

La investigación y la formación en ingeniería del transporte en España



Francesc Robusté
Catedrático de Transporte de la Universidad Politécnica de Cataluña - BarcelonaTech

Resumen

Este artículo plasma una “foto” de la docencia e investigación científica actual sobre ingeniería del transporte en España. Tanto la formación a nivel universitario como la investigación en transporte han alcanzado estándares internacionales durante los últimos decenios.

Palabras clave

Formación, docencia, investigación, transporte, ingeniería

Abstract

This paper takes a “picture” of the curricula and scientific research on transportation engineering in Spain. Both university training and research on transportation have reached international standards during the last decades.

Keywords

Teaching, training, research, transportation, engineering

Introducción

Después de la fundación del Foro de la Ingeniería del Transporte (FIT) en España el año 2000 por un puñado de profesores de las Escuelas de Ingeniería y de la primera presidencia de Rafael Izquierdo, éste convenció a los socios fundadores para delegar la segunda presidencia en mí durante casi un decenio (hasta junio del 2014): me veo en la obligación de reflexionar sobre los dos pilares de la Universidad, docencia e investigación, aplicados a la ingeniería del transporte y ciñéndome a los socios actuales del FIT. La reflexión, por tanto, no engloba ni a todas las profesiones que inciden en la ingeniería del transporte ni a todas las Escuelas de ingeniería civil o industrial de España, ni siquiera a todos los profesores de ingeniería del transporte de España sino sólo a los socios miembros del FIT en el 2015.

Hablamos del transporte en singular para resaltar la imprescindible perspectiva sistémica y holística y ampliamos la inicial acepción de la economía del transporte (inicios en España íntimamente vinculados a Rafael Izquierdo; ver Vassallo, 2014), al análisis científico del hecho de superar el tiempo y la distancia (personas, objetos e información), tanto de las infraestructuras como de los vehículos y la información (TIC). Algunos de los grupos de investigación (GI), socios del FIT, combinan esta perspectiva con otras más afines al objeto principal de la

carrera que imparten: ingeniería mecánica en el caso de los grupos IIT de Sevilla, VEHIVIAL de Zaragoza, I2T-UniOvi de Gijón e INSIA de Madrid, e infraestructura de carreteras en el caso del grupo GIIC de Valencia y de ferrocarriles en el grupo FerroTrans de A Coruña.



Papel de la tecnología en la madurez de un sistema de transporte

Las tres ingenierías civil, industrial y TIC han tenido un papel complementario en la implementación de todo sistema de transporte: la infraestructura confiere una componente estratégica, el vehículo y la energía una componente táctica y la información una componente operativa. La figura muestra que

en los inicios de la historia del sistema, la infraestructura tiene un papel más relevante, mientras que en las etapas finales de madurez, son las TIC las que pueden concentrar la mayor presencia profesional. Las éticas de las tres ingenierías del transporte (servicio, productividad, y mercado) son también distintas.

Ya adelanto como conclusión la palpable mejora tanto de la docencia como de la investigación en España desde los tiempos de Rafael Izquierdo hasta la actualidad. A mi entender, este salto en cantidad y calidad tiene varios detonantes:

- progresiva profesionalización de ambas vertientes (docencia e investigación),
- movilidad y formación de profesores y estudiantes de doctorado en universidades de prestigio internacional,
- mutación de tesis doctorales enciclopédicas a compendio de artículos científicos,
- necesidad de publicar con estándares internacionales en revistas científicas indexadas y revisadas por pares (en lo sucesivo, revistas SCI del Science Citation Index),
- evaluación de la calidad de la investigación en base a los sexenios de la CNEAI,
- requisitos para dirigir, evaluar y defender una tesis doctoral,
- requisitos sobre investigación (artículos SCI y sexenios) en los concursos y oposiciones de las plazas universitarias,
- programas de I+D+i a nivel europeo, español (aquí cabe ensalzar la labor de Ángel Aparicio cuando estuvo al frente del CEDEX), de CC. AA. e incluso a nivel de ayuntamientos,
- proyectos o convenios de investigación aplicada o de transferencia de tecnología que permiten mantener los equipos,
- necesidades sociales demandando aspectos de planificación, funcionalidad y gestión de las infraestructuras y los servicios de transporte como complemento a la buena labor ya existente de proyecto y construcción de infraestructuras y fabricación del material móvil,
- tendencias de integración de la infraestructura y los vehículos con las TIC en forma de “transporte sin papel”, “pago

sin contacto”, “*free flow*”, “*Smart city*”, “sistemas inteligentes de transporte”, etc.,

