

LA TECNOLOGÍA MECÁNICA Y SU INGRESO A COLOMBIA

por

Gabriel Poveda Ramos

Resumen

Poveda Ramos G.: La tecnología mecánica y su ingreso a Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **25**(95): 253-267, 2001. ISSN 0370-3908.

Se presenta una relación cronológica del desarrollo tecnológico y se comenta el ingreso al país de novedades tecnológicas como el ferrocarril, la navegación a vapor, diversas máquinas fabriles y algunos avances técnico-mecánicos. Se discuten las implicaciones sociales de tales innovaciones.

Palabras clave: Tecnología, Colombia.

Abstract

A chronological relation for technical development is presented with special reference to railroads, steam transport, and various fabricating machines, and the social contexts of these innovation are discussed.

Key words: Technology, Colombia.

La Revolución Termo-Mecánica de Watt

La máquina 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 Heron de Alejandría (ca. 20 a J.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, que recibía por un tubo que le servía de eje el vapor producido por una caldera. Al salir el vapor por dos tubos acodados, acopla-

dos 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 provocan la rotación de la esfera. Esta idea fue perfeccionada durante el Renacimiento por Leonardo Da Vinci (1452-1519) y por otros, empleando el humo caliente de la combustión de la madera o del carbón; y andando el tiempo ha conducido a las turbinas de gas a reacción de nuestros días.

En 1629 el científico italiano Giovanni Branca publicó su libro "Le Artificiose machine" y allí presentó dibujada y explicada su idea de una rueda de paletas movida por un chorro de vapor. Así mismo propuso allí una antece-

sora de la moderna turbina de gas. Por esa misma época el francés Salomon de Caus publica 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 llegue un tubo, por el cual saldría un chorro de agua impulsada por la presión del vapor. Un aparato muy similar a esta 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 con vapor caliente para elevar agua que él había construido en 1630 en su castillo. Excarcelado en 1660, construyó otra de tales máquinas 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, este era el principio esencial de las máquinas posteriores de Savery y Newcomen. La máquina de Somerset significaba un gran avance y fue puesta en uso práctico hasta 1670, mientras estuvo muy en boga. 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 (1698). En realidad, la máquina de Savery aprovechaba varias ideas de la de Somerset, y aquélla fue denominada por su autor "*El Amigo del Minero*", ya que su propósito principal era el de desaguar pozos de minas de carbón. Ella fue la primera máquina de vapor que tuvo un amplio uso práctico y que fue comercialmente producida. En su patente decía que era útil "para toda clase de trabajos". Tenía una caldera de marmita para calentar y evaporar agua, que en los primeros años estaba sujeta a un gran riesgo de explosión, hasta que John Théophile Desaguliers (1683-1744), en 1715, introdujo la válvula de seguridad que había sido inventada por Denis Papin (1647-1712) en Londres en 1679. Además le agregó otras mejoras. Savery dió 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 máquinas 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 5 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, el que luego adoptó a la máquina de Savery.

Thomas Newcomen (1663-1729) conoció bien la bomba de Savery con sus limitaciones; y en 1705 se dedicó a perfeccionarla. Así obtuvo una patente para una "bomba para extraer agua de minas profundas, accionada a vapor". En 1711 se formó la sociedad Savery, Newcomen y Cawley para fabricar y vender esta máquina que aventajaba notablemente a la de Savery. Esta máquina tenía caldera separada del cilindro (Papin hervía el agua dentro del cilindro) y un balancín, el cual unía a 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, baja por su peso el pistón de la bomba; el vapor se condensa porque un chorro de agua irriga el interior del cilindro motriz y la presión atmosférica hace descender el émbolo de su cilindro y hace levantar 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: una, como motor del balancín por expansión del vapor; y otra como condensador del vapor para producir vacío. Era pues necesario abrir una llave para que le entrara vapor al cilindro, 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) publica una verdadera enciclopedia en 9 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, que 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.

Aún 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 militar Joseph Nicolas Cugnot (1725-1804) construyó y operó un coche triciclo movido a vapor, el cual podía transportar a cuatro personas, a la velocidad de 3.6 kilómetros por hora. Sobre él no se recuerda hoy su construcción interna, pero sí fue el primer antecesor de las locomotoras de vapor y de los coches automóbiles que vendrían después. Unos años después, 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 William Symington (1763-1831), quien diseñó y construyó otro coche a vapor que tampoco se generalizó.

En 1774 Watt da un paso más adelante e inventa el motor de vapor de doble efecto donde el vapor actúa en una y otra cara del émbolo dentro del cilindro de vapor. 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. Mejor resultado logró un motor de vapor a alta presión 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 (1789).

En cambio Watt seguía trabajando con notable éxito. Hacia 1781 se asoció con su amigo el industrial Matthew Boulton (1728-1809) para establecer en la ciudad de Birmingham una fábrica de sus máquinas. Fue así como en 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, a doble efecto, el cual era más pequeño y desarrollaba potencias muy superiores a los de Watt; y al año siguiente construyó con él un carruaje movido a vapor que resultó, 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 construye 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.

En el mismo año de 1804 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 su ferrocarril. En cambio Trevithick sí lo hizo. Acopló un motor de doble efecto, a presión alta de su propio diseño, de los que ya entonces 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.

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 (1755-1819) 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 de doble acción, con licencia de Watt y Boulton, para ser aplicada industrialmente en ese país.

La caldera así perfeccionada y el motor de vapor con tales innovaciones venían a constituirse en la herramienta esencial que logró la radical transformación de las industrias manufactureras durante la primera mitad del siglo XIX, que hoy vemos como el período de más espectaculares transformaciones técnicas de lo que llamamos la Primera Revolución Industrial, que más bien debería llamarse la Revolución Mecánica.

El ferrocarril

Es en esta época cuando se unen la historia de la máquina de vapor y la del 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 a lo largo de

los pésimos caminos del siglo XVII. A comienzos del siglo siguiente se tienden los primeros rieles de madera en esos caminos. Eran varas de 6 pies de longitud y de 5 pulgadas de ancho, sostenidas por durmientes atravesados y colocados cada dos pies. Así mismo 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 fue producido por primera vez por 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. Se recordaba también el ferrocarril público para pasajeros y tirado por caballos, que se tendió en 1801 entre Wandsworth y Croydon. No sabemos los nombres de quienes introdujeron estas importantes innovaciones tecnológicas, pero sí sabemos que ellas hicieron posible la idea del ferrocarril que vendría después.

