

EL VAPOR Y LA CARRETERA

Teresa Sánchez Lázaro*
Dra. en Geografía e Historia

El desarrollo de la máquina de vapor a lo largo del siglo XVII supuso grandes ventajas frente a la principal fuerza motriz utilizada hasta entonces, la fuerza hidráulica, que no se veía limitada por la estación del año ni por el emplazamiento.

Máquina de vapor y carretera no podían desarrollarse simultáneamente sin influirse. En el presente artículo se establecen algunas consideraciones sobre esta interrelación, distinguiéndose tres etapas: la primera abarca desde el perfeccionamiento y difusión de la máquina de vapor (hacia 1800) hasta la implantación del ferrocarril (1840 a 1850, según los países); la segunda, desde la popularización del automóvil (alrededor de 1920) y la tercera desde 1920 en adelante.

The development of the steam engine in the 18th century represented some great advantages with respect to the main motive power used up to that time; the hydraulic power, because it was not limited neither by the season nor by the location.

Steam engine and road could not be developed simultaneously without reciprocal influences. This article deals with some considerations about this relationship, distinguishing three steps; the first one, since the improvement and diffusion of the steam engine (about 1800), until the implantation of railways (1840-1859, depending the countries), the second one, since the popularization of motor car (about 1920), and the third one since 1920 until now.

Hacia la segunda mitad del siglo XVIII se inició el proceso histórico conocido como "revolución industrial", que concentró en grandes fábricas la producción hasta entonces repartida entre múltiples y pequeños talleres artesanales. Hasta finales de ese siglo o principios del XIX la única fuerza motriz disponible, aparte de la muy limitada humana o animal, era la hidráulica, y esto frenó y condicionó la expansión industrial. Los saltos de agua, escasos en caudal y altura, eran de poca potencia, y las industrias tenían que instalarse en el propio salto, muchas veces situado en lugares de difícil acceso y alejados de los centros de consumo del producto o de producción de la materia prima. Además, los estiajes obligaban a la industria a paralizar su actividad durante meses.

Tras un largo y complejo proceso de gestación y de sucesivos perfeccionamientos que ocupó todo el siglo XVIII, la máquina de vapor estuvo en condiciones de solventar el problema, suminis-

trando energía motriz en todo tiempo y en cualquier lugar. En la primera década del siglo XIX trabajaban en Europa varios millones de máquinas de vapor en instalaciones fijas. Minas, fábricas de tejidos, de harinas, forjas, serrerías y muchas otras industrias aplicaron las nuevas máquinas para obtener trabajo. La producción se multiplicó, la mano de obra se redujo y la ubicación de las fábricas se decidió en función de razones geoeconómicas (abundancia de materia prima, de mano de obra, proximidad de centros de consumo, facilidad de transporte, etc.). La sala de máquinas fue el centro vital de la fábrica, y la chimenea que daba salida a los humos del hogar fue el distintivo de la industria durante todo el siglo XIX y principios del XX, hasta que el uso de la energía eléctrica se generalizó.

La construcción de carreteras, explanadas y afirmados, a expensas del erario público tuvo un desarrollo simultáneo con el descrito para la industria. Comenzó a mediados del siglo XVIII, con afirmado de tierra y canto rodado, poco duradero, que fue significativamente mejorado a principios del XIX por aplicación de las ideas de Mac Adam, Telford y otros, que eliminaron del firme la tierra y

*Ayudante de Departamento de Transportes
ETSICCP Madrid
Recibido en ROP: marzo 1994

sustituyeron el canto rodado por la piedra partida de granulometría controlada.

Como es natural, máquina de vapor y carretera no podían desarrollarse simultáneamente sin influirse. Y puede resultar interesante hacer algunas consideraciones sobre esta interrelación.

Consideraremos a este fin tres etapas de muy diferente signo: la primera abarca desde el perfeccionamiento y difusión de la máquina de vapor (hacia 1800) hasta la implantación del ferrocarril (1840 a 1850, según los países); la segunda abarca hasta la popularización del automóvil (alrededor de 1920) y la tercera desde 1920 en adelante (1).

Primera etapa (1800-1850)

Parece evidente que la apremiante necesidad de mejorar y abaratar el transporte terrestre, ya tradicionalmente sentida, se intensificó notablemente con el rápido desarrollo de la industria, producido por la generalización de la máquina de vapor. Se podría decir, por tanto, que la aparición de la máquina de vapor fue un factor decisivo que propició los intensos esfuerzos que se concentraron sobre la apertura, conservación y acondicionamiento de las carreteras.

El afán de lograr transportes más baratos y capaces también empujó a gobiernos y empresarios a aventurarse en la apertura de canales de navegación, intento del que obtuvieron más sinsabores que beneficios (2).

En los primeros años del siglo se construyeron vehículos de carretera movidos por vapor. El elevado peso del conjunto caldera-máquina-agua-combustible, la escasa potencia, la baja velocidad (algo superior a la del coche de caballos) y una conducción complicada y sucia, eran dificultades intrínsecas difíciles de superar, y a ellas se añadió la fuerte oposición de los competidores: propietarios de diligencias primero y de ferrocarriles más tarde.

Pese a todo, se diseñaron y construyeron muchos modelos de automóviles de vapor hasta que, en los primeros años del siglo XX, el motor de explosión se impuso definitivamente (figura 1).

