

Cambios en los últimos años de la ingeniería civil española

Recent changes in Spanish civil engineering

Antonio de las Casas Gómez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
antonio.delascasas@gmail.com

Resumen: Con motivo de celebrar los 25 años de profesión de la promoción de 1983 de la Escuela de Madrid, nos pareció que podía ser útil, hacer un alto en una actividad, con frecuencia muy absorbente, y poner por escrito una mirada atrás a los cambios que se han producido, naturalmente en paralelo con los cambios en toda la sociedad, en el campo de la Ingeniería civil en estos años que la han transformado profundamente. Las infraestructuras existentes en la actualidad poco se parecen a las que teníamos hace poco más de dos décadas en buena parte de los campos de nuestra actividad.

Palabras Clave: Historia; Novedades; Perspectiva; Panorama; Logros

Abstract: On the occasion of celebrating the 25 years of occupation of the 1983 promotion of the School of Madrid, we thought that it might be useful to stop an activity, often absorbing, and put in writing a look back at the changes have occurred, naturally in parallel with changes in society, in the field of civil engineering in these years that have changed dramatically. The existing infrastructures at present little resemblance to what we had done little more than two decades in much of the fields of our activity.

Keywords: History; Innovations; Perspective; Panorama; Achievements

Con motivo de celebrar el presente año 2008 los 25 años desde que salimos de la Escuela de Caminos de Madrid, nos pareció que podría tener interés hacer un artículo en la ROP en que se recojan de forma sucinta los principales cambios que se han producido en la profesión durante este periodo y que hemos vivido en primera persona. El unir en unas páginas las experiencias vividas por cada uno en una pequeña parcela y hacer el esfuerzo de sintetizar en una líneas lo recorrido en 25 años, nos parece que puede tener interés, no sólo para nosotros, sino con carácter general, ahora y cuando en el futuro alguien quiera tener una visión retrospectiva, como hace habitualmente la correspondiente sección de la revista recogiendo artículos de 50, 100 o 150 años atrás, dando testimonio de que afortunadamente tenemos una Revista que puede presumir de tener ya 155 años.

No nos parece pecar de subjetivismo el afirmar que nos ha tocado vivir uno de los momentos más importantes de la historia de las obras públicas en España que no tiene parangón en los dos últimos siglos, ni mucho me-

nos antes, ni siquiera en las denominadas por Fernando Sáenz Ridruejo edades de oro y plata, el reinado de Isabel II y la Dictadura de Primo de Rivera. El establecimiento del régimen democrático, la creación de las autonomías, la revitalización de los ayuntamientos y el ingreso en la Unión Europea, han supuesto un cambio total en nuestra sociedad y en nuestra economía y han proporcionado un marco inigualable, tanto por su intensidad, como por su duración, para el desarrollo de las obras públicas, todo ello en una etapa de un acelerado desarrollo tecnológico y una fase expansiva de la economía mundial, truncada bruscamente en los últimos meses.

Un historiador tiene que desconfiar del relato de un testigo demasiado cercano del pasado, por su falta de perspectiva y su implicación en los hechos. Sin embargo, si se toma como lo que es, una visión personal, obra en gran medida de un grupo de compañeros, falta de pretensiones objetivas, puede llegar a ganar la complacencia del que se quiera sentir compañero de viaje. No pretende más esta breve relación de un cuarto de siglo

de evolución de nuestra profesión, recogida con aportaciones de varios compañeros, que he querido respetar en buena medida, ganando en matices y enfoques lo que pierde en unidad. Naturalmente como autor principal me considero como el responsable de las opiniones que en él se vierten, aunque en gran medida recoja opiniones y formulaciones de otros compañeros. No tiene la pretensión de ser la opinión de un colectivo de 230 profesionales, necesariamente plural, ni siquiera la de ser la opinión mayoritaria del mismo, solamente la de ser una opinión más.

La preocupación medioambiental.

Caminando en círculos

Seguramente la nota más característica de estos 25 años sea el protagonismo adquirido por la conciencia ambiental en toda la sociedad y por tanto también en el campo de la ingeniería civil. A inicios de los ochenta del siglo pasado, el territorio parecía reclamar un cierto orden que debía atender a esa gran capacidad de distribuir el desarrollo que se les reconocía a las infraestructuras. Se exigía compensar las deficiencias del sistema, los costes de congestión y las carencias de las zonas más atrasadas. Este discurso, aparentemente consolidado y sólido, asociado al arranque de la democracia en la década anterior e impulsado desde las recién creadas comunidades autónomas asistió mudo a la modernización de una sociedad que se habría de integrar en la Unión Europea poco después y que reclamaba, para competir, eliminar las posibles trabas a sus capacidades.

La ansiedad por ser competitivos en Europa anuló la reclamación territorial. Al tiempo, se asistía a la progresiva institucionalización de la demanda ambiental. La exigencia de un entorno más saludable y una sincera preocupación por la conservación de los valores naturales y culturales se reflejó en las sucesivas leyes e instrumentos administrativos que durante la década de los ochenta vinieron a atender la gestión de las aguas, el patrimonio, las costas, la conservación de la naturaleza, los residuos tóxicos, la calidad del aire, etc. El trabajo del ingeniero de caminos se fue haciendo compañero del trabajo ambiental compartiendo el espacio público de lo colectivo que es esencial en ambos. Diluido el lenguaje territorial que tan poco había conseguido, la argumentación ambiental cobró fuerza y se popularizó en todos los ámbitos: opinión pública, medios de comuni-

cación, discursos políticos y, particularmente, en las responsabilidades de los ingenieros de caminos que con mayor o menor soltura fueron incorporando sus expresiones y formas. Los procedimientos de evaluación de impacto, crecientemente operativos a lo largo de los años noventa, proporcionaron la plataforma para la inevitable confrontación que subyace entre el planteamiento del proyecto de ingeniería civil (funcionalidad, eficacia, diseño interno) y su contexto (entorno, integración, repercusión).

