, Hugh y Humphrey, Darlow
(1976) **The Industrial Revolution**. Londres: Ed. George Allen.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi
(1971) **Atlas de mapas antiguos de Colombia**. Bogotá: Litografía Arco.
- Interconexión Eléctrica S.A., ISA
(1982) **Energía para integrar a Colombia**. Medellín: Colina.
(1985) **El sistema eléctrico en Colombia**. Medellín.
(1988) **20 años entregando su energía al país**. Medellín.
- Jeans, James
(1982) **Historia de la física**. México: Fondo de Cultura Económica.
- Juan, Jorge y Ulloa, Antonio de
(1981) **Noticias secretas de América sobre el estado naval, militar y político de los reinos del Perú y provincias de Quito, Costas de la Nueva Granada y Chile**. Bogotá: Banco Popular, 2 vols.
- Kirby, Richard Sheldon *et al*
(1990) **Engineering History**. Nueva York: Dover Publications Inc.
- Liévano, Indalecio
(1854) **Curso de Algebra**. Bogotá: Imprenta Nacional.
(1857) **Lecciones de análisis matemático**. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Liévano Aguirre, Indalecio
(1944) "Rafael Núñez". **Cromos**. Bogotá.
- Lleras Restrepo, Carlos
(1983) **Crónica de mi propia vida**. Bogotá: Stamato Editores, 4 vols. (1-2), enero/diciembre.
- Mandelbaum, Arnold
(1967) **Electricity: The Story of Power**. Nueva York: Washington Square Press Inc.
- Mason, Stephen
(1985) "La ciencia del siglo XVIII". En: Mason, Stephen. **Historia de las ciencias**. Madrid: Alianza Editorial, vol. 3.