- disponibilidad ingente de datos asociados al *tracking* de personas y vehículos, sensores *low-cost*, internet de las cosas, apps y demás tecnología que gira alrededor de los “*smartphones*”,
- nuevos planes de estudios que han incorporado asignaturas “troncales” sobre transporte para toda la profesión (ingenieros civiles o industriales) y han ampliado el peso del transporte en las respectivas carreras,
- para muchos profesores, la asistencia al mayor congreso sectorial anual, el Transportation Research Board o TRB en Washington DC cada enero, permitió “lanzarse” a las publicaciones indexadas, establecer contactos y mantenerse al día de la investigación.

La formación sobre Ingeniería del Transporte en España

En varias reflexiones de los Congresos de Ingeniería Civil he plasmado mis puntos de vista sobre la formación en Ingeniería del Transporte en España. En una (Robusté 1991a), conminaba a los Ingenieros de Caminos a salir de su perspectiva de “fabricación” (sin abandonarla) de las infraestructuras para la movilidad, el agua y la energía, en basar su competitividad en la gestión de esas infraestructuras (además de en su proyecto y construcción) y proponía docenas de asignaturas inexistentes y transversales para los nuevos planes de estudios. En otra (Robusté 1991b, redundando en Robusté 1999), avanzaba las oportunidades profesionales que se avecinaban en el sector del transporte y la necesidad de una formación científica sólida (no marginal como un par de asignaturas descriptivas y optativas de una especialidad de una carrera) que permitiera una diferenciación con otros profesionales, y una masa crítica (lo que conllevaría a agrupar contribuciones técnicas de distintas ingenierías e incluso de ciencias sociales). Finalmente, en Robusté, Aguado y Casas (1999) se propuso utilizar el método docente “del caso”, habitual en las escuelas de negocio, para la docencia de aspectos complejos de planificación del transporte y para la concepción y desarrollo de un proyecto de ingeniería.

Las contribuciones docentes de Rafael Izquierdo se plasman en diversas evoluciones desde su primer proyecto docente de la asignatura “Economía y coordinación de transportes” impartida en la Escuela de Caminos de Santander el curso 1970-71 (Vassallo, 2014) hasta su legado enciclopédico en la

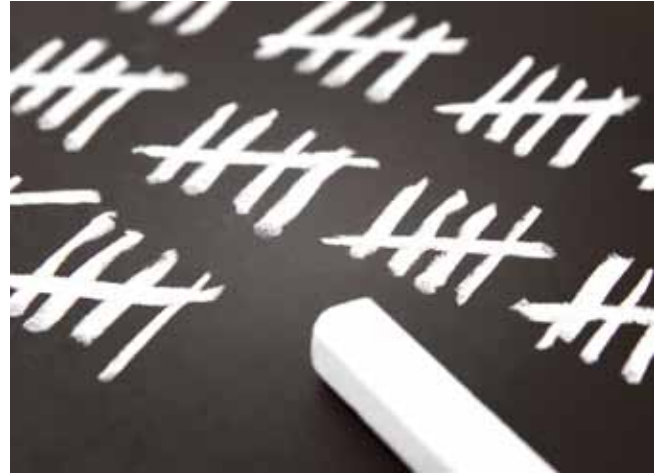
cúspide de su carrera docente como editor del libro “Transportes: Un enfoque integral” (Izquierdo, 1994) que nos involucró a muchos profesores.