La tensión que inicialmente generaba la convivencia de diferentes lenguajes, quehaceres y planteamientos se fue relajando progresivamente a medida que el procedimiento de control se fue mostrando cada vez más como un mecanismo de validación, si bien irregular y en muchos sentidos arbitrario, que cómo un proceso positivo de resolución de los problemas, evolución esta última que ha dirigido el trabajo de algunos y que sigue siendo sentida como una continuada frustración.

La dependencia económica de nuestro país del sector de la construcción, negocio no ajeno a las financieras; el tirón que la fascinación por las obras públicas aún ejerce en la opinión pública y su consecuente papel como recurso ágil y vistoso de los líderes políticos; y la creciente imposición en el debate público de las formas frente a los contenidos han venido imponiendo en el cambio de siglo actitudes que repiten en sus planteamientos de fondo los de los idearios del pasado más lejano.

A medida que fue entrando el tercer milenio, la posibilidad de revisar las premisas de unos modos de vida cada día más inviables, sostenidos por nuestras infraestructuras y nuestro trabajo de ingenieros, ha ido siendo postergada en pos de un consumo insistente y despilfarrador. Además, el contexto mundial, sacudido por conflictos desmesurados en sus intereses y en sus dramáticas repercusiones sociales, ha impulsado esa decadencia de la capacidad del mundo de las ideas, abandonado a sí mismo, atendido sólo por las formas pero ignorado ciegamente por las maneras.

Caminamos en círculos, para tantos años después encontrarnos un poquito más atrás de donde empezamos.

La informática en la ingeniería

Junto a la preocupación ambiental, aunque en gran medida y en primer lugar como instrumento del

ejercicio cotidiano, seguramente la "invasión" de la informática en la profesión ha sido en este corto espacio, la segunda gran transformación que hemos vivido. Aunque los ingenieros de Caminos hemos sido pioneros en esta materia, y tenemos el orgullo de poder contar entre nosotros con D. Leonardo Torres Quevedo, un gran precursor que ya a finales del siglo XIX se preocupó de que sus ingenios mecánicos pudieran resolver problemas de cálculo y otros propios de una inteligencia humana.

Cien años después, a finales del siglo XX, en la década de los 70 y 80 la informática ya había tomado cuerpo como una disciplina independiente de la mecánica y de la ingeniería y se usaba como una herramienta imprescindible para la realización de todo tipo de cálculos numéricos. Se iban acuñando términos como *Inteligencia Artificial*, *Internet* o *Ingeniería del Software*, pero principalmente, en la Escuela de Caminos, hablar de *Informática* seguía siendo sinónimo de *Calculo Numérico*.

Los años 70 fueron la época de los grandes *mainframes* y de los llamados *minicomputadores*, como aquel Hewlett-Packard en el que el profesor D. José Puy Huarte, nos enseñó a programar en *FORTRAN-IV*, escribiendo los programas en un conjunto de tarjetas perforadas. Algunos de nosotros, los estudiantes y los jóvenes ingenieros, disponíamos de calculadoras programables en las que, apurando los recursos de memoria, se podía implementar la resolución del método de Cross (eso sí, sólo para un nodo o dos), o, los más afortunados, de *ordenadores personales*, en los cuales mediante el lenguaje *BASIC* automatizábamos procesos de cálculo que poco antes no había más remedio que realizar manualmente. La mayoría de los artículos publicados en estas fechas hacían referencia a los métodos de elementos finitos y a modelos de simulación.

La evolución de la informática en los últimos 25 años es quizás una de las más notables en el campo científico y técnico. La situación actual es una combinación de la evolución tanto del *hardware* como del *software*. En el primer caso, la gran revolución ocurrió a principios de la década de los 80, con la generalización del uso de ordenadores personales, y su cada vez mayor velocidad de cálculo y capacidad de almacenamiento. Según la llamada *Ley de Moore*, la potencia de un microprocesador se duplica cada 18 meses, y el coste de un ordenador, a igualdad de prestaciones, se reduce a la mitad en el mismo tiempo. Por ello, hoy en día cualquier ordenador personal es como 10^3 - 10^4 veces más potente que aquella máquina única y carísima alojada

en los sótanos de la Escuela. También han mejorado enormemente los dispositivos periféricos, entre ellos el modesto *ratón*, que aunque inventado anteriormente, no se popularizó hasta principios de los 90.

Con los lenguajes de programación ha ocurrido algo parecido. Los paradigmas de programación modular y programación orientada a objetos ya existían hace más de 25 años, pero en la práctica no se popularizaron hasta la década de los 80 y los 90 respectivamente. Coexisten hoy en día otros paradigmas de programación marginales como la programación *funcional*, *lógica*, orientada a *agentes*, etc, y está en auge el mercado de *componentes software* y el cada vez más importante desarrollo de *software libre* o de *código abierto*.

El éxito de éste último se debe sin duda a otro de los hitos que creo más importantes de estos últimos 25 años, el desarrollo de la *World Wide Web*, que aparece a principios de los 90, como un nuevo mecanismo para intercambio de información. Tanto *Internet*, como los *lenguajes de marcado*, ya existían y se usaban anteriormente, pero la aceptación y el uso generalizado de esta nueva tecnología ha supuesto un impacto social comparable a la aparición de la radio. La *Web* se ha convertido hoy en día en uno de los principales recursos de la *sociedad del conocimiento*. Hace ya tiempo se habla de la *Web 2.0*, para hacer énfasis en las aplicaciones y servicios a través de Internet, en las que participan comunidades de usuarios y se realiza una gestión dinámica de los contenidos.

La aplicación a la informática en la ingeniería ha seguido un rumbo paralelo a la evolución general. En principio, la revolución ofimática (edición de texto, hojas de cálculo, etc.) es quizás la que ha tenido una mayor repercusión práctica. Son ya de uso común los programas de mediciones, presupuestos y control de obra, al igual que los programas para dibujo asistido por ordenador (*CAD*), animaciones y presentaciones foto-realistas. También son de uso frecuente programas técnicos, tanto genéricos, para el cálculo numérico y simbólico; como específicos para el cálculo de estructuras de todo tipo, trazado de carreteras y ferrocarriles, ingeniería marítima, ingeniería hidráulica, hidrología, análisis geotécnicos, urbanismo, gestión de territorio, sistemas de información geográfica (*GIS*), etc.