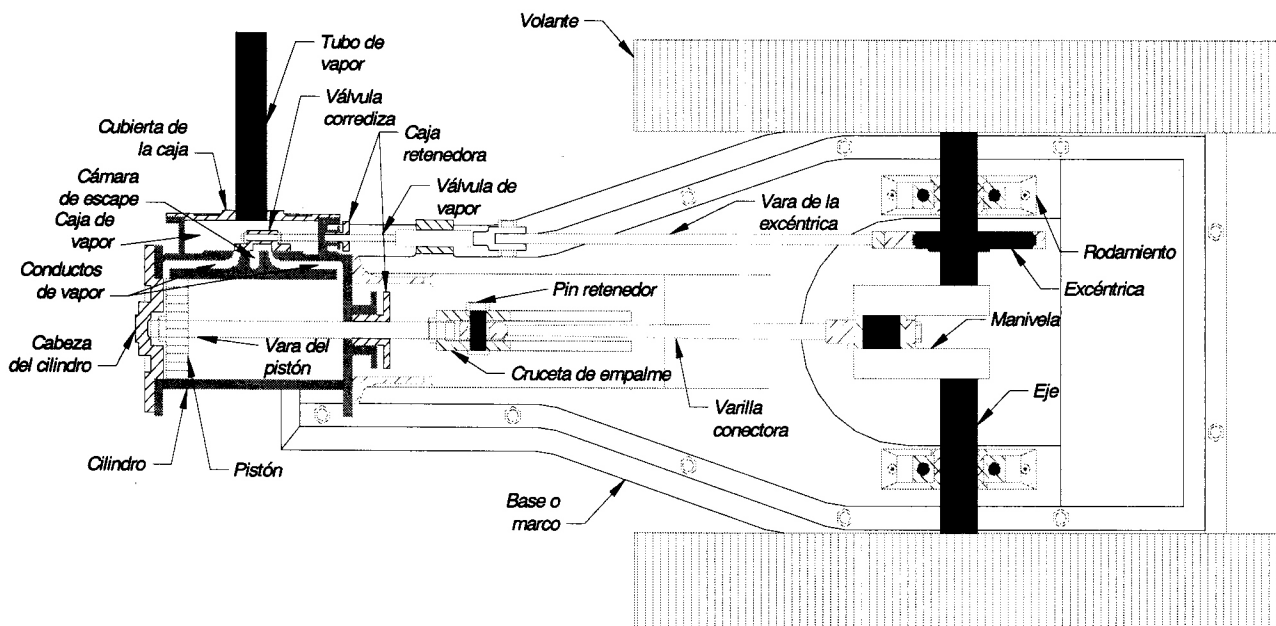
Dados estos pasos, vendrían poco después otros avances en sucesión acelerada. Pronto el mecánico John Blacket halló el medio de evitar el patinaje de las loco-

motoras aumentando su peso. Además William Hadley produjo un tren a vapor para transportar carbón, que fue jocosamente denominado el "Puffing Bill"; montó una línea industrial 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 de los terrenos y alrededor de las minas de carbón que había en esa región.

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 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 y dió al servicio el primer ferrocarril público del mundo: la línea Stockton-Darlington, que comenzó a operar desde ese momento.

Vista seccional de un motor de vapor de válvula deslizador simple



Stephenson lo dotó de locomotoras muy mejoradas, incluyendo en ellas los últimos perfeccionamientos de las calderas y de los motores de vapor. En 1927 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 hoy 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 con trenes más largos y locomotoras más potentes. Por eso en 1929 construyó la línea Liverpool-Manchester con locomotoras perfeccionadas para el uso público, y por esa línea comenzaron a circular los trenes regulares desde el año siguiente. Aunque en 1929 el ingeniero John Ericsson (1803-1889) 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.

Desde este momento en adelante comienzan a aparecer líneas férreas aceleradamente. En 1832 se construye la primera de ellas en Francia. En 1833 el ingeniero inglés Isambard K. Brunel (1806-1859) 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 1838 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 las ferrovías febrilmente. España, siempre rezagada en la aplicación de innovaciones tecnológicas, solo comenzó a construir su primer ferrocarril en 1843, entre Madrid y Aranjuez. Cinco años después fue terminada la línea Barcelona-Mataró, en Cataluña. En esos 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, en dos etapas, con vapor a alta presión, el cual fue realizado y patentado en aquel país por William Mc Naugh (1813-1881). Y tres años después, en Inglaterra, Thomas Cochrane (Lord Dundonald) (1775-1860) inventa la caldera de tu-

bos de humo, o caldera pirotubular, que producía 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 Engine", publicado en Londres en 1859. En esa obra Rankine introduce la termodinámica como herramienta básica de la ingeniería y acuña la mayoría de los términos que actualmente son usados en ese campo. Es muy de notar que desde 1834 el físico francés Benoit-Pierre Emile Clapeyron (1799-1864) había desarrollado su primera versión de la segunda ley de la Termodinámica basándose 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 todas las fábricas e industrias en 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 a 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. Poco después el ingeniero sueco Carl Gustav De Laval (1845-1913) patentó en Inglaterra, en 1887, 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, inventa la turbina con flujo axial de vapor, de múltiples etapas, que tenía un rendimiento termodinámico hasta de 30% de calor del vapor convertido en trabajo mecánico, lo que la hacía particularmente útil en barcos y para generar energía eléctrica.

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

(1820-1893) 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, R. Page en ese mismo país 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 túnel 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 1869 se concluyó en Estados Unidos la primera línea que unía la costa oriental con la 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 ingleses y con equipos ingleses se construyó en 1872 el primer ferrocarril del Japón. Y con rieles de hierro y equipo norteamericano se inició en 1869 la construcción del ferrocarril de Barranquilla a Puerto Colombia, que fue el primero que se hizo en la Colombia de hoy; y 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) en Estados Unidos patentó 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 pone en prueba experimental el primer tranvía eléctrico autopropulsado.

Hasta 1885 había tendidos en todo el mundo unos 500 mil kilómetros de carrileras. Pero se usaban distintas anchuras entre rieles, prevaleciendo la de Stephenson de 4 pies y la americana de una yarda (3 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 partiendo desde la costa oriental de ese país. Y de cuatro pies de ancho se construyó, entre 1891 y 1901 el Ferrocarril Transiberiano de Moscú a Vladivostok.

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 en todo el mundo había crecido como lo muestran las cifras siguientes:

1830	332	kilómetros
1840	8.641	kilómetros
1850	38.443	kilómetros
1860	107.935	kilómetros
1870	207.923	kilómetros
1880	367.020	kilómetros
1890	615.927	kilómetros
1900	740.478	kilómetros
1927	900.000	kilómetros

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

La navegación a vapor

En 1781, el año cuando 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, por primera vez. Así, entre 1781 y 1783 el barón Claude Jouffroy d'Abbans trabajó en diseñar y logró construir un pequeño barco de madera a vapor, accionado por paletas laterales rotatorias, el cual puso a prueba en el río Saone, cerca de Lyon, con el nombre de *Pyroscaphe*, y con resultado favorable.

Un hecho importante (aunque no tuvo que ver directamente con la fuerza del vapor) fue la construcción en 1787 del primer bote con casco hecho de lámina de hierro, el cual fue realizado por John Wilkinson, (1728-1808), en Midlans, Inglaterra. Fue una enorme sorpresa para sus conciudadanos que pensaban que el 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 funcionara en el Nuevo Mundo, y el

primero que usaba hélices como propulsoras. El camino de la navegación a vapor quedaba así abierto. Pero aún así, es digno de notar el éxito de William Symington en Inglaterra cuando en 1801 construyó el primer barco de vapor inglés, un remolcador accionado por ruedas de paletas las cuales eran 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 (1749-1838) botó al agua un barco de vapor operado con dos hélices gemelas 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, gracias a la alta potencia que permitía en los pistones y el pequeño volumen de los cilindros.