Segunda etapa (1850-1920)

La superioridad del ferrocarril caracterizó este periodo de la historia del transporte terrestre. Los límites de tiempo asignados son meramente orientativos, y varían ampliamente en función del

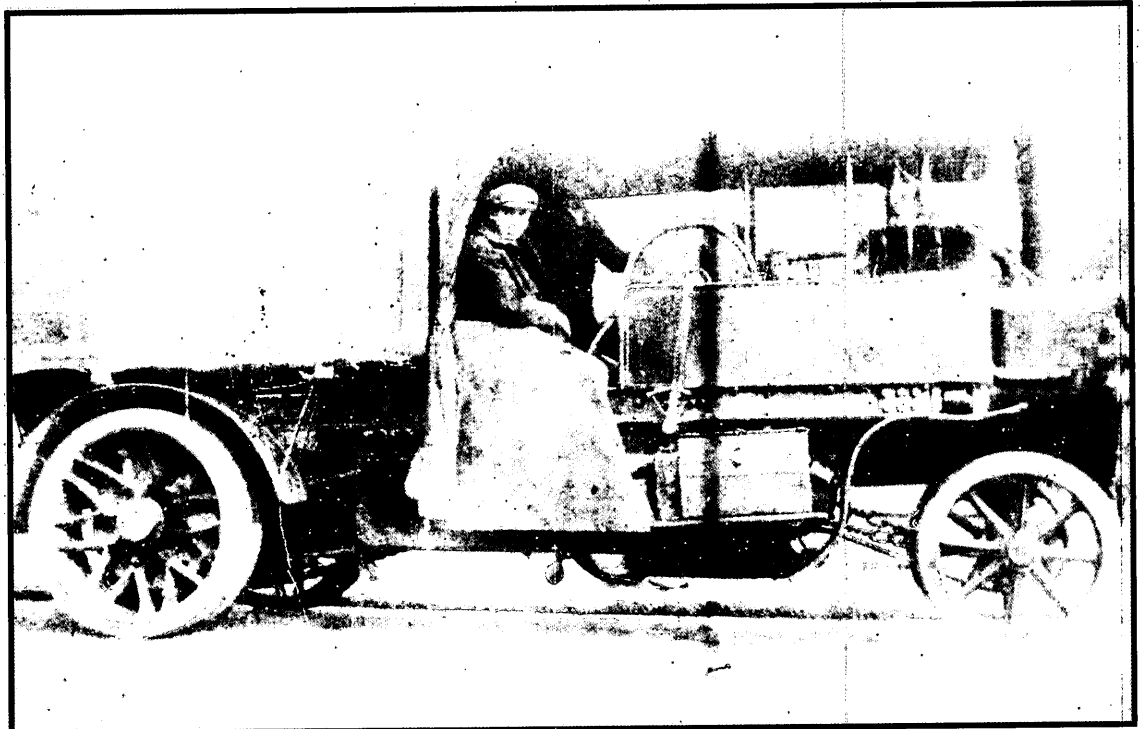
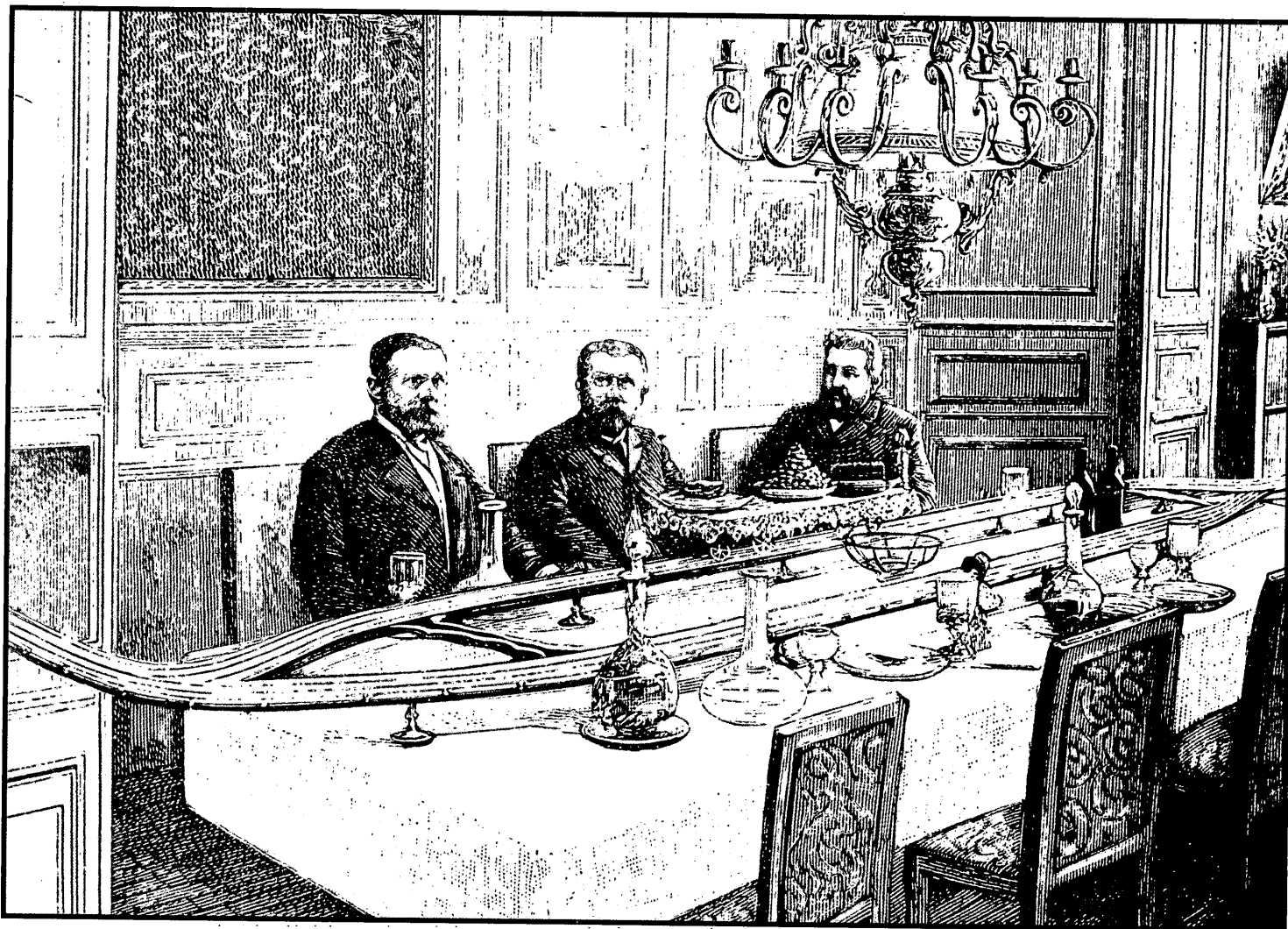