Las redes de sensores, unidas al tratamiento automático de la información, la planificación y el *control en tiempo real* han permitido avances importantes en hidrología, obras hidráulicas, ingeniería del tráfico, ca-

rreteras y ferrocarriles, resistencia de estructuras, seguridad de presas y embalses, etc. En estos sistemas complejos, en ocasiones se han aplicado con éxito *sistemas basados en el conocimiento* para el apoyo a la toma de decisiones.

En cuanto a la investigación, la informática sigue teniendo un papel fundamental como herramienta auxiliar de la ingeniería. La simulación mediante modelos de elementos finitos y el cálculo numérico siguen siendo áreas de gran interés. Las nuevas técnicas originadas en el campo de la *Inteligencia Artificial*, tales como *redes neuronales*, *algoritmos genéticos*, o *redes bayesianas*, *diagnóstico basado en modelos*, *búsqueda heurística*, *minería de datos*, etc. han dado lugar a numerosas aplicaciones.

Por último, un aspecto no menos importante en la relación entre informática e ingeniería es la aplicación de las técnicas de *enseñanza asistida por ordenador (CAL)*, de los *sistemas tutores inteligentes (ITS)*, y de la enseñanza virtual (*e-learning*) a la mejora de la docencia de la ingeniería y a la *formación continua* de los ingenieros.

Las Administraciones Públicas

Una profesión como la nuestra, nacida en la administración pública y en buena parte formando parte de la misma o íntimamente dependiente de ella, no podía sino transformarse en buena medida en paralelo con ella.

Dos aspectos destacados en la evolución de la administración pública en España en estos años, la descentralización y la participación ciudadana, han influido especialmente en nuestra profesión.

Nuestra incorporación a la actividad profesional coincide prácticamente con la promulgación de la ley de Medidas para la Reforma de la Función Pública.

Uno de los objetivos inspiradores de la promulgación de la citada ley era adecuar la regulación de la función pública a la nueva estructura organizativa del Estado derivada de la Constitución aprobada hacia seis años, y en particular la entrada en funcionamiento de las Comunidades Autónomas, cuya administración, surgida de progresivas transferencias de personas, medios y competencias del Estado, estaba iniciando su andadura.

Dicha Ley es aprobada con vocación de provisoriedad en tanto se promulgase el Estatuto de la Fun-

ción Pública previsto en de la Constitución. No obstante los sucesivos retrasos en la elaboración del citado estatuto, que no se vería plasmado hasta el año 2007 con el Estatuto Básico del Empleado Público, confirieron a la primera de las leyes, el papel de Legislación Básica de la función pública durante casi un cuarto de siglo.

Durante la vigencia de la misma se ha producido un cambio radical de la configuración de las distintas administraciones en nuestro país.

En el año 1983 los empleados públicos eran 1.696.000, con un predominio aplastante del sector público estatal con 1.357.000 empleados frente a los 232.000 empleados de la Administración local y los 107.000 de la naciente Administración Autonómica.

El año 2006, el sector público había tenido un significativo crecimiento, alcanzando los 2.460.000 empleados. Prácticamente culminado el proceso de transferencias del Estado a las Comunidades Autónomas, éstas, con 1.227.700 empleados, suponían prácticamente la mitad del sector público. El segundo lugar correspondía a la administración local, que con 586.000 empleados había duplicado su tamaño. La Administración General del Estado había pasado a 550.000 empleados.

Esta evolución, naturalmente, ha afectado a nuestro sector profesional, con un notable incremento de los ingenieros que desarrollan su actividad en las Administraciones Autonómicas y Locales. No obstante, el importante peso en el conjunto de las inversiones en Obras Públicas de las Infraestructuras que son consideradas por nuestra Constitución de Interés General del Estado, hace que el papel de la Administración del Estado aún sea predominante. De los 20.471 ingenieros colegiados en activo a finales del año 2006, 1.229 trabajaban en el sector público estatal y 1.329 en el sector autonómico y local.

Un segundo rasgo significativo de la evolución de las administraciones públicas es una mayor participación ciudadana, en parte impulsada por el crecimiento de las administraciones que, por su ámbito territorial, son vistas como más próximas al administrado. Esta participación se vio reflejada en un primer momento por un incremento de la información que la administración facilita al ciudadano y que este exige de la misma.

Los organismos de las administraciones responsables de las infraestructuras públicas han abordado este proceso con un sensible retraso respecto a los sectores de la administración pioneros y punteros en este proceso (administración tributaria, seguridad social). No obstante, la cada vez mayor preocupación ciudadana por el



medio ambiente ha incrementado la exigencia social de un mayor acceso a la información que las distintas administraciones recogen sobre el mismo y al conocimiento de la repercusión de las obras públicas sobre el medio ambiente.

En la actualidad esta evolución de la relación entre la administración pública y la sociedad civil ha llevado a un mayor peso de la opinión pública en la toma de decisiones en las políticas de ordenación territorial, medio ambiente y en consecuencia en la planificación y definición de las infraestructuras a ellas vinculadas.

Las empresas constructoras

Las Empresas constructoras y de ingeniería, son el segundo gran ámbito de desarrollo profesional de los ingenieros. Cuando nos incorporamos al trabajo, eran tiempos difíciles para las empresas constructoras ya que

el mercado de la obra pública estaba bajo mínimos y los más atrevidos hacían sus pinitos en el exterior con diferente fortuna.

Era el momento de las nucleares en España y los que no tuvieron contactos suficientes para refugiarse en los pocos huecos que las ingenierías y constructoras podían ofrecer, acabaron como mano de obra masiva al servicio del desarrollo nuclear español.

Afortunadamente, la ratificación por el Congreso del Plan General de Carreteras 1984-1991 con el que se ponía en marcha el primer plan de modernización de nuestras obsoletas infraestructuras, que a la postre se han demostrado vitales para el despegue económico de España de las últimas décadas, fue el reinicio de la actividad constructora en nuestra nación y permitió la entrada de muchos en el apasionante mundo de la construcción. Tras estos años de frenética actividad, podemos ver las enormes diferencias que existen entre las empresas constructoras de entonces y los enormes con-

glomerados de actividades en que se han transformado hoy en día.