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 Fulton buscaba, se mostró indiferente ante 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 y que fue el primer buque que operó con éxito en forma práctica y comercial, en toda la historia de todo el mundo. En gran parte su éxito se debió al motor de vapor a alta presión y de doble efecto, que Richard Trevithick ya había perfeccionado en 1800, tal como ya 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. Casi simultáneamente, en 1804, el ya mencionado inventor norteamericano Oliver Evans, en su país, construyó un original vehículo anfíbio movido a vapor. Y siete años después (1811) el primer barco de vapor de gran tamaño, el "Orleans" surcaba las aguas del río Ohio y llegaba al Mississipi.

Ya era claro para armadores y oficiales navales que el barco de vapor no era solo una posibilidad en los mares, 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 ayudado con velas para economizar carbón. Y de este momento en adelante, la navegación a vapor avanza aceleradamente. En 1817 es botado en los astilleros de Sevilla el primer barco de vapor que se construyera en España. Y en 1819 el "Savannah" de bandera norteamericana, barco de vela pero también

dotado de paletas laterales de madera movidas a vapor, fue el primero en atravesar el Atlántico con la fuerza del vapor, lo cual le permitió hacerlo a la velocidad promedia de 6 nudos, en 27 días, siendo este un verdadero récord histórico.

Una nueva innovación la logró el Ingeniero Aaron Mamby, al construir en 1822 un barco de vapor con paletas laterales de hierro, y que su diseñador hizo navegar exitosamente en el río Támesis. Tres años después, en 1825, un buque de vapor a paletas hizo el recorrido desde Inglaterra a la India en el tiempo asombrosamente corto (en ese tiempo) de 113 días de travesía.

Fue por aquellos años, en 1823, cuando el empresario alemán Juan Bernardo Elbers trajo a Colombia, por primera vez, los barcos de vapor que primero navegaron el Magdalena. Eran accionados por calderas de vapor y motores de Watt de doble acción, y eran impulsados por dos ruedas giratorias, una en cada costado. *Los barcos del Magdalena fueron la primera expresión del desarrollo tecnológico de la Revolución Industrial en Colombia.* Durarían navegando en ese río durante casi 140 años, hasta 1962, año éste en que se amarró y se desguazó el último de ellos en Barranquilla.

Desde los primeros decenios del siglo XIX la navegación a vapor comenzó a penetrar en todos los grandes ríos del mundo y a reemplazar la navegación a vela en los mares.

Conclusión

No puede decirse que la máquina motriz de vapor fue un invento exclusivo de Watt. Pero fue éste el que 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 en 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 de sus animales, sino que produjo también una verdadera revolución en la visión del mundo. Una ciencia íntegra como la termodinámica fue construida sobre los pensamientos de Carnot, Clapeyron y Rankine referentes a la máquina de vapor. Si fuera necesario mencionar media docena de

las creaciones físicas del hombre que más han transformado su 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.

Tecnología mecánica e implicaciones sociales

La Revolución Mecánica y la Revolución Industrial

En Europa, al entrar el siglo XIX se disponía ya de una serie de inventos mecánicos nada despreciables. Entre ellos estaban el reloj de péndulo, el telar manual, los molinos de viento, las ruedas hidráulicas, el coche de caballos, las primeras hiladoras mecánicas, el horno siderúrgico y las bombas manuales. La madera predominaba como material de construcción de estos y otros implementos mecánicos que se usaban en la producción de bienes, en la agricultura y en los rudimentarios transportes de la época.

Desde los primerísimos años de ese siglo empezaron a implantarse importantes inventos e innovaciones en la fabricación de textiles: en 1801 el telar de Jacquard; en 1809 la máquina de Heathcoat para encajes; en 1822 el telar movido por agua de Roberts, quien también inventó la hiladora selfactina en 1830, poco después de que C. Danforth (1797-1876) y John Thorp (1784-1848) inventaran en Rhode Island la hiladora continua de anillos. En 1845 los mecánicos textiles inventaron la peinadora automática para lana y seda, en el mismo momento en que Erastus Bigelow (1814-1879) creaba y ponía en funcionamiento su telar mecánico. Todos estos nuevos recursos mecánicos convirtieron la antigua artesanía textil heredada de la Edad Media y del Renacimiento en la primera actividad fabril, tal como hoy entendemos este concepto. Evidentemente la utilidad de estos nuevos mecanismos se debió a los perfeccionamientos de la máquina de vapor, que había sido inventada en 1705 por Thomas Newcomen y que James Watt había perfeccionado entre 1781 y 1786, agregándole el condensador continuo y el regulador centrífugo de velocidad, con lo cual el mismo Watt y Mathew Boulton iniciaron la construcción industrial de tales máquinas. Este nunca bien ponderado invento liberó a la humanidad (al menos en los países que lo adoptaron) de los duros y arduos trabajos que antes realizaban grandes masas de hombres con esfuerzos y desgastes indecibles. Lo que es más, la máquina de vapor permitió alcanzar potencias nunca antes soñadas ni con la fuerza del hombre, ni con la de los animales, ni con la del agua. En 1800 Trevithick perfeccionó, como ya dijimos, el motor de vapor de alta presión y de tamaño reducido, el cual recibió nuevas adaptaciones de Evans en Estados Unidos. En 1815 Edward patentó su motor de vapor com-

puesto; y posteriormente en 1828 Perkins construyó la primera caldera de vapor de alta presión y Seguin diseñó la caldera multitubular.

Durante el último tercio del siglo XVIII la antigua herrería de la familia Darby, en la localidad inglesa de Coalbrookdale, había estado mejorando el proceso de producción de hierro, para mejorar la calidad de su producto. Gracias a ello en 1779 con mejor hierro forjado, producido por Abraham Darby, el ingeniero William Wilkinson (1738-1808) diseñó y construyó el primer puente rígido en hierro sobre el río Severn, que se conociera en Inglaterra y en el mundo. A continuación, James Finley (c. 1762-1828) patentó en Pensylvania el puente colgante de cadena. En 1820 el ingeniero Ithiel Town (1784-1844) patentó el puente de estructura metálica rígida, y 5 años después Marc Seguin (1786-1875) construyó en Francia el primer puente colgante de cables de alambre. En manos de Thomas Telford, John A. Roebling y Robert Stephenson, la construcción de puentes se convirtió ya en una actividad corriente de los ingenieros del siglo pasado. Puede decirse que en 30 años, en Inglaterra y en Francia la madera dejó de ser el principal material de construcción de piezas mecánicas, para ser sustituida por el hierro fundido y el hierro forjado. Así la siderurgia comenzó a cobrar una extraordinaria importancia y a hacer notables avances técnicos. Su producto se dedicaba ahora a producir máquinas textiles, hornos, estructuras mecánicas, ruedas hidráulicas, puentes y muchos más artículos que la Revolución Industrial iba introduciendo en la vida de los países avanzados. La producción de hierro en Inglaterra creció velozmente desde 170 mil toneladas en 1802 hasta 1 millón de toneladas en 1835 y 3.800.000 toneladas en 1860.

Pero la Revolución Industrial y Tecnológica traía consigo no solo nuevos productos y mecanismos sino también nuevas ideas. Sin duda la más importante de ellas para la ingeniería fue el principio de la conservación de energía. Formulado por primera vez por James P. Joule (1840) en Inglaterra y por Julius Mayer (1841) en Alemania, quedó definitivamente incorporado a la ciencia y a la tecnología cuando Karl Gustav von Helmholtz publicó su famosa memoria sobre el calor y la energía en 1847, entrando a constituir lo que hoy llamamos la primera ley de la termodinámica, y que tan vastas aplicaciones habría de tener en el diseño de máquinas, mecanismos y equipos mecánicos de todo tipo. Tres años después Rudolph Emmanuel Clausius enunció la segunda ley de la termodinámica, que ya había sido presentida por Nicolas Sadi Carnot desde su famoso trabajo de 1824.