Romana (2007) argumenta la dificultad en evaluar la dedicación y currículum de un profesor universitario, del cambio sufrido entre buenos profesionales que transmitían sus conocimientos a “la profesionalización de las universidades españolas donde la etiqueta principal de un profesor en una escuela de ingeniería pasó a ser la de profesor”. Sugiere finalmente evaluar la actividad de los profesores en seis áreas: formación de grado y postgrado, docencia, investigación, publicaciones, divulgación y actividad profesional. Estos acostumbran a ser los principales conceptos para evaluar los méritos en oposiciones, habilitaciones o acreditaciones, pero es cierto que el peso de las publicaciones es creciente.

Un “buen profesor” está al día de los conocimientos de su asignatura, prepara las clases y las imparte de forma amena, con buena elocución y de forma entendible, pone ejemplos prácticos y profesionales, organiza conferencias y quizás salidas de campo, elabora apuntes docentes, muestra predisposición, disponibilidad y empatía con la casuística creciente de los estudiantes por cualquiera de los canales actuales de contacto. Rafael Izquierdo en las Escuelas de Caminos de Santander primero y después en la de Madrid era uno de ellos.

Las Escuelas suelen disponer de un par de titulaciones de grado (“Ingeniería Civil” e “Ingeniería de Obras Públicas”), y uno o dos másteres en Ingeniería Civil (uno de ellos, el “Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos”). Algunas imparten además un “Máster de Investigación en Ingeniería Civil” (Santander y A Coruña) y otros másteres sectoriales como el Máster Universitario en Sistemas de Ingeniería Civil en Madrid, el Máster en Supply Chain, Transporte y Movilidad en Barcelona, o los Máster Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo, Máster Universitario de Planificación y Gestión en la Ingeniería Civil y el Máster Universitario en Ingeniería Ambiental de Valencia.

Los nombres de las asignaturas de grado y máster varían desde la uniformidad de la “Economía y coordinación de transportes” definida por Rafael Izquierdo en 1970: “Transporte” (Madrid y Barcelona), “Sistemas de transporte” (Madrid, Santander y Burgos), “Planificación del transporte” (Sevilla), “Economía del transporte” (Ciudad Real), “Ingeniería del transporte” (A Coruña y Granada), “Planificación y gestión del transporte en el territorio” (Barcelona), “Planificación y ges-



ción de las infraestructuras y de los servicios del transporte” (Granada), “Planificación y gestión del transporte” (Santander), “Diseño de redes de transporte” (Santander), “Smart cities” (Málaga), “Movilidad metropolitana y terminales de transporte” (A Coruña), “Modelos de elección de transportes” (A Coruña), “Movilidad sostenible y sistemas de transporte de capacidad intermedia” (A Coruña), “Transporte urbano” (Madrid), “Movilidad urbana” (Barcelona), “Ingeniería del tráfico” (Valencia), “Terminales e intercambiadores” (Sevilla), “Logística urbana y terminales de transporte” (Barcelona), “Modelización del transporte y tráfico” (Sevilla), “Modelos de demanda de transportes” (Madrid), “Financiación de infraestructuras” (Madrid), “Evaluación económica” (Madrid), etc.

Naturalmente, las tres universidades politécnicas que acostumbran a disponer de otros másteres sectoriales, tienen la oportunidad de ofrecer asignaturas más específicas como en Madrid (“Economía y operación del transporte”, “Circulación viaria”, “Política y planificación del transporte”, “Fundamentos de la ingeniería del transporte”), Barcelona (“Operaciones en sistemas de transporte”, “Economía urbana y territorial”, “Demanda de sistemas de transporte”, “Tráfico”, “Transporte colectivo”, “Transporte de mercancías”, “Financiación”, “Evaluación y toma de decisiones”, “Gestión portuaria”, “Gestión de aeropuertos y líneas aéreas”, “Movilidad sostenible”), o Valencia (“Seguridad vial”, “Mantenimiento de infraestructuras”, etc.).

En resumen: hemos pasado en estos 45 años desde la primera docencia de Rafael Izquierdo de una única asignatura en una única Escuela a disponer de una gran variedad de asignaturas, algunas obligatorias para todos los estudiantes de una



titulación, muchas de ellas con contenidos al día y homologados internacionalmente y con profesores que también tienen un reconocimiento creciente a nivel internacional (de hecho, algunas de las asignaturas citadas se imparten en inglés).