La incorporación a la obra resultaba complicada y aunque con un buen bagaje teórico, al llegar a la empresa se encontraron en un mundo distinto donde había un factor fundamental a tener en cuenta, y del que, hasta entonces, apenas nadie les había hablado y casi ninguno había reparado, el dinero (entonces representado por el signo del dólar \$ y que hoy día hasta eso ha cambiado y se usa €).

Efectivamente entraron en el mundo de la construcción, donde no solamente había que proyectar, calcular y construir cosas, sino que había que hacerlo de la manera más económica posible, y posiblemente ahí era donde radicaba su gran ventaja, en la capacidad de adaptación a un entorno cambiante y a una preparación multidisciplinar muy importante.

No se trataba solo de hacer los cálculos más finos posibles, sino que además había que idear los sistemas constructivos más ingeniosos, pero también tenían que tratar con suministradores y proveedores de materiales y servicios donde era necesaria una alta dosis de psicología y relaciones públicas, y por si fuera poco, todo eso había que encajarlo en un presupuesto de obra que siempre era escaso.

Aunque sin lugar a dudas, lo más importante de ese paso decisivo en sus vidas fue la responsabilidad. Ya eran adultos responsables de sus actos, pero en esta nueva etapa tenían que ser responsables de todo un equipo de personas que no veían delante de ellos un joven ingeniero de veintipocos años, sino un jefe capaz de solucionar los problemas que se le presentaran.

Y así, nuevamente, solo con sus conocimientos técnicos y su escasa experiencia de la vida, tuvieron que opinar y dar consejos sobre problemas de parejas, enfermedades graves, problemas económicos de las familias,...

Felizmente, también en esta difícil prueba salieron generalmente airosos, y supieron ejercitar el mando con las dosis necesarias de comprensión y humanidad que magnifican la palabra "jefe".

Hablar de empresas constructoras en estos tiempos es una reminiscencia histórica de sus orígenes, ya que la actividad de la construcción en estos grandes conglomerados de empresas ocupa, hoy día, una pequeña parte de su volumen de negocio.

Las antiguas Dragados, Entrecanales, Cubiertas y MZOV, FOCSA, Construcciones y Contratas, Ferrovial,

Agromán, etc., se han convertido actualmente en grandes holdings diversificados en distintos sectores algunos muy alejados del negocio de la construcción.

En los últimos 15 años las empresas constructoras españolas han aprovechado el extraordinario auge de la construcción en nuestro país para llevar a cabo una diversificación e internacionalización de su actividad que les ha llevado a situarse dentro de los mayores grupos empresariales del mundo.

El posicionamiento en sectores claves del desarrollo de la sociedad como son las infraestructuras de transporte, la logística, la energía, los servicios, etc., han fortalecido sus estructuras empresariales y las han blindado ante los ciclos de actividad que sufre la construcción.

Actualmente nuestros grandes grupos constructores, ACS, ACCIONA, FCC, FERROVIAL, etc., muestran con orgullo el nombre de España por decenas de países en los cinco continentes, y lo que en nuestro caso es motivo doble de orgullo, al frente de estas empresas se encuentran compañeros nuestros demostrando las capacidades organizativas y gerenciales de los Ingenieros de Caminos.

Las empresas de ingeniería, consultorías y oficinas de proyectos

Como no podía ser de otra manera también en el terreno de las empresas de ingeniería, consultorías, oficinas de proyectos, empresas de control, etc. ha habido grandes cambios en este período.

A lo largo del artículo han ido apareciendo muchos de los cambios que se han producido, al tener que hacer frente a las cambiantes demandas del sector de la construcción, abandonando ciertos temas, como por ejemplo la orientación hacia la construcción de las centrales nucleares, importante cuando salimos de la Escuela, y que quedó bruscamente interrumpida por el parón nuclear decretado por las autoridades.

Por el contrario han ido apareciendo sectores que, en muchas ocasiones, han adquirido gran importancia en las mismas, desplazando o completando a los sectores convencionales. Así por ejemplo hay que subrayar el esfuerzo realizado por las empresas para abordar el "nuevo" campo del medioambiente, que de ser inexistente o marginal, se ha convertido en una parte importante del negocio, o la importancia adquirida o el volumen abordado en distintos momentos por las carrete-

ras, los estudios geotécnicos, las obras subterráneas, los ferrocarriles de alta velocidad, y prácticamente todos los sectores de nuestra competencia.

El crecimiento del sector ha sido verdaderamente espectacular, en paralelo e incluso superando, al de la propia actividad constructiva. A estas empresas se traslada, en distintos momentos, buena parte de las actividades que en este terreno antes hacían las propias constructoras, al reducirse sus oficinas técnicas y prácticamente la totalidad de lo que hacían las distintas administraciones, al eliminarse los correspondientes departamentos.

Cuando se mira el proceso con una cierta perspectiva, como se pretende hacer en este artículo, no puede dejar de despertar sorpresa, e incluso admiración, el volumen de trabajo que se ha realizado gracias a la capacidad organizativa de las empresas, al trabajo de muchas personas y al espíritu emprendedor de no pocos compañeros, que en estos años se han aventurado a cubrir algún hueco que descubrían en este terreno. Este crecimiento no es ajeno tampoco a los cambios legislativos producidos en estos años, modificando los existentes o creando otros nuevos.

Por otro lado la progresiva tecnificación de todos los procesos, sean los estudios previos, la elaboración de los proyectos, la propia ejecución, los controles de calidad de cada una de las etapas o la propia explotación de las infraestructuras, han exigido, a las empresas y a los profesionales, una continua puesta al día de sus conocimientos, cuando no el adentrarse en terrenos hasta ahora desconocidos y a adaptar metodologías tomadas de otros sectores.

La interdisciplinariedad, de la que en nuestra etapa de formación nos hablaban casi como una rareza, se ha impuesto, afortunadamente, en estos años y hoy día es una realidad prácticamente generalizada y los ingenieros hemos tenido que aprender a convivir y a compartir responsabilidades con muchas otras profesiones, tradicionales o emergentes, lo que, sin lugar a dudas, ha enriquecido nuestro trabajo, aunque no siempre ha estado desprovisto de tensiones, como por ejemplo la planteada con los ingenieros de minas a propósito de las competencias profesionales en el campo de las obras subterráneas.