Dotados de hierro barato y fácil de trabajar, de nuevas máquinas-herramientas, de las dos leyes de la termodinámica y de instalaciones fabriles de grandes dimensiones, los ingenieros mecánicos continuaron produciendo inventos espectaculares que modificaban radicalmente la vida de los países. Tal fue el caso de la refrigeración mecánica inventada por Karl Linde en 1873; de la turbina hidráulica de Benoit Fourneyron en 1855; de la turbina de James Francis en 1850; de la turbina del Lester Pelton en 1870; del torno revolver en 1855; de la máquina-herramienta universal de Joseph Brown en 1862; del martillo de vapor de James Nasmyth; del laminador a vapor para planchas de acero en 1859; del taladro petrolero en 1864, etc.

Otro gran paso adelante se logró cuando, gracias a los trabajos, que partiendo de ensayos de laboratorio hechos por Faraday y a través de los perfeccionamientos e innovaciones de William Kelly, Henry Bessemer, Percy Gilchrist, S.G. Thomas y Frederick Siemens, se llegó a establecer la producción industrial de aceros en gran escala. El nuevo material se difundió por todas partes como el material ideal para construir máquinas, estructuras, puentes, barcos, etc. etc. La producción mundial de acero creció espectacularmente desde 70 mil toneladas en 1840 hasta 600 mil tons. en 1870 y hasta más de 27 millones en 1880. Hoy en día su uso es tan extendido que si nuestra época hubiera de ser denominada por el nombre del metal dominante en nuestra cultura, deberíamos llamarla la Edad del Acero.

Debemos también a los grandes ingenieros mecánicos del siglo pasado los motores de combustión interna. Sus antecedentes eran remotos. Desde 1794 Robert Street había intentado sin éxito construir un motor de explosión con carbón. En 1816 Stirling construyó su motor de combustión externa, que Ericsson quiso perfeccionar años después. Barsanti y Matteucci en Italia y Beau de Rochas en París adelantaron teórica y prácticamente nuevos esfuerzos, gracias a los cuales en 1860 Etienne Lenoir (1822-1900) construye el primer motor de combustión interna con gas de alumbrado y aire. Pero solo en 1876 Niklaus August Otto (1832-1891) logra construir y producir industrialmente su motor de 4 tiempos, eficiente y silencioso, que Gottlieb Daimler (1834-1900) pudo perfeccionar en varios sentidos en 1883. Es este el motor que, en esencia ha movido automóviles y vehículos desde entonces por todos los caminos del mundo.

Ya finalizando el siglo, en 1897 Rudolf Diessel (1858-1913) perfeccionó el excelente motor de alta compresión que lleva su nombre y que hoy en día mueve prácticamente todos los barcos del mundo.

Toda esta portentosa transformación tecnológica fue no solamente una revolución mecánica sino también una revolución económica, una revolución política y una revolución social. En el plano económico trajo consigo un fabuloso aumento de la producción industrial y agrícola y la creación de innumerables actividades económicas que antes no existían. En el plano social desarrolló y consolidó con tremenda fuerza el sistema capitalista de producción, la burguesía y las clases medias, y encendió las protestas y aspiraciones del proletariado. En el plano político dió lugar a los comienzos de los regímenes democráticos de los países avanzados pero también a la generalización del colonialismo y el imperialismo impuesto sobre los países retrasados.

Nuevas máquinas de la Revolución Industrial

Una de las manifestaciones más vigorosas de la Revolución Industrial fue el proceso de proliferación de nuevas máquinas mecánicas para realizar toda suerte de trabajos y operaciones de fabricación, así como la generalización acelerada de su empleo en la industria británica, europea y norteamericana.

Al entrar el siglo XVIII eran muy pocos los aparatos y máquinas mecánicas y móviles de que se disponía en Occidente. Ciertamente en Europa había industrias. Se producían textiles, calzado, vestuario, muebles, unos pocos productos químicos inorgánicos, barcos y coches, vidriería, papel, cerámicas, hierro y sus productos, vino, cerveza y poco más. Nada de estos se hacía en ninguna de las colonias de España en América, como era en ese entonces la actual Colombia.

Pero estas industrias europeas trabajaban mediante operaciones elementales realizadas manualmente, a lo sumo con ayuda de pocas y simples herramientas (p.e. sierras, martillos, hornos, telares, toneles, yunques, poleas, cables, correas y otras). La polea había sido inventada en la Grecia clásica unos 450 años antes de Cristo. El motón o polipasto y el tornillo sinfín habían sido inventado por el primero de los grandes ingenieros-matemáticos, Arquímedes (ca. 287-212 a J.C.) en Siracusa, junto con el sistema de tuerca y tornillo y la rueda dentada. Los demás aparatos mecánicos que existían eran pocos: la carreta de tiro animal, el molino para trigo, las herramientas del albañil, las del carpintero, el horno de cerámica, el arado de tiro animal y lo otro que ya se mencionó. En el siglo XV y en XVI, el cerebro prodigioso de Leonardo de Vinci (1452-1519) ideó un gran número de mecanismos y aparatos que quedaron plasmados en sus innumerables y espléndidos dibujos, planos y modelos, pero que en la

práctica casi no se extendieron a los talleres de fabricación de la Europa de su tiempo. Por eso hasta cuando surgió la Revolución Industrial -y aún después de ésto- todo taller y todo producto de una industria de transformación se designaba genéricamente con la palabra "manufactura", que etimológicamente quiere decir "hechura a mano".

Pero el Siglo de las Luces (el s.XVIII) se inició, muy sintomáticamente, con un gran invento mecánico que hoy se recuerda poco, pero que en su tiempo tuvo una decisiva influencia favorable en la agricultura de su tiempo. En efecto, en 1701, en Inglaterra el mecánico Jethro Tull inventó la primera sembradora mecánica para semillas. Y desde los primeros años del siglo se despertó un gran interés en Inglaterra, Francia, Flandes, Italia y Alemania, por el conocimiento de las máquinas. Eso explica que (como ya se dijo) en 1723 apareciera una enciclopedia sobre las máquinas de su tiempo, el "Theatrum Machinarum Generale" (Teoría General de las Máquinas) que fue escrita por el alemán Jakob Leupold (1674-1727), en nueve volúmenes, entre 1723 y 1739, y que constituye el primer tratado sistemático de ingeniería mecánica que se hiciera en el mundo de Occidente. Un rasgo admirable de este libro monumental es que en él se incluía el diseño de una máquina de vapor de alta presión, no condensadora, mucho antes de que en Inglaterra, Thomas Savery patentara su primera bomba de vapor para extraer el agua del fondo de las minas.