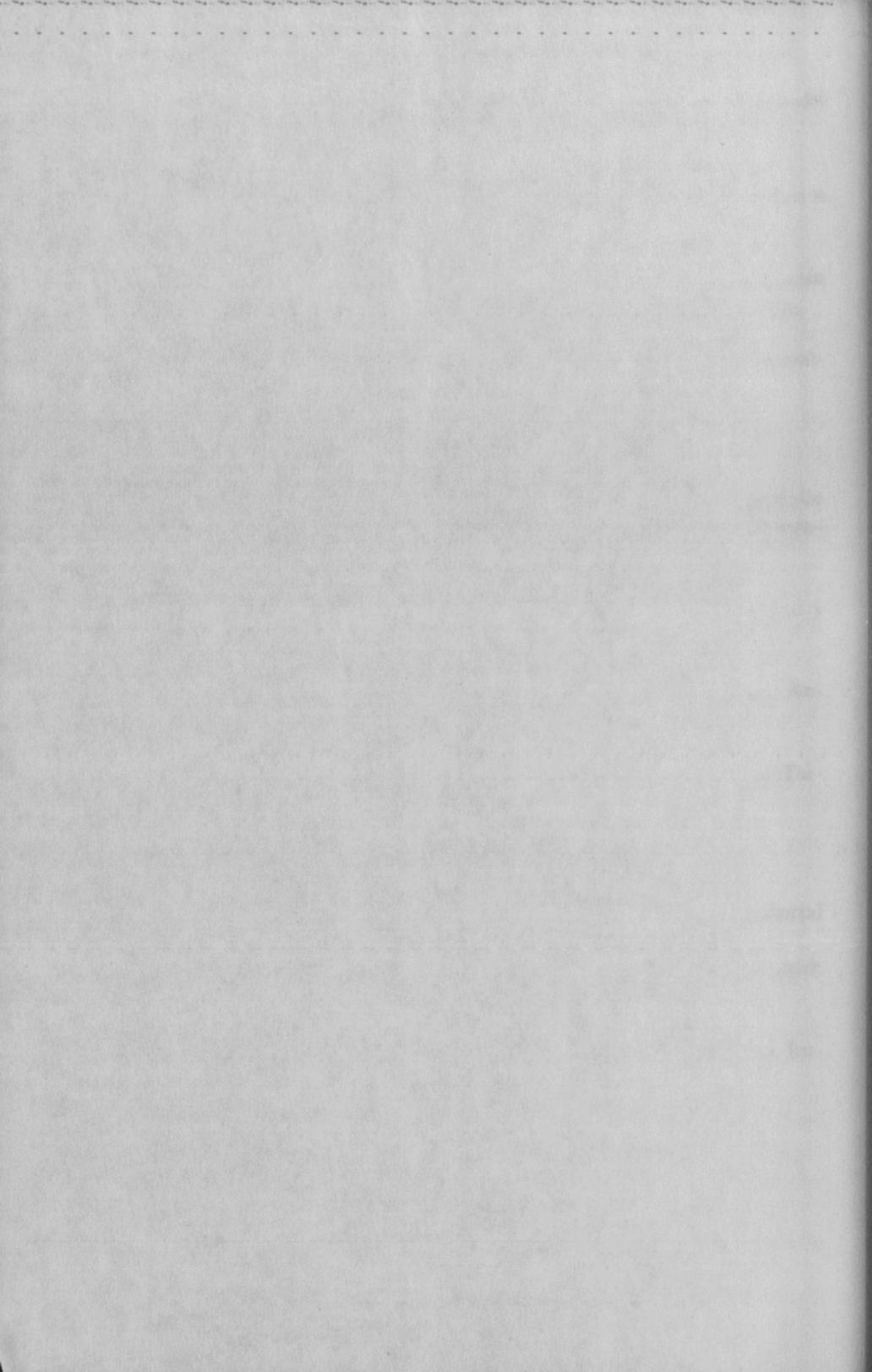
- (1986) "La ciencia del siglo XIX". En: Mason, Stephen. **Historia de las ciencias**. Madrid: Alianza Editorial, vol. 4.
- McGreevey, William Paul
(1971) **An Economic History of Colombia 1845-1930**. Cambridge: The University Press.
- Ministerio de Obras Públicas de Colombia
(1945) **Normas de trazado de carreteras**. Bogotá: Editorial El Gráfico.
(s.f.) **Ferrocarriles Nacionales: una empresa que marcha**. Bogotá.
- 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". Medellín: Universidad de Antioquia. Tesis.
- Neal, Harry Edward
(1964) **From Spinning Wheel to Spacecraft**. Nueva York: Popular Library Inc.
- Nisser, Pedro
(1834) **Sketch of the different mining and mechanical operations employed in some of the South American goldworks as well ancient as modern. With maps, showing the route from the Atlantic, and the relative situation of the different mineral deposits & particularly those of the Province of Antioquia in New Granada**. Estocolmo: P. A. Norsted & Sons.
(1860) **On the Elementary Substances Originating and Promoting Civilisation throughout the World**. Melbourne: Mason & Firth, printers.
- 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 las empresas y servicios públicos de Medellín**. Medellín: Colina.
- Ospina Rodríguez, Mariano
(1969) **Escritos sobre economía y política**. Bogotá: Universidad Nacional.

- Ospina Vásquez, Luis
(1979) **Industria y protección en Colombia**. Medellín: FAES
- Ouvrieu, René
(1970) **Techniques et technologie**. París: Librairie Armand Colin.
- Papp, Desiderio y Barbini, José
(1952) "La ciencia del renacimiento". En: Mieli, Aldo. **Historia y filosofía de la Ciencia**. Buenos Aires: Espasa Calpe.
- Pardo Pardo, Alberto
(1972) **Geografía económica y humana de Colombia**. Bogotá: Tercer Mundo.
- Parsons, James J.
(1961) **La colonización antioqueña en el occidente de Colombia**. Versión española, prólogos y notas por Emilio Robledo. 2a. ed. Bogotá: Banco de la República.
- Pavón, Moisés
(1923) **Las ferrerías y el desarrollo industrial del país**. 2a. edición. Bogotá: El Gráfico.
- Pedraja Toman, René de la
(1985) **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.
- Pérez, Felipe
(1883) **Geografía general, física y política de los Estados Unidos de Colombia y geografía particular de la ciudad de Bogotá**. 2a. edición. Bogotá: Echeverría Hnos.
- Pombo, Lino de
(1838) **Lecciones de Algebra**. Bogotá: Imprenta de la Nueva Granada.
- Posada Callejas, Jorge
(1918) **Libro Azul de Colombia/Blue Book of Colombia**. Nueva York: The J. J. Little and Ives Company.
- Poveda Ramos, Gabriel
(1970) "Historia de la industria en Colombia". En: **Revista Trimestral Andí**. 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**. 2a. edición. Bogotá: Colciencias.
(1984) **Minas y mineros de Antioquia**. Bogotá: Banco de la República.