Figura 1 .- En el periodo entre las dos guerras mundiales, todavía se utilizaban en Gran Bretaña vehículos de carretera movidos por vapor para el acarreo de piedra para la reparación de carreteras (Foto: Hawkins, Michael, Devon Roads, 1987, p. 120)



país que se considere. Gran Bretaña, la pionera, inició su historia ferroviaria en 1830 con la vía Liverpool-Manchester, y en 1850 disponía ya de 10.000 km de caminos de hierro que crecieron hasta 35.000 km a fin de siglo. EEUU explotaba en 1850 algo más de 16.000 km, que llegaron a 320.000 en 1900.

España inauguró su primer ferrocarril (Barcelona-Mataró, de 28,4 km) en 1848, y el segundo (Madrid-Aranjuez, de 49 km) en 1851. En 1855 la red alcanzaba 480 km, 6.120 km 20 años después y 12.872 km (incluidos las de vía estrecha) en 1895, cifra que sufrió pocas variaciones a partir de entonces (12.254 km de vía ancha y unos 2.000 de vía estrecha en 1935).

El ferrocarril no tuvo competencia hasta que alrededor de 1920 se inició la difusión del automóvil con motor de combustión interna, que poco

a poco fue devolviendo a la carretera su protagonismo.

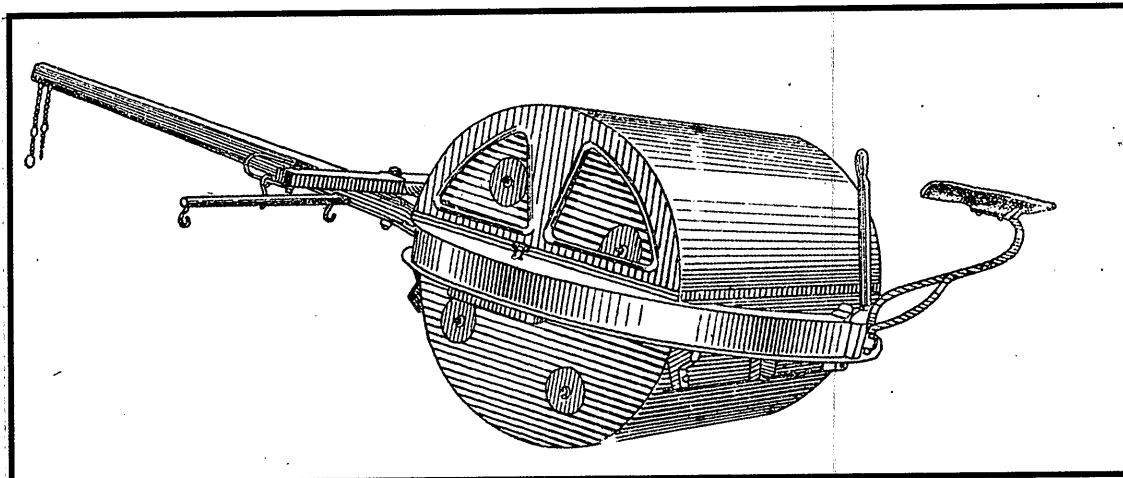
La historia del ferrocarril había comenzado al fracasar el intento de llevar a la carretera la máquina de vapor. Fue entonces cuando se pensó en construir para la nueva máquina caminos de hierro capaces de soportar su desmesurado peso, similares a los construidos años antes, para tracción animal, en algunas explotaciones mineras y portuarias. El ferrocarril significó un avance sin precedentes en capacidad, rapidez y regularidad. Sobre él se concentraron los mayores esfuerzos del capital y de la técnica, en detrimento de la carretera. En la introducción a L'état actuel de la technique routiere (1947) el ingeniero francés Daniel Boutet, aludiendo a su época de estudiante, se refiere con amargura a la situación:

"Estábamos por entonces, mis compañeros y yo, llenos de admiración por nuestros predecesos-

Figura 2.- Tren eléctrico de mesa de M. Gaston Menier, publicado en La Nature en 1887

(Foto: El mundo de las estaciones, catálogo de la exposición celebrada en el Palacio de Velazquez, Madrid, noviembre 1980).

Figura 3.- Cilindro apisonador para la consolidación de la piedra arrastrado por caballerías, que se enganchaban a la lanza. Pesaban de 2 a 5 toneladas (Foto: Escario, Caminos, tomo II, p. 665).



res que debían a su saber y a su buena fortuna el pertenecer a servicios especiales, marítimos o de navegación. Ellos al menos, pensábamos, son verdaderos ingenieros que crean a cada instante nuevas obras y utilizan ampliamente sus conocimientos técnicos y su espíritu de invención. Estábamos impregnados de un cierto desprecio por el papel, bastante secundario, que la mayoría de nosotros estaba llamado a cumplir en un servicio que, en el colmo de la ironía, era denominado servicio ordinario”.

Y más adelante: “Desde 1910, los problemas que se presentan al ingeniero viario son considerablemente agravados y multiplicados. La construcción y mantenimiento de las carreteras ya no son, como al comienzo del siglo, operaciones para las cuales la experiencia del ejecutante bastaba, casi siempre, para suplir la falta de conocimientos técnicos. Por entonces, los ferrocarriles de interés local estaban aún en pleno favor y la solicitud hacia ellos relegaba a un segundo plano el interés por el buen mantenimiento de las carreteras desde el punto de vista de la facilidad del transporte. A lo sumo, la bicicleta alcanzaba alguna popularidad, y las peticiones o reclamaciones que recibían los servicios se referían sobre todo a las dificultades de circulación que encontraban los ciclistas.