En 1774 en Inglaterra un industrial productor de hierro, John Wilkinson (1728-1808), inventó y patentó una máquina perforadora para taladrar y rectificar con alta precisión el ánima de los cañones de artillería y el interior de los cilindros para émbolos. Este último empleo fue el que le dio una enorme importancia a la perforadora de Wilkinson, porque con ella se pudieron fabricar industrial y comercialmente, en grandes números, las máquinas de vapor de Watt, que éste y Mathew Boulton -su socio- se dedicaban a construir y a vender a las industrias inglesas de su tiempo. Poco después, en 1778, el mismo Wilkinson inventa el torno revólver, para producir en serie muchas piezas pequeñas iguales y uniformes, torneadas, hechas en metal. En 1792 Thomas Henry Maudslay (1771-1828) inventó las primeras máquinas herramientas para taller.

Y hacia el final del siglo brotó otra serie de grandes inventos. Ese fue el caso, por ejemplo, del arado para sembrar construido en hierro, análogo pero mejor que el que, construido en madera, había sido usado por los babilonios desde la época de 1700 ó 1600 años antes de Cristo en Mesopotamia. Esa fue también la época en que Henry Cort

(1740-1800), hacia 1784, inventó y construyó el horno de reverbero para convertir arrabio de hierro, y hierro fundido, en hierro maleable, lo cual contribuyó a aumentar y mejorar la producción siderúrgica en gran medida. Casi de manera simultánea el inventor y mecánico Joseph Bramah (1748-1814) patentó la primera cerradura de seguridad (1784) y la hélice motriz de popa para barcos (1785), aunque inicialmente ésta fue considerada mas como una posibilidad teórica y experimental que como pieza práctica de los constructores navales quienes solamente la adoptaron en sus buques al cabo de varios años después de la patente de Bramah, es decir hacia 1838-1840.

La primera máquina mecánica para hacer puntillas fue patentada en Inglaterra en 1786 por Ezequiel Reed quien inició así la mecanización de la industria de productos metálicos livianos. Y la mecanización agroindustrial comenzó con la primera trilladora de trigo, que fue patentada en 1788 por Andrew Meikle (1719-1811) en aquel mismo país, en donde, pocos años después, Joseph Bramah, uno de los más grandes ingenieros y mecánicos del siglo XVIII, inventó en 1795-96 la prensa hidráulica con la cual era ya posible producir muy grandes presiones mecánicas para doblar metales y darles forma. Y simultáneamente, también en Inglaterra, en 1797, otro gran mecánico de su época, Thomas Henry Maudslay (1771-1831) inventó y construyó el primer torno paralelo para metales, hecho de hierro fundido, con porta-herramienta deslizante sobre bancada rectificada. En realidad Bramah y Maudslay, quien era ayudante de aquel, introdujeron en la industria metálica muchos perfeccionamientos en el uso de las herramientas mecánicas y de las herramientas manuales, e inventaron varias máquinas metal-mecánicas que en su tiempo no tenían precedente. Por ejemplo, en 1802 Maudslay inventó la máquina planeadora para tallar superficies planas en metal. Y en 1806, Bramah inventó una máquina impresora numérica para imprimir billetes de banco. En esos años fecundos en inventos, otros creadores mecánicos hacían nuevos aportes, como el de Robert Hare (1781-1858) quien inventó en 1801, en Estados Unidos, el soplete oxhídrico que permitía desarrollar las más altas temperaturas y cortar con él gruesas piezas de metal con gran sencillez y prontitud. En 1810 ya existían las máquinas necesarias para producir y laminar piezas grandes de hierro, como vigas y perfiles de manera que en ese año se fundaron en Essen, Alemania, las primeras factorías metalúrgicas de gran magnitud, que fueron establecidas por Alfred Krupp (1812-1887). Y como elemento inicial de la industria ferrocarrilera pesada en 1804, en Inglaterra, Frederick A. Winsor (1763-1830) patentó su horno recién diseñado para producir gas combustible a

partir de la hulla, combustible que era llamado en su tiempo "gas de alumbrado".

Nuevas máquinas mecánicas para trabajar metales y otros materiales seguían apareciendo en esos años con el gran auge de la Revolución Industrial. Así, otro de los grandes mecánicos de la época, John Clement (1779-1844) inventó en 1825 la máquina alisadora de superficies planas metálicas, que funciona moviendo el material a trabajar en líneas rectas paralelas contra una herramienta cortante fija. Ya en 1818 su compatriota Eli Whitney (1765-1825) autor de la desmotadora de algodón (1793), inventó además, ahora viviendo en Estados Unidos, la máquina fresadora para tallar y pulir superficies metálicas. Y poco después, en 1830, Thomas Cochrane, duque de Dundonald (1795-1860), en Inglaterra, patentó el primer taladro de aire comprimido, para excavar pozos y túneles bajo el agua.

Siendo todavía la agricultura la principal actividad agrícola de los seres humanos, aún en los países más adelantados, era natural que la inventiva mecánica que florecía con la Revolución Industrial se aplicara también a las faenas agrícolas. En efecto, en 1826, Patrick Bell (1799-1869), en Inglaterra, reinventó la cosechadora mecánica que ya conocieron y usaron los romanos y que había sido descrita por Plinio, pero que luego fue olvidada en los siglos oscuros de la Edad Media. Y cuatro años después, el mecánico Cyrus Hall McCormick (1809-1884), en Estados Unidos, inventó la primera versión de la cosechadora mecánica, de la cual hizo la primera demostración en 1831. Años después, en 1836, apareció en los campos de Michigan, EE.UU., la primera cosechadora combinada para trigo, con tracción animal.

A Joseph Withworth (1803-1887), compañero y colega de John Clement y de Thomas Henry Maudslay, se le debe el largo y exitoso esfuerzo para llegar a desarrollar, hacia 1830, en su patria, Inglaterra, el trabajo mecánico de precisión de los metales a escala industrial. Entre 1833 y 1850, Withworth perfeccionó los tornos, el cepillado, la perforación, la ranuración y la construcción de máquinas-herramientas de alta precisión para trabajar metales. La exposición de sus muchas máquinas en la Feria Mundial de Londres en 1851 le dio renombre internacional. A lo largo de su extenso y fructífero trabajo, desarrolló también los calibres normalizados y los pasos de rosca-standard y varios instrumentos para hacer medidas de precisión.

La cadena de apariciones de nuevos inventos mecánicos en Inglaterra y Estados Unidos no se detenía. En 1837 en este último país William Otis de Philadelphia (1811-1861) construyó la primera máquina excavadora operada

a vapor. Y al año siguiente, en Inglaterra, James Nasmyth (1808-1890) patentó su martillo de vapor para forjar hierro, estimulado y motivado por el crecimiento extraordinario que experimentaba la producción siderúrgica, (que ya mencionamos), la cual necesitaba un gran instrumento mecánico para convertir el hierro crudo o arrabio en hierro maleable (wrought iron). El martillo de vapor de Nasmyth se convirtió desde entonces en una herramienta indispensable y típica de las ferrerías inglesas y de todo el mundo. Poco tiempo después Nasmyth inventó el martinete de vapor para clavar pilotes, que ha sido usado desde entonces hasta hoy para hincar pilares, que son necesarios para afirmar suelos y para construir estructuras sobre el agua, tales como puentes, muelles, atagufas y otros. Otro gran invento de inmensa utilidad para los ingenieros civiles, desde entonces, fue el primer perforador de túneles, inventado por Joseph Fowler, y que era accionado por aire comprimido.