Las matemáticas del Transporte

Acostumbro a decir que el transporte es sólo complejo, no complicado: todo se entiende perfectamente, pero hay que incorporar varios agentes (“*stakeholders*”) y perspectivas (funcional, ambiental, social, económica, política). La transversalidad del transporte le confiere cierto potencial de innovación “de bajo coste” al poder extrapolar algunas técnicas de un aspecto a otro (esta misma facilidad de “transportar ideas” no está exenta de “riesgos mediáticos”).

Estos aspectos transversales son importantes para temáticas como la gestión del sistema de transporte (*Transportation System Management*), la sostenibilidad y el medio ambiente, la percepción del usuario, la seguridad (en ambas acepciones sajonas de “*safety*” y “*security*”), la política (en ambas acepciones sajonas de “*policy*” y “*politics*”), etc. Reproduzco una expresión políticamente incorrecta pero que resulta muy visual: para ser un buen analista del transporte es muy útil desarrollar un “cerebro femenino” (independientemente del género).

El carácter discreto de los problemas confiere gran complejidad y limita la intuición ingenieril con los tratamientos habituales de programación matemática: de ahí que enfoques de aproximaciones continuas o de probabilidad geométrica hayan arrojado grandes resultados en determinar guías de diseño del sistema.

Hace casi un decenio elaboramos con Miquel A. Estrada un inventario de las matemáticas necesarias para solucionar problemas de transporte, en las facetas de diseño, planificación, optimización, operaciones, simulación, control y regulación, demanda, calibración de modelos, previsión (*forecasting*), tratamiento de datos / big data, calidad de servicio, decisión / priorización (*appraisal*), infraestructura, seguridad (*safety and security*), resiliencia, robustez, fiabilidad, emergencias, etc.

Las facetas del transporte citadas anteriormente necesitan de las siguientes matemáticas: Álgebra, Análisis bayesiano, Análisis coste-beneficio, Análisis de decisión, Análisis del ciclo de vida, Análisis de riesgo, Análisis multicriterio, Análisis multivariante, Cálculo infinitesimal, Cálculo variacional, Colas, Contabilidad financiera (*Financial accounting*), Contabilidad de costes (*Cost accounting*), *Data Envelopment Analysis*, *Data mining*, Econometría, Ecuaciones diferenciales, Elementos finitos, Estabilidad, Filtros de Kalman, Grafos / redes, Inventarios, Juegos, Localización, Lógica matemática, Metaheurísticos, Métodos numéricos, Microeconomía (Análisis marginal), Ondas, Probabilidad geométrica, Probabilidad y estadística, Programación binivel, Programación dinámica, Programación matemática, Redes de Petri, Series de Fourier, Series temporales, Simulación de Monte Carlo, Simulación discreta, Variable compleja, etc.

Gran parte de estas matemáticas se imparten en todas las ingenierías, pero conviene subrayar la importancia de la Investigación Operativa para el transporte, la importancia de Probabilidad y Estadística (en probabilidad habría que introducir la Teoría de juegos) y sugerimos que en Álgebra se explique programación matemática lineal y análisis multicriterio. Es necesario incorporar los conceptos de fiabilidad, resiliencia o robustez en ingeniería del transporte.

La investigación sobre Ingeniería del Transporte en España

Si la gran columna universitaria de la formación o la docencia en Transporte ha experimentado una gran mejora en el panorama español, la columna de investigación ha experimentado un salto aún más notable. Este salto, además se ha producido en un lapso temporal menor, de apenas un par de decenios y está aún en proceso de asimilación.

Desde el FIT intentamos plasmar una “foto” de la investigación en Transporte en España a partir de las contribuciones en los Congresos de Ingeniería del Transporte que organiza el FIT

bianualmente, pero después de los análisis de 1998 (Barcelona), 2000 (Valencia) y 2002 (Santander) se hizo un paréntesis que se ha retomado recientemente, pese a que ya están disponibles de forma accesible las contribuciones e impacto de cada investigador o grupo de investigación en páginas web como Scopus, Researchgate, ORCID o Google Scholar.