El automóvil acababa de nacer, y los raros privilegiados que lo utilizaban no tenían todavía influencia suficiente para hacer oír su voz. Durante la Gran Guerra de 1914-18 este modo de transporte experimentó un impulso excepcional, y esta evolución indujo una transformación concomitante en la técnica de la carretera” (3).

Derry, Trevor y Williams reflejan una visión casi nostálgica de las carreteras abandonadas en pleno auge del ferrocarril: “el ferrocarril trajo enormes ventajas sociales y económicas, no solo por reducir la barrera física de la distancia, sino por relajar la no menos frustrante barrera de clase. El viajar sin acompañamiento de ningún tipo de segregación se puso verdaderamente al alcance de todos, excepto los muy pobres, pero era una forma de viajar disciplinada, y como las carreteras quedaron vacías y silenciosas el individuo pareció perder algo de la libertad de expresión que encontramos en los viajeros británicos de la época preferroviaria” (4) (figura2).

En España, el menosprecio de la carretera llegó al abandono o enajenación por el gobierno, en 1870, de unos 2.600 km de carreteras, con la intención de que “el Estado vaya desprendiéndose de los caminos ordinarios paralelos a los de hierro”.

Tal error no fue legalmente reconocido hasta que la Ley de Carreteras de 1877 dispuso la recuperación de las carreteras abandonadas, a medida que lo permitieran los recursos del Tesoro (5).

La presión del ferrocarril no impidió el desarrollo de la carretera, que aumentó constantemente en número de kilómetros. Los elevados costes de construcción y explotación del ferrocarril limitaban su rentabilidad a las rutas con gran volumen de mercancías y viajeros, y la carretera era necesaria para el transporte entre los centros de consumo o producción y la estación más próxima, cuando aquellos no estaban situados sobre la vía. Incluso en rutas paralelas al ferrocarril, el transporte a po-

ca distancia resultaba más económico por carretera, al evitarse los gastos de carga y descarga.

Sin embargo, la postergación de la carretera parece ponerse de manifiesto en el estancamiento de las técnicas y la penuria de medios destinados a ella. Las ideas de Trésaguet, Mac-Adam o Telford siguieron vigentes durante todo un siglo. Quizá la más significativa de las escasas mejoras hechas en la técnica constructiva haya sido la de hacer la compactación con rodillos, en lugar de confiarla al tráfico y al tiempo, como Mac Adam había establecido.

El uso de rodillos de tracción animal se inició en Inglaterra en 1830 y en 1834 Polonceau lo introdujo en Francia (6). Se construían en madera con zunchos de hierro inicialmente, y más tarde en hierro colado, con un peso de unos 3.000 kg en vacío y hasta 8 ó 10.000 kg cargados, y eran arrastrados por tiros de 6 a 8 caballos que en ocasiones llegaban a 14, según el peso del artefacto, el estado del suelo y su pendiente (figura 3).

En 1843 Dumas abordó, en una memoria sobre la construcción de carreteras, las ventajas e inconvenientes de la compactación de los firmes de carreteras en estos términos:

"La trabazón del firme por el tránsito de vehículos se efectúa lenta e irregularmente y con enorme pérdida de fuerza, porque las presiones obran al azar: claro es que si la consolidación se lleva a cabo por medios racionales, como los que puede emplear la Administración, saldrá mucho más económica, porque la regularidad, el orden, la organización del trabajo, suponen por necesidad buen empleo y aprovechamiento de fuerzas. Pudiera objetarse que aunque no sea favorable para el público, es beneficioso para el Estado no hacer los gastos que la operación lleva consigo; más es un error. La Administración, que es la encargada de dirigir las fuerzas sociales, no debe aislarse de sus administrados, imponiendo a la tracción una pérdida del 10% para que el erario ahorre 1, máxime si se atiende a que esta relación no tiene nada de exagerada.

Pero hay más: los intereses fiscales y públicos, lejos de ser antagónicos, se hallan en perfecto acuerdo. La Administración puede prescindir de consolidar las carreteras, más no de conservarlas; pues bien, la conservación de un firme nuevo sin trabar es costosísima por mucho tiempo, porque

En 1862 apareció en la "Revista de Obras Públicas" una reseña tomada de Annales des Ponts et Chaussées en la que se cuenta que M. Lemoine, empleado municipal de Burdeos, ensayó en esa ciudad y propuso que se aplicara a las calles de París, un rodillo compresor de su invención propulsado por una máquina de vapor de 10 cv y que pesaba unas 10 toneladas

si aquél impone grandes incomodidades a los vehículos, éstos le hacen sufrir fatiga exactamente proporcional, por el tan conocido principio de la igualdad entre la acción y la reacción: parece como si el tráfico quisiese protestar a su modo contra un sistema defectuoso. Prepárese, por el contrario, una superficie tersa y trabada, y la rodadura de vehículos se verificará con suavidad, sin ocasionar desperfectos, compensándose con creces los gastos de consolidación con la economía realizada en la conservación" (7).

Llegados a este punto, la pregunta obligada sería: ¿En qué cuantía pesaban los gastos de cilindrado sobre el coste de construcción? En un artículo de Mariano de Carcer publicado en 1887 se informaba de la contratación del cilindrado "comprendido el riego necesario y demás faenas a dicha operación anexas" por 0,30 pesetas el metro lineal de carretera de 8 metros de anchura, poniendo la Administración el cilindro (8). El coste de construcción de pavimento de macadam comprimido con apisonadora de vapor resultaba en Madrid, en 1899, a 5,50 pesetas el metro cuadrado (9). Cotejando estos datos podría estimarse el costo del cilindrado en 1 a 2% del de construcción.