La proliferación de desarrollos técnicos y mecánicos estaba dando un extraordinario empuje a la industria inglesa y de los otros países mas adelantados de Europa y de Norteamérica. Para destacar todos estos avances se realizó en Londres, en 1851, la primera exposición mundial de máquinas y artes industriales, y para realizarla se construyó el hermoso edificio de hierro forjado y vidrio que se conoce como el Palacio de Cristal, que era en si mismo una hermosa obra de ingeniería civil construida con estructura de hierro maleable. La exposición exhibió muestras de procesos, productos y aparatos industriales, así como de las muchas innovaciones técnicas recientes en ese tiempo. Fué un espectáculo maravilloso, que abrió la Reina Victoria en persona y que constituyó un gran impulso a la difusión y al conocimiento de las nuevas aplicaciones de la ciencia a la tecnología.

Los años ochocientos cincuentas fueron muy fecundos en la invención de nuevas máquinas. El uso comercial generalizado del acero y la disponibilidad de las máquinas-herramientas para trabajar metales condujeron a una nueva fase en el desarrollo de la ingeniería mecánica y de sus productos durante la segunda mitad del siglo XIX, que se caracterizó por el desarrollo de máquinas estandarizadas de gran precisión y gran uniformidad.

En 1851 fue inventada la máquina impresora rotativa (que a Colombia vendría casi cien años después, en 1945). Y en 1852, Elish Graves Otis (1811-1861) patentó el primer ascensor de pasajeros con mecanismos de seguridad que evitaban que el ascensor cayera aunque el cable superior de suspensión del vehículo fuere cortado del todo. En 1867 se instalaron los primeros ascensores Otis en

EE.UU. En 1855 se inventó, en Estados Unidos, el torno revólver (o torno de torreta). Y al año siguiente en la pequeña ciudad de Motala, en Austria, se inauguró el primer laminador para acero estirado en frío. Era un gigante, del tamaño de un edificio de tres pisos.

En 1858, Ely Whitney (1765-1825), que ya era famoso por su invento de la desmotadora de algodón y de la fresadora para taller, patentó en Estados Unidos la máquina trituradora de rocas. Y en 1859 aparecen en Francia dos notables innovaciones: la primera cilindradora de pavimentos, movida a vapor; y el compresor centrífugo, operado también a vapor, inventado por Lemoine.

Las perforadoras neumáticas de percusión hicieron su debut en gran escala en 1861, con los trabajos de perforación en el túnel de Mont Cénis en Francia. Y en los grandes talleres mecánicos apareció desde 1862 la máquina-herramienta universal que Brown inventó y patentó en Estados Unidos.

El desarrollo de los ferrocarriles por todo el mundo y el creciente problema de frenar un tren en plena marcha, llevó al ingeniero George Westinghouse a inventar el sistema de frenos de los ferrocarriles, con zapatas de frenado en las ruedas de todos los vagones, accionadas por aire comprimido que se generaba en la locomotora, y que era enviado a lo largo de una tubería neumática que recorría todo el tren. Es así como funciona aún hoy en todos los ferrocarriles del mundo.

La generalización del uso del vapor como agente motor, dió lugar en 1880 a las primeras máquinas cosechadoras combinadas agrícolas que eran accionadas con motor de vapor y no por animales, lo que ocurrió, por supuesto, en los inmensos campos agrícolas de Estados Unidos.

Nuestro ingreso a la Revolución Industrial

Al salir de las guerras de independencia, Colombia era un país casi despoblado y en ruinas. Alrededor de 1 millón de personas vivían en nuestro territorio actual. Aparte de una decaída producción aurífera, casi nada producíamos, ni para el mercado interno ni para exportar. Pero afortunadamente, aún en estas precarias condiciones hubo una iniciativa aislada del alemán Juan Bernardo Elbers para introducir la navegación fluvial en el río Magdalena. Su empresa duró pocos años, pero posteriormente fue seguida por otros intentos más afortunados, que crearon una actividad de transporte fluvial la cual contribuyó enormemente a la unidad geográfica del país y a su desarrollo económico. De no ser por la navegación a vapor,

no habiéramos podido exportar tabaco, quina, añil, cueros y café, que fueron los productos con que nuestra endeble economía pudo ir integrándose al mercado mundial. La navegación fluvial era producto directo de la revolución mecánica europea, y en aquellos frágiles barcos de vapor nuestro país conoció por primera vez un artefacto de alta tecnología para su época, que demostraba el poder maravilloso de la máquina de vapor, y en donde los cables, las bombas, las ruedas dentadas y los engranajes testimoniaban las posibilidades que la tecnología mecánica que se estaba expandiendo, ofrecía a la inventiva humana. El barco de vapor fue pues el primer contacto de nuestro país con el gran desarrollo técnico de la revolución industrial, y a ello se le debe en gran parte el progreso -así sea precario- que hizo Colombia durante el siglo XIX.

En la primera mitad del siglo XIX se fundaron en Bogotá algunas pequeñas fábricas de textiles, vidrio, hierro, loza, azúcar, papel y cerámicas. En ellas se incorporaba ya algo sustancial de la tecnología que estaba vigente en la época en países adelantados como Inglaterra. Y aunque esas empresas tuvieron una vida efímera, revistieron importancia no solamente como precedentes de un importante esfuerzo técnico y económico, sino porque pusieron a algunos técnicos nacionales y extranjeros en contacto con los avances recientes de la tecnología mecánica e industrial del momento. En esto tuvieron un papel importante ingenieros europeos como Jacobo Wiessner, Guillermo Wills, James Tyrrell Moore y James Perry, y colombianos como el coronel-ingeniero Joaquín Acosta, junto a varios incipientes empresarios nacionales.

Esto mismo puede decirse de las ferrerías que existieron en Pacho, Samacá, La Pradera y Amagá, donde se vieron los primeros altos hornos que hubo en Colombia y donde se recibió la experiencia de procesos industriales como la reducción de minerales de hierro, la fundición, el forjado y el mecanizado del hierro y el acero. Hacia finales del siglo XIX surgieron en Antioquia y en Bogotá varios talleres que se dedicaban a reparar y a construir máquinas mineras e industriales y que trajeron al país por primera vez las máquinas-herramientas, los hornos para fundir metales y el know-how, que eran usuales en su tiempo para el trabajo metal-mecánico. Era un nuevo paso para adentrarnos en la Revolución Industrial, a la cual estábamos llegando, así fuera de manera tardía y tímida.

Pero la más generalizada demostración de los avances técnico-mecánicos del siglo en nuestro país, la trajeron los ferrocarriles. En el siglo pasado se construyeron el de Panamá, el de Barranquilla a Puerto Colombia, el de Cúcuta al río Zulua, parte del de Antioquia, el de La Sabana, el de La Dorada, parte del de Buenaventura, algo

del de Girardot y el de Bogotá-Zipacquirá. Con estos ferrocarriles, nuestro país atrasado y rural comenzaba a trabar conocimientos con equipos mecánicos pesados, instrumentos de medición, máquinas hidráulicas, telégrafos e instrumentos de ingeniería que nunca antes había conocido. Gracias a la gran innovación de los ferrocarriles, el país comenzó a tener un sistema de transporte con algunos rasgos de modernidad y a darse cuenta de la transformación técnica del mundo. Cuando, ya en el siglo XX, grandes presidentes como Rafael Reyes y Pedro Nel Ospina se empeñaron en extender las ferrovías por todo nuestro territorio, no solamente estaban creando una verdadera unidad geográfica nacional, sino que estaban creando una infraestructura tecnológica sobre la cual se habría de apoyar el proceso industrial del siglo XX en este país. Además, los talleres de mantenimiento de los ferrocarriles fueron las primeras grandes escuelas de ingeniería mecánica en el país, así fueran de carácter empírico, pero muy útiles. Existieron en Facatativá, Girardot, Bello y Cali.