El control de calidad de todas nuestras actividades ha sido sin duda uno de los retos más importantes que hemos tenido que afrontar y donde aún queda mucho camino por andar. No tiene ninguna lógica que sea mucho mayor el control de calidad de la fa-

bricación de cualquier objeto de la vida diaria, que va a ser utilizado solamente unos pocos años, a veces muy pocos, que la vivienda propia, el edificio público o la infraestructura, que nos va a llevar muchos años el pagar, en el primero de los casos, o que nacen para prestar servicio durante décadas. Mucho se ha hecho en los últimos años, con frecuencia a través de empresas expresamente dedicadas a ello, o de los departamentos "ad hoc" creados por las empresas constructoras o de otro tipo.

No podemos olvidar tampoco la creciente presencia que las universidades han tenido en estos años en este terreno, tema que se toca más ampliamente más adelante al tratar el tema de las Escuelas de ingeniería y su orientación hacia la investigación.

Tampoco este sector podía quedar ajeno a las cambiantes estrategias empresariales que se han desarrollado en estos años, con los distintos procesos, superpuestos en ocasiones, de externalización de las actividades, de concentración de empresas, de diversificación de las actividades, y un largo etc. que no es el momento de abordar ni siquiera sucintamente.

La creciente internacionalización de nuestra economía y de nuestras empresas también ha tenido su reflejo en las empresas de ingeniería. Aunque tal vez con cierto retraso, pueden apuntarse éxitos como el estar INECO presente en el proyecto del ferrocarril de alta velocidad de San Petersburgo a Moscú, o TYPASA en la ampliación del Canal de Panamá.

Por último este sector también ha sido muy sensible a la diversificación territorial producida en nuestro país en estos años. La regionalización de los órganos decisivos y de poder, en gran parte de las actividades de nuestra profesión, han producido, de forma casi automática, una regionalización de las empresas de ingeniería, sea potenciando la regionalización de las grandes mediante la creación de las correspondientes delegaciones, sea mediante la creación y desarrollo de empresas menores de carácter regional, asunto no ajeno a la posible fragmentación del mercado, que ciertos sectores apuntan como un peligro en la evolución de nuestra economía.

Aunque el tema podría introducirse en cualquier otro apartado, no podemos dejar de mencionar dos aspectos importantes en nuestra profesión, compartidos naturalmente con las demás. Por un lado la presencia de la mujer, que todavía en nuestra promoción era escasa, hoy día en el ejercicio de la profesión, se ha generalizado en estos pocos años. Y por otro lado, aunque

no ajeno al mismo, este sector de la actividad, el de las empresas de ingeniería, permite compaginar la vida familiar y profesional mejor que muchos otros, por ejemplo las constructoras, en donde el tema ha adquirido una gran importancia, al modificarse la mentalidad de los ingenieros y no "soportar" unas formas de trabajo y de vida que hasta hace poco se consideraban inherentes con la profesión y no producían tanto rechazo.

El Sistema Concesional

Frente al tradicional desarrollo casi exclusivo de la infraestructuras dentro de los Presupuestos públicos, en los últimos años, la demanda creciente de infraestructuras, por una parte, y las restricciones presupuestarias, por otra, han conducido a un interés creciente por fórmulas alternativas de financiación. Básicamente, son dos las vías extrapresupuestarias que se han desarrollado en España: la utilización de determinadas empresas públicas (o, en ocasiones, empresas mixtas público-privadas) y el sistema concesional, en el que es una empresa normalmente privada la que realiza la infraestructura.

El primer mecanismo, el de las empresas públicas, ha servido para realizar grandes infraestructuras de carácter estratégico, como puertos o aeropuertos, o el ferrocarril de Alta Velocidad. La condición básica para que este mecanismo resulte viable como fórmula extrapresupuestaria es que la empresa pública cuente con una base suficiente de ingresos procedentes de los usuarios.

El caso más sobresaliente es, quizá, el de AENA. Esta empresa ha abordado en los últimos años grandes obras de ampliación de los principales aeropuertos españoles, Madrid, Barcelona, Palma y Málaga, y mantenido la red de aeropuertos por todo el país, con sus propios recursos o acudiendo al endeudamiento, sobre la base de los ingresos obtenidos en su actividad. Por tanto, el coste presupuestario del desarrollo aeroportuario en España ha sido nulo, mantenido a la vez unas tasas aeroportuarias de las más bajas de Europa.

Por el contrario, no ha resultado viable como fórmula extrapresupuestaria (con independencia de los resultados alcanzados en las obras desde el punto de vista técnico), el caso de Madrid Calle 30, al no contar la empresa, de capital mayoritariamente público, con ingresos de los usuarios, sino con pagos periódicos del Ayuntamiento. Por tanto su deuda ha quedado consolidada como deuda de éste.

Respecto al sistema concesional, en España existía ya una larga tradición en su aplicación a la construcción de infraestructuras, especialmente autopistas de peaje. Sin embargo, durante la década de los ochenta, se optó por el desarrollo de una red de autovías libres de peaje para el usuario, lo que tal vez esté en el origen del desequilibrio en la distribución entre modos de transporte mayor que en otros países europeos.

No obstante, ya desde el Plan Director de Infraestructuras 1993-2007 se plantea la necesidad de volver a utilizar el sistema concesional para la financiación de infraestructuras, lo que acaba materializándose en nuevos planes de autopistas de peaje desde finales de los años noventa.

La figura de la concesión se actualiza mediante la Ley 13/2003 y la nueva regulación ha supuesto un impulso indudable para su aplicación, impulso que se ha desarrollado en varias direcciones.

En primer lugar, la concesión de obras públicas, que venía aplicándose casi exclusivamente a carreteras, se ha extendido a otro tipo de obras. Cabe destacar su aplicación a sistemas de transporte ferroviario urbano en numerosas ciudades españolas, y más recientemente a todo tipo de edificios públicos. Es previsible que esta extensión del objeto de los contratos concesionales vaya a más, en todas las Administraciones Públicas, y en especial en las Comunidades Autónomas.