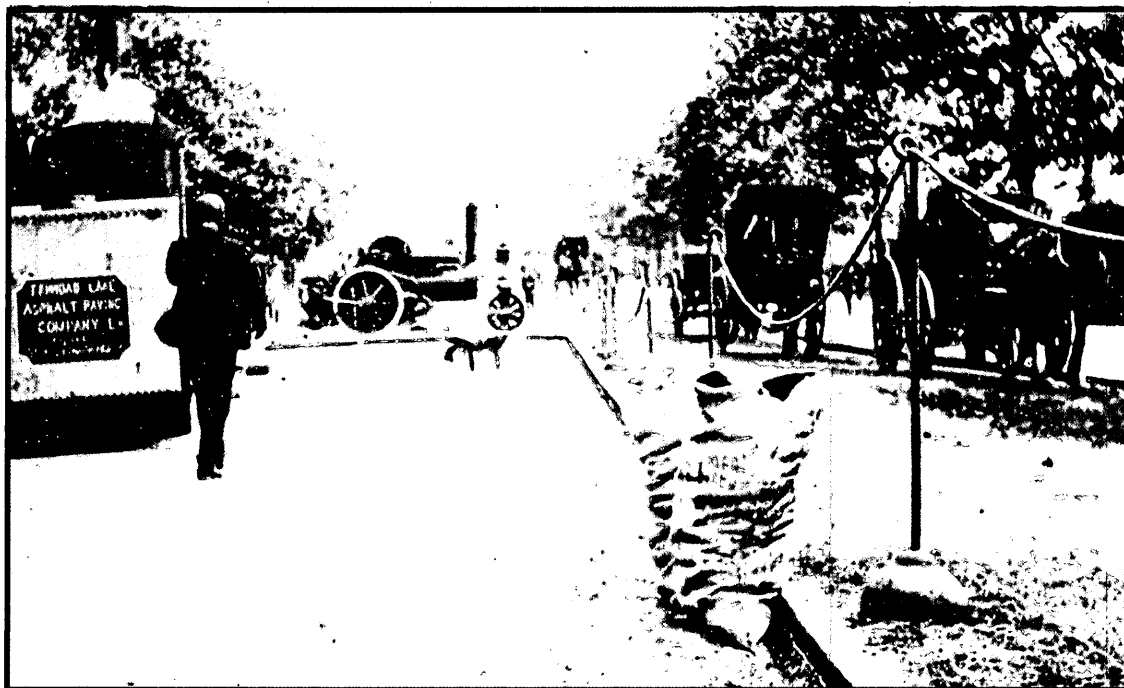
Los esfuerzos de M. Dumas y otros contemporáneos para justificar una mejora tan evidente a un costo tan exiguo, parecen poner de manifiesto, una vez más, lo escasos de recursos que estaban los responsables de las carreteras a mediados del siglo pasado.

En este estado de abatimiento hizo su aparición la apisonadora a vapor, y a él sin duda ha de atribuirse tanto su tardío nacimiento (posterior en 30 años al del ferrocarril), como su lentísima introducción.

Hacia 1860 aparecieron en Francia los primeros modelos. En 1862 apareció en la "Revista de Obras Públicas" una reseña tomada de Annales des Ponts et Chaussées en la que se cuenta que M. Lemoine, empleado municipal de Burdeos, ensayó en esa ciudad y propuso que se aplicara a las calles de París, un rodillo compresor de su invención propulsado por una máquina de vapor de 10 cv y que pesaba unas 10 toneladas. El apisonado con este artefacto resultó a 9 céntimos de franco por metro cuadrado, y en una jornada de trabajo compactaba 400 metros cuadrados, mientras que un rodillo tirado por 5 caballos hacía por

Figura 4 .- Apisonadora de vapor en las obras de pavimentación del Victoria Embankment de Londres en 1905

(Foto: The Recent Paving of one of the Worlds best known Thoroughfares with some notes on its early history, London, 1954.



jornada 160 metros cuadrados, que salían a 26 céntimos cada uno. Y hay que tener en cuenta que la rapidez de ejecución era un factor muy importante en las vías urbanas, que debían abrirse al tráfico lo más rápidamente posible.

Gran Bretaña había perdido esta vez la primacía de una invención, pero no por ello perdió el mercado, ya que las primeras apisonadoras eficaces comercializadas fueron las fabricadas por la firma inglesa Aveling y Porter desde 1866, que durante mucho tiempo fueron las de mayor éxito en Europa y América (10) (figuras 4 y 5).

La nueva máquina ofrecía evidentes ventajas sobre su predecesora de tracción animal. El elevado peso de la máquina de vapor, que fue siempre el gran obstáculo para su aplicación a vehículos, era en esta ocasión una ventaja. Los 12 centímetros de espesor de la tongada a compactar pasaron a 25. Los animales de tiro destruían en cada pasada parte de lo compactado en la anterior, tanto más cuanto mayor era la pendiente, por lo que no se podían emplear en rasantes con más de un 4 a 5% de inclinación, mientras que el cilindro de vapor trabajaba sin dificultad pendientes de hasta un 10%.

Los gastos se reducían a una cuarta parte y el tiempo a la mitad. Dotando a los cilindros con púas de hierro se podían picar los afirmados antes de aplicar una capa de recargo, mejorando mu-

cho con ello la trabazón. Sin embargo, las apisonadoras de vapor no dejaron de ser un lujo; en el manual de Pardo podemos leer:

“A pesar de lo expuesto, los cilindros de vapor no convienen en todas las circunstancias, y no deben desterrarse los antiguos. El precio elevado de las máquinas (de 15 a 20.000 pesetas), la dificultad de que funcionen continuamente y el exigir personal permanente e idóneo que devenga jornales crecidos, tienen que restringir muchísimo sus aplicaciones. Rara vez serán a propósito para el servicio general de obras públicas, a menos de concurrir condiciones muy especiales, como la afluencia a un centro de gran número de vías importantes y de activa circulación, pero en cambio están muy indicados para la construcción y conservación de calles y paseos en las capitales que cuentan con muchos kilómetros de firmes de piedra machacada. Los rodillos que se han descrito funcionan hace tiempo en Madrid, con la circunstancia de que la práctica ha demostrado lo infundados que eran los temores de accidentes ocasionados por asustarse las caballerías” (11).