A partir de 1920 se instalaron las primeras empresas petroleras. Se trataba de verdaderos enclaves coloniales de origen extranjero que, económicamente, ninguna riqueza irradiaban al resto del país. Sin embargo en el plano técnico, al incorporar trabajadores e ingenieros colombianos, esas empresas petroleras constituyeron escuelas prácticas de tecnología mecánica, a través de las cuales una parte del país se asomaba a los grandes desarrollos de la tecnología mecánica del siglo XX. Cuando el automóvil y el avión llegaron al país y su uso se generalizó por todas partes, ellos sirvieron como otro ejemplo, de los grandes avances del mundo industrial moderno y de sus maravillosas realizaciones mecánicas.

Ya desde el siglo anterior, algunos pocos colombianos habían ido a Estados Unidos a estudiar a las primeras escuelas de ingeniería mecánica que se abrían en ese país, tales como Rensselaer Polytechnic Institute, Rice Institute, Stevens Institute. Pero todavía hasta 1930 prácticamente no existía esa profesión entre nosotros. Los ingenieros civiles asumían en los ferrocarriles, en los talleres y en las industrias, los oficios que hoy son propios de los ingenieros mecánicos. Solamente a finales de los años cuarenta se abrieron en Colombia las primeras escuelas de esta profesión, en Bucaramanga, Cali y Bogotá; y a los pocos años se establecieron otras nuevas en Medellín, Manizales y en la misma capital.

Los ingenieros mecánicos, preparados en el exterior o en nuestro país, han cumplido un papel fundamental en la construcción de nuestra industria y de nuestro transporte incorporando a estas actividades las innovaciones que el

avance de la tecnología mecánica mundial no ha cesado de producir.

Si fuera preciso caracterizar el cambio radical que ha tenido Colombia en los últimos 80 ó 100 años en unos pocos fenómenos, habría que señalar dentro de los principales el aumento de la población y la incorporación generalizada de la tecnología mecánica, así como la electrificación. Estos tres grandes procesos han convertido un país de atrasado perfil rural en 1900 en el país que hoy conocemos, en pleno camino hacia el desarrollo económico y social del siglo XXI.

La tecnología mecánica en el siglo XX

En el siglo XX la revolución mecánica continuó con pasos agigantados. En metalurgia aparecieron importantísimas innovaciones como la soldadura autógena, la soldadura eléctrica, los rayos X, la gamagrafía, el horno de arco, el horno de inducción con alta frecuencia, etc.; y se ha generalizado el uso de nuevos metales como el aluminio, el titanio, las aleaciones especiales, etc. En termotecnia se han hecho grandes perfeccionamientos en combustibles, aislamientos térmicos, altas temperaturas, refrigeración y eficiencia de procesos.

En la hidromecánica se han desarrollado grandes inventos como la turbina Kaplan, los controles hidráulicos y los grandes mecanismos de operación de compuertas. Nuevos materiales como los plásticos estructurales, las cerámicas y la fibra de vidrio han permitido a los ingenieros mecánicos diseñar y construir nuevas piezas más eficientes, más económicas y más livianas.

Efectos similares ha tenido el gran desarrollo teórico y práctico de los mecanismos de automatización, de telemidida y de control, así como de los servomecanismos y de los nuevos sistemas cibernéticos.

El computador está produciendo en esta profesión, como en todas las demás, una profundísima transformación de los trabajos tradicionales y está abriendo nuevas posibilidades potentísimas como el diseño y la fabricación asistida por computador. El gran avance que en los últimos 30 años ha significado el control numérico en las máquinas-herramientas ya pronto se verá superado por los microprocesadores programables.

Otra dimensión en la que estamos viendo avances mecánicos portentosos es la del tamaño físico de los dispositivos y máquinas mecánicas. Las supermáquinas mineras, los grandes barcos supertanqueros, los cohetes gigantes y aviones como el Concorde son prodigio del

diseño mecánico que unos decenios atrás apenas eran sueños casi inverosímiles.

Mas pronto o más tarde todas estas novedades nos han llegado y continuarán llegando. Así se seguirá transformando el país para buscar un mejor nivel de vida y, ojalá para que todos los grupos de población (y no solo los privilegiados) tengan más bienes, más educación y más cultura.

Tecnología, economía y sociedad

Como todos los saberes del hombre, la tecnología mecánica ha sido una respuesta a la búsqueda de soluciones a las necesidades y los problemas humanos y sociales. La necesidad de potencia creó la máquina de vapor, la necesidad de velocidad creó la locomotora; la necesidad de bienes creó las máquinas industriales; la necesidad de comunicarse creó los navíos. Desgraciadamente también hay que decir que la "necesidad" de hacer la guerra creó los grandes y potentes armamentos que tanta tecnología mecánica han requerido y que tan peligrosamente amenazan hoy al mundo.

El uso de los productos de la tecnología mecánica puede producir desde lo mejor para el hombre hasta lo peor para su destino. Pero seamos optimistas y señalemos que este tipo de saberes pueden producir, por ejemplo, inmensos incrementos en la producción de bienes. Ejemplos brillantes de este logro son los que se han conseguido con la cosechadora agrícola, el telar automático, la caldera de vapor, las máquinas-herramientas, el cubilote de fundición, la torre de destilación, los hornos metalúrgicos, etc. A través de los grandes multiplicadores de productividad, estos dispositivos y muchos otros contruidos por el ingenio mecánico han producido una abundancia de bienes que han logrado impedir el colapso económico y social que de otra manera hubiera sucedido a consecuencia del enorme aumento de la población del mundo. Inclusive en países pobres como el nuestro, las máquinas mecánicas como el telar, la caldera y otras relativamente sencillas han permitido abastecer a nuestra población con los bienes más indispensables para su consumo, aún cuando los grupos más pobres todavía no estén debidamente atendidos.

Otro producto de los saberes mecánicos son los nuevos bienes que ellos han permitido inventar y poner en uso para la sociedad. El automóvil es el ejemplo más protuberante de ese fenómeno. Pero no es el único. Nuevas herramientas manuales, nuevos mecanismos automáticos e instrumentos de alta precisión, podrían citarse también en este mismo sentido.

A través de los anteriores efectos la tecnología mecánica da lugar a un importantísimo bien social, cual es el del trabajo humano que ella permite. En realidad, hay que reconocer que entre el trabajo humano y la mecanización de los procesos productivos hay una doble relación dialéctica. Una de ellas es similar a lo que podría llamarse una simbiosis de factores: es cuando el hombre necesita la máquina y la máquina necesita al hombre. La otra es una relación competitiva en la que frecuentemente el trabajo humano lleva la peor parte: es cuando la máquina desplaza al hombre o a muchos hombres de la ejecución de cierto trabajo. No es esta la ocasión para discutir a fondo esta compleja combinación de relaciones entre la máquina y el hombre, a la cual sociólogos, economistas y filósofos han dedicado extensos trabajos. Pero sí es necesario subrayar que esta situación impone a quien maneja la técnica (y al ingeniero mecánico en particular) una pesada y complicada responsabilidad ética, social y profesional en la aplicación de sus saberes.