En segundo lugar, la nueva regulación ha extendido la utilización de esquemas concesionales en los que el pago no es realizado directamente por el usuario, sino por la propia Administración propietaria de la infraestructura. Es lo que se conoce como "peaje en sombra" (si el pago depende del número de usuarios) o "pago por disponibilidad" (si el pago depende de la efectiva prestación de los servicios con el nivel de calidad requerida). La aplicación de este tipo de esquema hace posible su aplicación a hospitales públicos, prisiones, etc., siguiendo un modelo ampliamente difundido en otros países.

En tercer lugar, el sistema concesional se ha extendido al mantenimiento, reparación y mejora de infraestructuras existentes, y no sólo a construcción de nuevas. Es el caso, por ejemplo, de las actuaciones sobre las autovías de primera generación del Ministerio de Fomento.

Finalmente, cabe señalar que, desde el punto de vista de la industria de la ingeniería y de la construcción, la utilización de fórmulas de financiación extrapresupuestarias supone la ventaja de independizar, en cierta



medida, la ejecución de los planes de infraestructuras de la marcha de los presupuestos públicos. De esta forma, en fases de dificultades económicas y menores ingresos presupuestarios, es posible mantener un ritmo adecuado de inversión en infraestructuras sin incurrir en un déficit público excesivo. Esto evita los parones bruscos en la realización de infraestructuras, y permite a las empresas implicadas planificar adecuadamente sus recursos en un horizonte amplio.

Por otra parte, el desarrollo de estas fórmulas de financiación en nuestro país ha permitido que las empresas españolas se hayan situado, en el campo de las concesiones de infraestructuras, en los primeros lugares entre todas las del mundo, compitiendo con éxito creciente en países emergentes y, lo que quizá es aún más llamativo, también en países con un elevado nivel de desarrollo.

La ingeniería española en el exterior

Aun tremendamente influenciada por los ciclos económicos internos, hace años que las empresas constructoras y las ingenierías españolas tienen presencia en el

exterior. Evidentemente los destinos y los objetivos de las distintas empresas han ido cambiando. Cuando en el año 83 acabamos la carrera, ya había algunos ingenieros que habían estado o iban a ir a Libia, a Irak... eran tiempos de una importante crisis interna, mientras que en los países árabes el dinero del petróleo permitía abordar grandes proyectos de infraestructura impenables en una España que bastante tenía con completar una transición política y económica bastante complicada.

El mercado de Oriente Medio se complementaba con el de Iberoamérica, nuestro mercado natural por cultura e idioma, y cuando aquel empezó a bajar por la alta conflictividad política y bélica, fue éste el que tomó el relevo como principal destino de nuestras empresas.

Recientemente se ha abierto un importante nuevo campo de trabajo en los países del centro y este de Europa, campo en el que nuestras empresas destacan en competencia con las grandes empresas europeas.

La intensidad con la que nuestras empresas se han empeñado en los trabajos en el exterior también es algo que ha sido cambiante a lo largo de estos 25 años,

y siempre de forma inversamente proporcional al ciclo económico interno. Durante los muchos años de bonanza de la construcción en España las empresas no han necesitado buscar mercado fuera de nuestras fronteras.

Ha sido con el reciente final de los flujos hacia España de Fondos de Cohesión de la Unión Europea y aún más con el actual crisis financiera y el desplome del mercado inmobiliario, cuando las empresas han dirigido sus miradas hacia el exterior, y en particular hacia la Europa de Este, receptora actual de los Fondos de Cohesión, para mantener sus niveles de negocio pese a la bajada del mercado interno.

No solo han cambiado a lo largo de estos 25 años los objetivos geográficos de nuestras empresas, también se ha producido un cambio cualitativo en la forma en la que las empresas salen al exterior. Hace años, la forma de trabajar era obra por obra. Se ofertaban obras en concursos internacionales donde quiera que se convocaran, y, cuando se conseguían, se "desembarcaba" en el país para ejecutar la obra sin que en general las empresas se plantearan, salvo casos excepcionales, la creación de establecimientos permanentes en los países de destino.

Hoy en día la operativa ha cambiado, en general, establecen en sus planes estratégicos unos países preferenciales como destino de sus operaciones, creando en éstos implantaciones permanentes, con más o menos estructura que les permita, a medio plazo, introducirse en el mercado. Muchas veces, estos establecimientos permanentes se han conseguido mediante la adquisición de empresas locales de mayor o menor tamaño.

El gran auge de la construcción en España en los últimos años, y la gran concentración de empresas mediante fusiones internas, han permitido que la empresas constructoras españolas se encuentren entre las primeras a nivel mundial y con una salud financiera, al menos hasta ahora, envidiable, que les ha permitido realizar compras de calado que han aportado grandes cifras a las cuentas de las empresas españolas. Baste mencionar como ejemplos la compra de BUDIMEX (Polonia) por Ferrovial, la de ALPINE (Austria) por FCC o la entrada de ACS en el accionariado de HOCHTIEF (Alemania) o la finalmente fallida de EIFFAGE por Sacyr. Esta fortaleza de las empresas españolas ha permitido que a lo largo de estos años se hayan abierto mercados que hace 25 años hubieran sido impensables (EEUU, Canadá, Irlanda, etc.)

Otra de las vías de penetración de las empresas españolas en el extranjero, también ligada a un sistema financiero fuerte, es el mundo de las concesiones del que hablamos más arriba.

Pero la pujanza de las empresas españolas no solo ha venido de la mano de situaciones financieramente saneadas y fuertes. El prestigio técnico de las empresas a nivel mundial es envidiable y ello nos ha permitido acometer grandes obras de infraestructuras de alta complejidad técnica, como los puentes Ting-Kao en Hong-Kong (Acciona) o Río Ozama en Santo Domingo (Dragados-FCC), el puente de Öresund (Dragados) o el dique flotante del puerto de Monaco (Dragados-FCC) y el LNG Adriatic (Acciona-Dragados).

En la actualidad, y como índice representativo de la penetración de nuestras empresas en las grandes obras internacionales, en el macro-concurso de ampliación del Canal de Panamá, España, junto con Alemania son los dos únicos países con representación en más de uno de los cuatro consorcios precalificados técnicamente para ofertar el diseño y la construcción de los nuevos sistemas de esclusas.