Tal era el estado de opinión sobre la carretera a fin de siglo. Tan sólo las calles de ciudades principales y, como mucho, sus accesos, si eran “importantes y de activa circulación”, merecían los honores de la compactación mecánica. Para el resto (la casi totalidad de la red) bastaba con extender la piedra que los carros luego trabajarían,

con gran esfuerzo y coste. Generosamente, se dejaban a los lados de la calzada montones de grava que los camineros (¿o quizá también los carreteros?) irían echando sobre los baches y rodadas que tiros y carros producían en gran cantidad en aquel mal llamado "firme". Nada de lujosas máquinas de 20.000 pesetas, ni costosos acarros de agua para los riegos que exigía la compactación mecánica, ni "elevados" jornales de especialistas. El dinero era para el ferrocarril. Para una vez que el vapor ofrecía una ventaja a la carretera, ésta apenas pudo aprovecharla.

Como queda dicho, la introducción de la nueva máquina fue muy lenta, y limitada a las ciudades, por lo que los primeros usuarios fueron preferentemente los municipios. Sobre su introducción en España encontramos algunos datos en el artículo ya citado de Mariano de Castro, escrito en 1899. Refiriéndose al cilindrado de vapor dice:

"Es tan importante esta cuestión y son tan pocos los cilindros de esta clase que existen en España (tal vez no lleguen a una docena), que considero conveniente hacer públicos los resultados obtenidos durante dieciseis años con los dos mo-

delos que posee el Ayuntamiento de Madrid, sus precios y gastos que ocasionan, con algunos otros datos que conozco y a este asunto se refieren".

Es decir, que los primeros rodillos de vapor llegaron a España hacia 1883, casi veinte años después de su comercialización, y quince años más tarde los que hay en todo el país "tal vez no lleguen a una docena"

Esta cifra probablemente aumentó con cierta rapidez, ya que al año siguiente (agosto de 1900) se publicó en la Revista de Obras Públicas un anuncio de concurso para la adquisición por el Ayuntamiento de Madrid, con destino al Ensanche, de otros dos rodillos de 20 toneladas.

Tercera etapa (1920 en adelante)

El automóvil con motor de combustión interna, consagrado por el espectacular éxito del Ford T desde 1910, demostró sus posibilidades en el transporte por carretera durante la primera guerra mundial (1914-18), y a partir de ella invadió la ca-

Figura 5.- Cuadrilla de trabajadores en una carretera de Devon, alrededor de 1920 (Foto: Hawkins, Michael, Devon Roads, 1987, p. 173).