Como comenté en el epílogo del libro ‘Comienzos de la Economía del Transporte’ (Vassallo, 2014) dedicado a la figura de Rafael Izquierdo, en su momento no entendí los motivos que podía tener Rafael Izquierdo para confiarme la presidencia del FIT durante casi un decenio: posteriormente, me he convencido que Rafael ya intuía la necesidad de la profesionalización de la investigación en las universidades, un cambio de paradigma en un área donde tradicionalmente se había investigado poco porque “de transporte, como de fútbol, todo el mundo entiende” (sobre todo a posteriori). A continuación se comentan las principales líneas de investigación científicas (basadas en un mínimo de diez artículos SCI) activas hoy en día en España.

La vertiente de la Ingeniería Industrial se ha forjado a partir de la Ingeniería Mecánica y todos estos socios del FIT normalmente pertenecen a grupos grandes con dotación e instalaciones y mantienen su foco de investigación en el vehículo y la automoción:

- INSIAT (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil) (Madrid), con Francisco Aparicio y Blanca Arenas, dispone de decenas de investigadores y siete profesores doctores, e investiga sobre sistemas de asistencia al conductor y el control inteligente de la velocidad, evaluación de impactos por carretera en la seguridad vial y el medio ambiente y la seguridad en el transporte colectivo.

- VEHIVIAL (Nuevas tecnologías en vehículos y seguridad vial) (Zaragoza) con Luis Castejón, engloba 25 investigadores e investiga el diseño de vehículos, materiales compuestos y reconstrucción de accidentes.

- IIT (Ingeniería e Infraestructura de los Transportes) (Sevilla), con Francisco García Benítez, Johan Wideberg, Luis Onieva, José María del Castillo y Jesús Muñozuri, investiga sobre ingeniería mecánica la caja de transmisión continuamente variable, tracción eléctrica 4x4, y sobre ingeniería del transporte modelos de tráfico, demanda y logística.

- I2T-UniOvi (Ingeniería e Infraestructura de los Transportes) (Gijón), con Daniel Álvarez y Pablo Luque, investiga sobre

análisis, diseño y optimización de elementos de transporte terrestre, accidentes de tráfico y conducción eficiente.

La investigación sobre Transporte en las Escuelas de Ingeniería de Caminos tuvo que partir casi desde cero: una única asignatura habitualmente descriptiva o enfocada a los aspectos económicos, políticos, sociales y ambientales del transporte pero sin cuantificación, grupos de investigación pequeños o unipersonales, etc.

La publicación en revistas internacionales del SCI en Transporte dividió de forma natural a la comunidad académica entre profesores investigadores, profesores docentes (a tiempo completo) y profesionales (con docencia a tiempo parcial). La verdad es que todos los grupos de investigación han crecido y mejorado cada uno a su velocidad y con sus condicionantes. Los proyectos europeos de investigación presentan la oportunidad de interactuar con los investigadores europeos, pero fueron las convocatorias competitivas del Ministerio de Fomento las que permitieron crecer a casi todos los grupos de investigación de Transporte en España.

A continuación, se describen las líneas de investigación científicas activas en transporte:

- CENIT (Investigación e innovación en Transporte, Movilidad y Logística) (Barcelona), con Francesc Robusté, Sergi Saurí, Miquel A. Estrada, Francesc Soriguera y José Magín Campos, investiga sobre operaciones de tráfico, logística, autobuses, puertos, aeropuertos y movilidad urbana inteligente. El socio fundador del FIT, Andrés López Pita, pertenece al grupo de investigación EXIT, con investigación sobre ferrocarriles (infraestructura, alta velocidad y mercancías).

- FerroTrans (Ferrocarriles y Transportes) (A Coruña), con Miguel Rodríguez Bugarín, Margarita Novales y Alfonso Orro, investiga sobre ferrocarriles, sistemas de transporte metropolitano y modelización de demanda.