Como vemos, aunque las empresas españolas han tenido desde hace muchos años una clara presencia en el exterior, las condiciones del mercado han hecho que, en estos últimos 25 años, se haya producido un cambio cualitativo y se pueda decir que el sector de la construcción español es líder a nivel mundial tanto a nivel técnico como financiero.

Los ferrocarriles

Cuando salimos de la Escuela ni los más optimistas podían imaginar la transformación que se produciría en estos años en el mundo de los ferrocarriles. Los ferrocarriles eran sector agonizante y marginal todavía no recuperado de las destrucciones de la guerra civil y años de escasez de inversiones que acabaron con el cierre de líneas propiciado por el Banco Mundial en los años sesenta y lastrado por unas estructuras empresariales obsoletas. 25 años después se ha convertido en uno de los motores principales de la modernización del sector del transporte y ello en tres direcciones diferentes: los ferrocarriles de las cercanías de las ciudades, especialmente Madrid y Barcelona; los ferrocarriles de Alta Velocidad y los ferrocarriles metropolitanos y los tranvías. Si en el primero de los casos la transformación se ha producido



fundamentalmente en el material y la gestión, con pocas infraestructuras nuevas, en los otros dos ha exigido un enorme esfuerzo constructor, que en pocos años ha llevado a nuestro país a ocupar un lugar entre los más avanzados del mundo.

Sin duda ninguna el primer gran hito que hay que señalar es la construcción del tren de Alta Velocidad Española (AVE) entre Madrid y Sevilla con motivo de la Exposición Universal del año 92. Alrededor de 450 kilómetros de nueva vía de ancho europeo, que atraviesa sierra Morena por Brazatortas, huyendo por tanto del congestionado paso de Despeñaperros, exclusivamente para viajeros, construidos para una velocidad punta de 250 km/h. Su éxito de gestión ha proporcionado a la RENFE, ante el público en general, una nueva imagen del ferrocarril acorde con la modernidad. La llegada de los trenes con retraso, en buena parte de los casos, ha pasado a la historia, siendo sustituida por la devolución del importe si ésta se produce con unos pocos minutos de retraso.

Tras unos años de parón en los últimos años noventa y primeros del nuevo siglo se abre curso un ambicioso plan para construir una verdadera red de trenes de Alta Velocidad de ancho europeo, que recorra todo el territorio nacional, uniendo todas las capitales de provincia con Madrid en menos de 3 horas. La exigente limitación de pendientes y curvaturas, que se convierten en largos viaductos y túneles y en enormes movimientos de tierra, exige una ingente inversión que ha convertido al ferrocarril en el principal capítulo de los Presupuestos Generales del Estado para mantener un ritmo de construcción realmente sorprendente. Tras inaugurarse el Madrid-Barcelona, Córdoba-Málaga, Madrid-Valladolid y el ramal de Toledo, se encuentran en diversos estados de construcción el Madrid-Valencia y Levante, el Valladolid-La Coruña, la Y griega vasca y la continuación del Madrid-Barcelona hasta la Frontera francesa, con lo cual España puede convertirse en pocos años en el país de Europa con mayor número de kilómetros de líneas de Alta Velocidad.

Otro campo donde en estos años se ha producido un crecimiento espectacular ha sido en los metropolitanos urbanos. El año 1995 solamente existían redes en Madrid y Barcelona con longitudes de 120 km y 158 estaciones y 113 km y 150 estaciones respectivamente, que han llegado en el 2008 a 317 km y 316 estaciones el metro de Madrid y permaneciendo las mismas en Barcelona, a la vez que se han inaugurado los de Valencia y Bilbao y están en proceso avanzado de construcción los de Sevilla y Málaga.

Especial importancia ha tenido la ampliación del Metro de Madrid que se ha realizado en tres fases. En una primera fase en los años 95-99 se realizan 56 km, 38 de ellos en túnel y 38 estaciones en un plazo de 40 meses que fue una verdadera sorpresa para los técnicos del mundo entero, tanto por su rapidez como por su bajísimo costo, siempre comparando con las ampliaciones recientes como eran las de Lisboa, Londres, Los Angeles o Atenas, y mereció el reconocimiento del Banco Mundial. La segunda fase 1999-2003 centrada fundamentalmente en la unión con el aeropuerto y en el denominado Metrosur que une los pueblos situados al sur de la capital con una población cercana al millón de personas y su unión con la red existente y suponen otros 55 km. y 36 estaciones. En los años siguientes sigue el proceso de crecimiento ampliando algunas líneas y construyendo los denominados metros ligeros que unen municipios cercanos a la capital generalmente en superficie alcanzando una longitud cercana a los 28 km, llegando en el año 2008 a 282 km, 318 estaciones, y siguen en marcha nuevos procesos de extensión de la red.

Por su parte el Metro de Barcelona cuenta en el 2007 con los mismos kilómetros con los que contaba de 1954 habiendo emprendido su ambiciosa ampliación en curso de forma mucho más tardía y en el 2015 llegará a los 240 km y 296 estaciones.

El Metro de Bilbao se inaugura en 1995 y cuenta 34,4 km y 36 estaciones, destacándose el diseño de estas llevado a cabo por el arquitecto Norman Foster. El metro de Sevilla que se prevé sea inaugurado en el 2008 y contará en un principio con 18 km y 22 estaciones, que llegarán cuando se completen las cuatro líneas previstas a 56 km y 75 estaciones. El de Málaga también tiene en proceso de construcción las dos primeras líneas. El metro de Zaragoza constará de 3 líneas de tranvía o metro ligero. El de Palma se proyectó a finales de 2004 y la primera línea empezó a funcionar en 2007. El Metro de Granada, red tranviaria parcialmente subterránea, tendrá 15,5 km y 24 estaciones. Metro de Valencia

cuenta con 172 km y 190 estaciones al haber integrado las líneas de ferrocarril convencionales a las que se han añadido tranvías y líneas subterráneas.