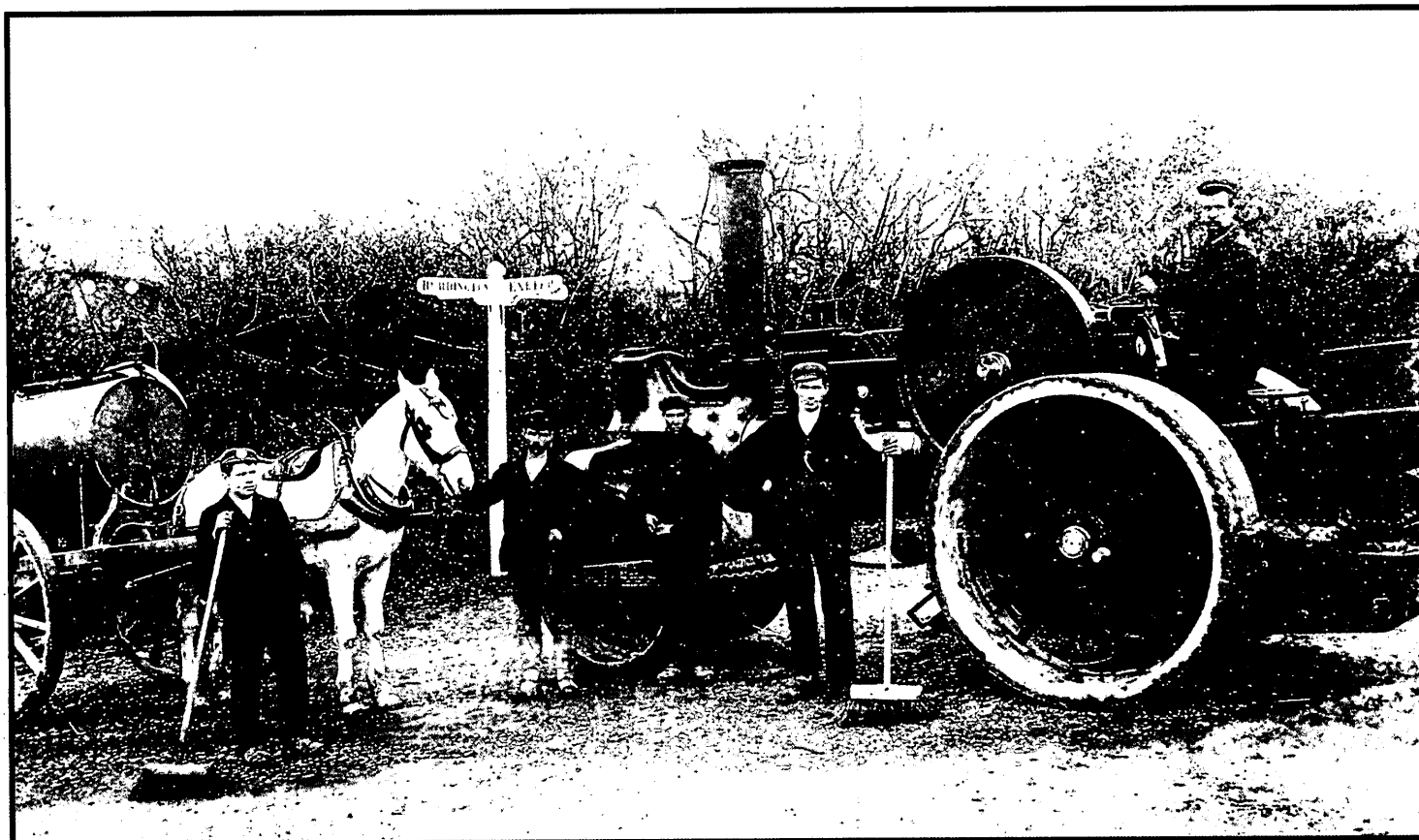
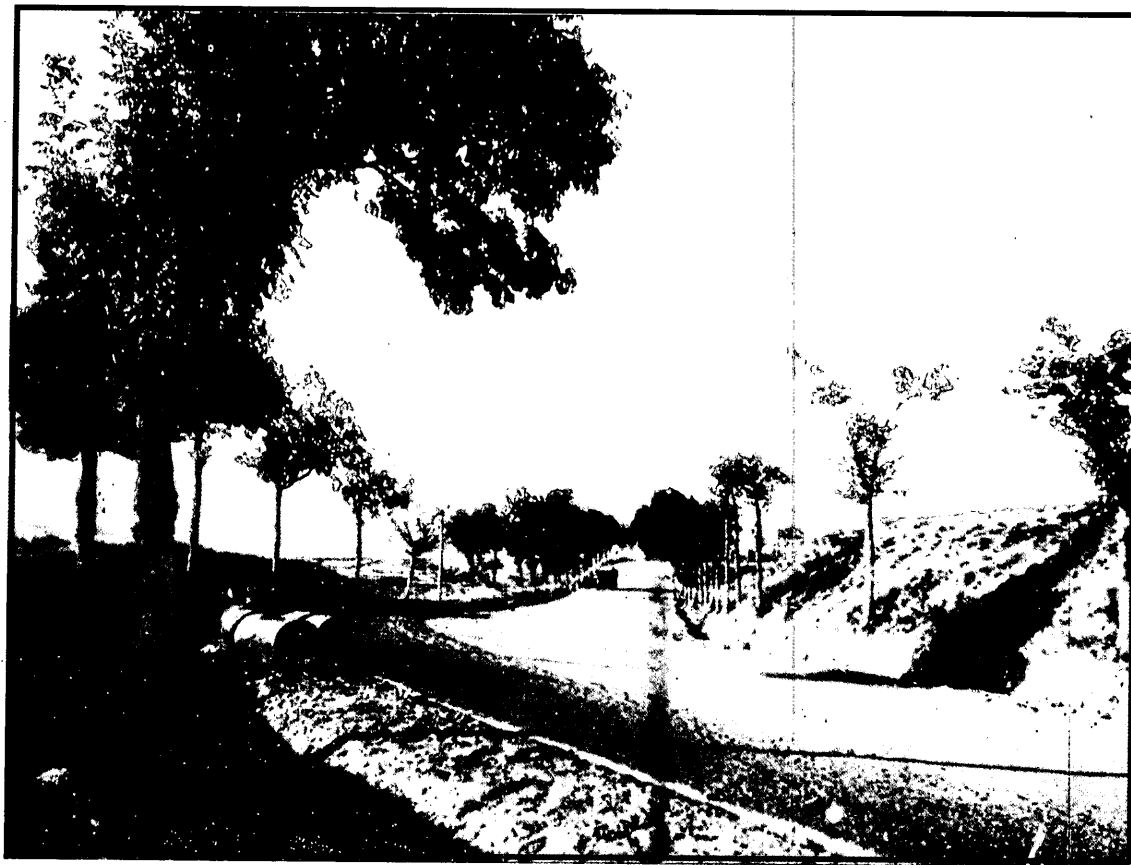


Figura 6.- Los pavimentos del Circuito Nacional de Firms Especiales. Riego de emulsión en la carretera de Madrid a Irun (Foto: CNFE, Memoria 1928).



rrertera dando la batalla al carro, que en tres o cuatro décadas desapareció en los recorridos largos, y al ferrocarril, que no desapareció gracias a la tutela estatal, pero que frenó su expansión y perdió su rentabilidad.

En España, la crisis ferroviaria se inició en 1924, año en que el tren comenzó a ser deficitario y el Estado se fue haciendo subsidiario progresivamente hasta la total nacionalización en 1941, con la creación de RENFE.

En 1930 había comenzado a decaer el volumen de transporte tanto de mercancías como de viajeros. En 1954 el transporte de mercancías por carretera superó por primera vez al del ferrocarril, y en 1957 lo hizo el transporte de viajeros. A partir de entonces la diferencia a favor de la carretera creció constantemente.

No pretendemos tratar aquí el tremendo impacto que la irrupción del automóvil ha supuesto para la sociedad, ni la compleja problemática que ha planteado. Nos limitaremos a un breve comentario sobre su influencia en la carretera y en la presencia del vapor en el transporte terrestre.

En lo que concierne a la carretera, la presencia del automóvil le devolvió poco a poco la importancia perdida, induciendo profundos cambios en su concepción. Los tradicionales firmes de macadam, tan adecuados para los carros con animales de tiro, resultaban polvorientos, rugosos y poco resistentes para los automóviles, cada vez más veloces y más pesados. Los firmes de aglomerados asfálticos se revelaron ideales para los automóviles, pero eran demasiado resbaladizos y deformables para los carros. Los distintos tipos de empedrados y los firmes de hormigón ocupaban un lugar intermedio, resultando aceptables para unos y otros (figuras 6 y 7).