Tal vez la consecuencia históricamente más visible de la mecanización del mundo y de los otros procesos de la revolución tecnológica ha sido la colosal acumulación de capital representada en medios de producción y en recursos financieros que hay hoy en el mundo, comparada con uno o dos siglos atrás. Pese a la mala repartición de esta riqueza entre las naciones, entre las regiones y entre las clases sociales, el hecho es que ella ha hecho posible niveles de desarrollo económico que si bien benefician hoy quizá solo a un tercio de la población, constituye una gran esperanza de mejoramiento para las otras dos terceras partes cuando las sociedades y los gobiernos hayan creado mecanismos de redistribución enormemente más justos que los que operan hoy a nivel mundial y dentro de los países.

Lo que veremos

Al entrar el tercer milenio, si el mundo sobrevive a sus amenazas actuales, Colombia continuará desarrollando, incrementando y modernizando todos sus sistemas de producción: la agricultura, la industria, la minería, el transporte, los servicios, etc. Eso significará la necesidad de preparar muchos nuevos ingenieros y especialmente los que manejen la tecnología mecánica. Naturalmente este proceso traerá notables cambios, como el de la expansión de la computrónica, el de la mecatrónica y el de la telemecánica, que ya están en marcha. Estos cambios y otros permitirán modernizar y tecnificar máquinas, fábricas y mecanismos a escala nacional, para lograr niveles de productividad mucho más altos que los actuales.

De particular interés para esta profesión va a ser el desarrollo de la fabricación de bienes de capital que Colombia

deberá acelerar en los años venideros. Un análisis sobre nuestra estructura fabril permite señalar que de hoy al año 2020 será necesario casi triplicar la construcción de máquinas y equipos en talleres y fábricas colombianas. Para responder a esta necesidad, los ingenieros mecánicos deberán reforzar sustancialmente su formación básica, su capacidad de diseño y sus instrumentos de trabajo.

Y en las otras industrias como las de bienes de consumo y las de bienes intermedios habrá que aprender a utilizar los nuevos supermateriales como la fibra de carbono, las nuevas cerámicas, los combinados compuestos, los metales ultraduros, etc. En las fábricas del futuro próximo aparecerá sin duda el robot, un nuevo personaje que no sabemos manejar todavía, y que desplazará el trabajo humano en grandes cantidades. Por eso la tecnología de la robótica seguramente va a generalizarse en muchas fábricas colombianas, a imitación de lo que ya ocurre en países como el Japón, Corea o los Estados Unidos. Será indispensable también desarrollar nuevas formas de pensamiento profesional como es por ejemplo el enfoque de sistemas, sin el cual no podríamos dominar los intrincados supersistemas mecánicos que habrán de operar en las fábricas del futuro.

Es poco probable que hayamos de adoptar en nuestro país fuentes de energía radicalmente distintas a las que hoy usamos. Ni la fisión nuclear ni la fusión del hidrógeno, ni la electrogeneración solar están en condiciones técnicas, económicas y ecológicas de reemplazar a fondo a nuestros tradicionales combustibles fósiles. Cuando a mediados del siglo XXI se agoten las reservas mundiales de petróleo, todavía quedarán en Colombia reservas de gas natural para varios decenios y reservas de carbón para casi un siglo. Estos recursos energéticos serán pues probablemente los que estarán movilizando las industrias, el transporte y la minería que manejen al mediar ese siglo.

Esta breve visión prospectiva de lo que tendrá que hacer la tecnología mecánica en Colombia en los decenios que vendrán, lleva a pensar en el tipo de formación profesional que conviene impartir desde ahora a los futuros ingenieros.

En primer lugar se ve cada vez más necesario mejorar y solidificar la preparación en ciencias básicas de la ingeniería. Me refiero especialmente a la Física, la Resistencia de Materiales, la Metalurgia, la Termodinámica y la Ciencia de los Materiales. Además, mañana como hace un siglo, un ingeniero mecánico requerirá una excelente formación en Mecánica Clásica y en Diseño de Mecanismos, a lo cual podrá en el futuro aplicar increíbles recursos de

computación en los cuales debe también entrenarse intensamente desde ahora. Es muy seguro asimismo que muchos ingenieros mecánicos deberán trabajar interdisciplinariamente con ingenieros electrónicos y eléctricos en las aplicaciones de los microprocesadores y de la telemecánica para la operación y el control de máquinas y estructuras complejas.

Bibliografía

- Ashton, T.S. 1950. *La Revolución Industrial*. México. Fondo de Cultura Económica. 1950. 195 p.
- Beggs Humphreys, Mary E., Hugh Gregor, Darlow Humphreys. 1976. *The Industrial Revolution*. Londres. George Allen and Unwin Co., 48 p.
- Buchanan, R. A. 1992. *The Power of the Machine*. London. Penguin Books. 299 p.
- Derry, T. K., I. Williams. 1970. *A Short History of Technology*. Londres. Oxford University Press. 783 p.
- Enciclopedia Británica on Line. Macropedia. Artículos "Watt, James", "Savery, Thomas", "Newcomen, Thomas", "Stephenson, George", "Trevithic, Richard", "Papin, Denis", "Lenoir, Etienne", "Otto, August Nicolaus", "Benz, Karl", "Maudslay, Henry", "Whitney, Ely", "Westinghouse, George". 1995.
- Flinn, M. W. 1966. *Origins of the Industrial Revolution*. Londres. Longmans and Green Co. 114 p.
- General Motors. 1958. *The Story of Power*. Ann Arbor, Mich. General Motors Corporation. 51 p.
- Grimberg, C. 1967. *Historia Universal Daimon. Tomo 11. El Siglo del Liberalismo*. Madrid. Ediciones Daimon, Manuel Tamayo. 432 p.
- Hawker, D. F. 1988. *Nuts and Bolts of the Past*. Philadelphia. Harper and Row Publishers. 1988. 308 p.
- Hellemans, A., Bryan B. 1988. *The Timetables of Science. A Chronology of the Most Important People and Events in the History of Science*. New York. Simon and Schuster. 656 p.
- Mesadié, G. 1992. *Great Inventions through History*. Edinburgh. Chambers. 1992. 237 p.
- Mumford, L. 1971. *Técnica y Civilización*. Madrid. Alianza Editorial. 522 p.
- Poveda Ramos, G. 1993. *Ingeniería e Historia de las Técnicas*. Bogotá. Colciencias. 351 p.
- Poveda Ramos, G. 1970. *Historia de la Industria en Colombia*. En "Revista Trimestral Andi". Número 11.
- Poveda Ramos, G. 1998. *Vapores Fluviales en Colombia*. Bogotá. Colciencias-Tercer Mundo.
- Rey Pastor, J. & N. Drews. 1957. *La Técnica en la Historia de la Humanidad*. Buenos Aires. Editorial Atlántida. 326 p.
- Varchim, J. & Joachim R. 1981. *Kraft, Energie und Arbeit. Energie und Gesellschaft*. Hamburg. Rowoll Taschenbuch Verlag G.m.b.H. 323 p.