- GIST (Grupo de investigación de Sistemas de Transporte) (Santander) con Ángel Ibeas, Luigi dell’Olio, José Luis Moura, y Borja Alonso, investiga sobre modelos de demanda, micro y macro simulación de redes de transporte y sobre externalidades y sostenibilidad.

- GITEL (Grupo de investigación de Transporte y Logística) (Zaragoza), con Emilio Larrodé, investiga sobre logística.

- INTRAS (Instituto de Tráfico y Seguridad Vial) (Valencia), con Jaime Sanmartín, mantiene diversas líneas científicas de investigación sobre seguridad vial.

- ITRAT (Centro de Investigación en Transporte y Territorio) (Valencia) cubre distintas líneas de investigación. Alfredo García con GIIC (Grupo de Investigación de Ingeniería de Carreteras) investiga sobre el diseño geométrico de carreteras, seguridad vial y operación vehicular, José V. Colomer, Tomás Ruiz y Ricardo Insa sobre planes de movilidad urbana y operación ferroviaria.

- LogIT (Logística e Ingeniería del Transporte) (Burgos), con Hernán Gonzalo y Marta Rojo, investiga sobre calidad del transporte urbano y movilidad ciclista.

- ROT (Redes y Optimización del Transporte) (Ciudad Real), con José María Menéndez y Ana Rivas, investiga sobre infraestructuras y servicios ferroviarios y sobre tráfico.

- TRANSyT (Centro de Investigación del Transporte) (Madrid) con Andrés Monzón (actual presidente del FIT), José Manuel Vassallo y María Eugenia López-Lambas (hasta hace pocos meses, secretaria del FIT), mantiene tres líneas de investigación: análisis y modelización de la movilidad, financiación y PPPs e impactos territoriales de las redes de transporte.

- TrySe (Transporte y Seguridad) (Granada), con Juan de Oña, Francisco Javier Calvo y Laura Garach investiga sobre seguridad vial, calidad de los servicios de transporte y tarificación ferroviaria.

Existe un buen número de profesores miembros del FIT que desarrollan actividad investigadora fuera de estos grupos estructurados y, naturalmente, existen muchos otros profesores que investigan sobre ingeniería del transporte que no pertenecen al FIT. La productividad científica de los grupos de investigación que constituyen el FIT ha sido creciente, indicando una progresión de la que Rafael Izquierdo se sentiría orgulloso.

Conclusiones

Puede constatarse una palpable mejora tanto de la docencia (contenidos y enfoques de las asignaturas) como de la investigación (publicaciones científicas con estándares internacionales) en ingeniería del transporte en España desde los tiempos de Rafael Izquierdo hasta la actualidad... Mejora que seguramente Rafael exhibiría y de la que se sentiría orgulloso como protagonista de la semilla inicial que ha germinado y está dando sus frutos. Rafael, vamos por el buen camino... **ROP**

Referencias

- Izquierdo, R. (editor) (1994) *Transportes: Un enfoque integral*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- Robusté, F. (1991a) *Formación y competitividad: una llamada de atención*. Actas del II Congreso Nacional de la Ingeniería Civil, páginas 618-620. Santander.
- Robusté, F. (1991b) *Ingenieros de Transporte: la respuesta oportuna*. Actas del II Congreso Nacional de la Ingeniería Civil, páginas 537-540. Santander.
- Robusté, F. (1999) *La potenciación del transporte como estrategia de futuro de la ingeniería civil*. Actas del III Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Barcelona 24-26 de noviembre.
- Robusté, F., A. Aguado y J.R. Casas (1999) *La formación de un ingeniero civil compatible con el legado de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: Aprendiendo de las Escuelas de Negocios*. Actas del III Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Barcelona 24-26 de noviembre.
- Romana, M. G. (2007) *La dedicación de un Profesor de Universidad (al menos de Ingeniería)*, Revista de Obras Públicas núm. 3.480, pág. 7-10. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Vassallo, J.M. (2014) *Los comienzos de la Economía del Transporte en España: un homenaje al Prof. Rafael Izquierdo*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.