- (1985) "Codazzi y la Comisión Corográfica". Medellín: Mecnografiado.
- (1985) "La ingeniería en Colombia: sus ciencias y su historia". En: **Ciencia, Tecnología y Desarrollo**. Bogotá: 9 (1-2), enero/diciembre.
- (1988) **Simesa; medio siglo de siderurgia colombiana**. Medellín: Colina.
- (1988) **Historia económica de Antioquia**. Autores Antioqueños: No. 41. Medellín: Litografía Especial.
- (1992) "Rafael Reyes: gran constructor de Colombia". Medellín: Mecnografiado.
- Restrepo Forero, Olga
- (1983) "La Comisión Corográfica: avatares en la configuración del saber". Tesis. Bogotá: Universidad Nacional.
- Restrepo, Vicente
- (1937) **Estudio sobre las minas de oro y plata en Colombia**. Medellín: Bedout.
- Restrepo Uribe, Jorge
- (1981) **Medellín, su origen, progreso y desarrollo**. Medellín: Servigráficas
- Rey Pastor, Juio y Drewes, N.
- (1957) **La técnica en la historia de la humanidad**. Buenos Aires: Atlántida S.A..
- Rippy, Fred J.
- (1977) "Los comienzos de la era ferroviaria en Colombia". En: Bejarano, Jesús Antonio. **El siglo XIX en Colombia visto por historiadores norteamericanos**. Bogotá: Editorial La Carreta.
- (1981) **El capital norteamericano y la penetración imperialista en Colombia**. Bogotá: El Ancora Editores.
- Rouse, Hunter e Ince, Simon
- (1957) **History of Hydraulics**. Ann Arbor: Michigan State University.
- Ruiz, José Ignacio
- (1950) "Rutas de Codazzi". **Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fís. y Nat.** Bogotá: 8 (29).
- Safford, Frank
- (1965) "Significación de los antioqueños en el desarrollo económico colombiano: Un examen crítico de las tesis de Everest Hagen". En: **Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura**. Bogotá: Universidad Nacional, 2 (3): 49-69.

- (1976) **The Ideal of the Practical. Colombia's Struggle to Form a Technical Elite.** Austin: University of Texas Press.
- Schumacher, Herman Albert
"Biografía del general Agustín Codazzi". **Bol. Hist. y Antig., Academia Colombiana de Historia.** Bogotá: 9, 97-103. (Traducido del alemán).
- Sin autor
(1949) Colombia en cifras 1948-1949. En: **El mes financiero y económico.** Bogotá.
- Smiles, Samuel
(1920) **Vida de George Stephenson.** Barcelona: Sopena.
- Toro Botero, Constanza
(1984) "Inversión privada en servicios públicos: El caso del alumbrado eléctrico de Bogotá y Medellín, 1889-1918". En: **Lecturas de Economía.** Medellín, (15): 103-168, septiembre/diciembre.
- U.S. Government Energy Research and Development Administration
(1976) "Energy Story of the United States 1776-1976". Cartel mural y folleto explicativo.
- Varchim, Joachim y Radkau, Joachim
Kraft, Energie und Arbeit: Energie und Gesellschaft. Hamburgo: Rowoll Taschenbuch Verlag G.m.b.h.
- Vera, Francisco
(1942) "Dualidad de valores humanos en el campo de la matemática: Tartaglia y Cardano". En: **Cuadernos.** Barranquilla.
- Von Laue, Max
(1950) **Histoire de la physique.** Paris, Lamarre.
- Zapatero, Juan Manuel
(1969) **Las fortificaciones de Cartagena de Indias.** Madrid: Editorial Vda. de C. Bermejo.
(1979) **Historia de las fortificaciones de Cartagena de Indias.** Madrid: Cultura Hispánica.
- 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

este libro terminó de imprimirse
en los talleres de la imprenta editorial
en marzo de 1963
en Bogotá, Colombia
1817-1818

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*

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 (Colección)
ISBN 9037-15-1