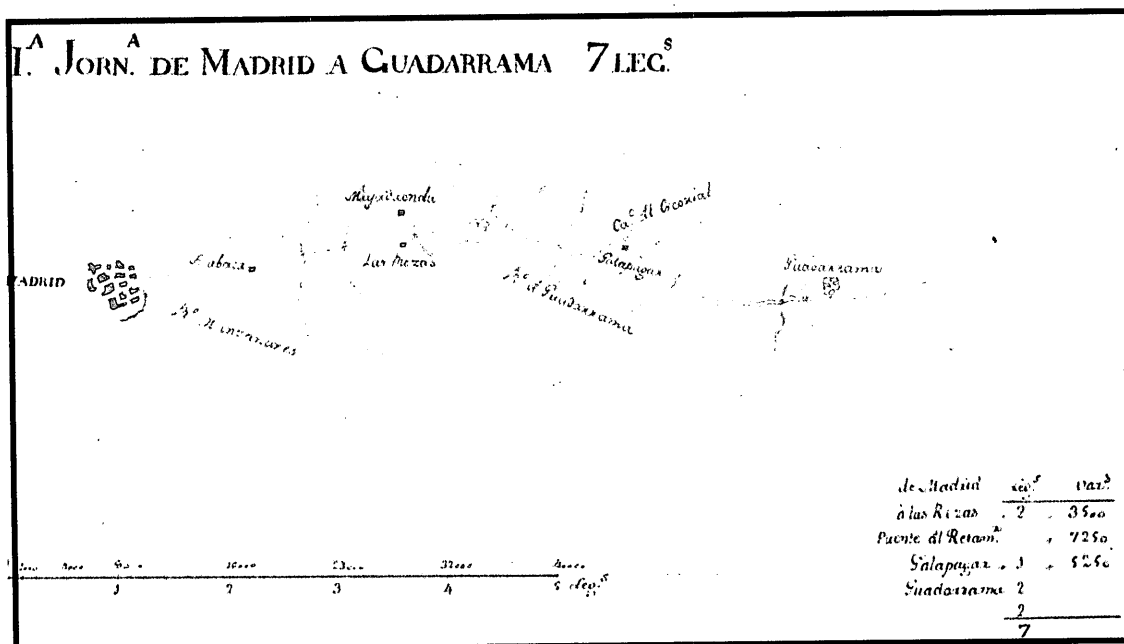
El automóvil limitó pronto la presencia del carro a las ciudades y sus inmediaciones, pero tardó décadas en eliminarlos. Durante este tiempo los planes para la transformación de los firmes adoptaron soluciones de compromiso, incluyendo tramos de empedrado (y más adelante de hormigón) en los pavimentos asfálticos. En España, se pueden encontrar alusiones a este tipo de pavimentos mixtos en el Circuito Nacional de Firms Especiales (1926-1930) y en el Plan de Modernización (1950).

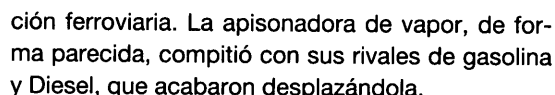


Figura 7 .- Los pavimentos del Circuito Nacional de Firms Especiales. Ejecución de un adoquinado en la carretera de Valencia a Castellón (Foto: CNFE, Memoria 1926-30).

La proliferación del motor de combustión interna resultó providencial para la industria petrolera, en un momento en que la electricidad estaba sustituyendo al petróleo en el alumbrado, que era su aplicación más importante.

El ferrocarril se esforzó en introducir los nuevos sistemas de propulsión, primero electrificándose, y después incorporando la tracción Diesel. En 1961 se construyó la última locomotora de vapor, y hacia 1980 el vapor desapareció de la trac-





Escario, en su clásico libro de texto (1943), consideraba al rodillo de vapor preferible en varios aspectos a sus homólogos de combustión interna (12).

Fuera de España, la evolución debió de ser bastante parecida. En su libro sobre las carreteras de Devon (Gran Bretaña), Michael Hawkins men-

Notas

- (1) Ha de tenerse en cuenta que durante este período el vapor fue desapareciendo progresivamente del ferrocarril, sustituido por tracción eléctrica y diesel. En España las primeras electrificaciones, según **Gonzalo Menéndez Pidal** (v. España en sus caminos, Madrid, 1992, p. 309) se hicieron en Almería (Nacimiento-Gador) en 1911, y en Asturias (Busdongo-Ujo) en 1925. En 1943-46 se terminaron de electrificar los tramos Madrid-Avila-Segovia y Bilbao-Ortuella (v. Uriol Salcedo, José I., Historia de los caminos de España, Vol. II Siglos XIX y XX, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, 1992, p. 360. El uso del vapor cesó totalmente en 1975 (v. Uriol, op. cit., p. 365).
- (2) v. los capítulos dedicados a los canales de Castilla e Imperial de Aragón en **Fernández Ordóñez, José Antonio, Martínez Vázquez de Parga, Rosario, Sánchez Lázaro, Teresa, Carrera González, Luis y Carro Pérez, Alejandro**, Catálogo de treinta canales españoles anteriores a 1900, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos-CEHOPU, 1986.
- (3) **Boutet, Daniel**, L'état actuel de la technique routiere, Paris, 1947.
- (4) **T.K. Derry, Trevor, I. Williams**, Historia de la Tecnología, Siglo Veintiuno, 1980, p. 563.
- (5) v. **Uriol Salcedo, José I.**, Historia de los caminos de España, Vol. II Siglos XIX y XX, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, 1992, p. 57.
- (6) v. **Pardo, Manuel**, Carreteras, Madrid, Manuel Tello, 1892, p. 80.
- (7) cfr. **Pardo**, op. cit., p. 80 y siguientes.
- (8) **Revista de Obras Públicas**, 1887, pag. 234.
- (9) de **Castro, Mariano**, "Consideraciones sobre los afirmados de Madrid", Revista de Obras Públicas, 1899.
- (10) **Pardo**, op. cit., p. 105. Parece claro que la industria francesa no estaba preparada para lanzar el invento, y que los ingleses seguían siendo los primeros en la mecánica del vapor.
- (11) **Pardo**, op. cit., pp. 107-108.
- (12) **Escario, José Luis**, Caminos, Madrid, 1943.
- (13) Carreteras, octubre-noviembre de 1961.
- (14) **Hawkins, Michael**, Devon Roads, Devon County Council-Devon Books, Devon, 1987, p. 191.