Cabe por último señalar otras operaciones menores sean de tranvías urbanos, sean de ferrocarriles en superficie, que conforman un panorama bien diferente al existente años atrás y queda pendiente sin duda ninguna la contribución del ferrocarril al transporte de mercancías que es en España aún muy escasa.

Obras subterráneas y cimentaciones

Los trabajos en el subsuelo, tienen una enorme dependencia de la maquinaria, por lo que la evolución de la misma, ha sido decisiva para lograr los retos conseguidos en los últimos años en este campo de actuación.

Así en cimentaciones, cada vez se están realizando perforaciones del terreno más profundas, de mayores dimensiones, a mayor velocidad y en terrenos más difíciles. Hace 25 años la maquinaria era básicamente mecánica, sin ningún tipo de automatismo, hoy en día la maquinaria es hidráulica controlada por sistemas electrónicos muy sofisticados con potencias diez veces superiores en cuanto a pares de rotación, en cuanto a empujes y en cuanto a capacidad de perforación.

Actualmente somos capaces de ejecutar pantallas continuas de hormigón de hasta 1,5 m de espesor llegando a profundidades de 100 m, en rocas de dureza considerable con las hidrofresas de última generación y se realizan pilotes de hasta 4 m de diámetro y más de 100 m de profundidad en terrenos competentes o incluso roca, mediante pilotadoras tipo whirt de circulación inversa. Si hace 25 años hacer un pilote de 20 m en un día era toda una proeza, hoy en día con las barrenas continuas o los pilotes prefabricados, hacer menos de 20 pilotes es una decepción.

Sin embargo los sistemas de perforación y los procedimientos no han cambiado tanto, sigue siendo básica la utilización de los lodos bentoníticos como entibación del terreno y el empleo de la vidia para perforar los estratos competentes.

En donde más se aprecian los logros conseguidos por la mejora de la maquinaria ha sido en la ejecución de túneles en suelos, con las grandes y pequeñas tuneladoras se han revolucionado totalmente estos trabajos, multiplicándose por 20 los rendimientos y reduciéndose en una proporción similar los riesgos de accidente. El



espectacular crecimiento del metro de Madrid arriba señalado, es la prueba evidente de la eficacia de estos ingenios.

Han mejorado, o mejor se han impuesto, pues hace 25 años prácticamente no existían, los sistemas de control de las perforaciones, en cuanto a dirección, análisis de los terrenos atravesados, par de rotación velocidad al avance, etc. tanto en grandes perforaciones como en pequeño diámetro. Con lo que los procesos son más seguros y fiables, y aseguran su éxito.

Parejo a estos controles de la propia ejecución, se han desarrollado sistemas de detección continua de asentamientos y pequeños movimientos, dando la alarma si se superan umbrales de riesgo prefijados durante 24 horas y 365 días al año, utilizando teodolitos automatizados que hacen más seguras todas las actuaciones en cuanto a la protección de edificios colindantes, vías de comunicaciones, servicios, etc.

Las inyecciones de terrenos para la mejora de sus capacidades portantes o la impermeabilización de los mismos, las inyecciones de presas etc., han evolucionado igualmente por el control que se realiza automáticamente y en tiempo real de las admisiones de los fluidos introducidos en el terreno y de las propias presiones de inyección, pudiéndose prefijar estos parámetros, con lo que se evitan totalmente los riesgos de dañar las construcciones cercanas y se aseguran las mejoras de los terrenos tratados. Mediante inyecciones de compensación que incorporan en el terre-

no las cantidades precisas de material se pueden proteger edificios, monumentos, vías de comunicación y servicios, compensando los asentamientos que inevitablemente se producen al paso de los túneles.

En las obras subterráneas y cimentaciones, también han variado los materiales con los que se trabaja, incorporando a los mismos distintos productos químicos que posibilitan la trabajabilidad del hormigón, la penetrabilidad de las lechadas de cemento, la mejora de las resistencias iniciales de las lechadas, etc. Se han incorporado en las inyecciones el microcemento, se ha sustituido en algunos casos los lodos de bentonita por los polímeros, pero en este campo los cambios han sido menores, pues todos estos nuevos materiales, se conocían y se habían empleado en algunos casos, aunque no de forma sistemática como en la actualidad.

Han avanzado mucho los tratamientos del terreno, para mejorar sus condiciones portantes, creando columnas de grava con vibración por vía seca o por vía húmeda o mediante inyecciones sólidas (morteros de cemento), no siguiendo la misma evolución la congelación de suelos, las inyecciones químicas o la compactación dinámica de los suelos.

En geotecnia la evolución de los procesos y métodos de cálculo también ha sido espectacular. El desarrollo de la informática, así como su "popularización" a través de los ordenadores personales, ha permitido desarrollar el uso de métodos numéricos en el dimensionamiento.

Sin perder de vista la explicación última de los fenómenos que intervienen y condicionan el comportamiento del suelo, el rápido desarrollo de los programas informáticos ha permitido relegar los antiguos métodos analíticos de cálculo, utilizándolos hoy en día como herramientas para obtener órdenes de magnitud o como ejercicio docente para comprender el comportamiento del suelo.

El camino recorrido en estos últimos 25 años nos ha llevado de los métodos analíticos "paso a paso" y la utilización de nomogramas y gráficos para diseño, a la resolución de problemas complejos mediante programas de elementos finitos.

La investigación geotécnica ha avanzado de la misma forma, hoy disponemos de técnicas sofisticadas de exploración por medio de geofísica, equipos de sondeo automatizados, presiómetros, instrumentación remota, equipos de laboratorio con registro continuo de datos, etc.

El crecimiento de las ciudades, y la necesidad de aparcamientos, vías de comunicación y servicios de todo tipo han fomentado el desarrollo de proyectos cada vez más complicados en el subsuelo, cada vez se necesita perforar terrenos más difíciles, más profundos sin dañar las infraestructuras y las edificaciones existentes. Este crecimiento no va a parar, y por tanto habrá que seguir mejorando la capacidad de nuestras máquinas, los sistemas de control de los distintos parámetros, la mejora de los sistemas de cálculo y en suma el desarrollo de las cimentaciones y obras subterráneas de manera que dentro de otros 25 años podamos admirarnos de lo mucho que se ha avanzado.

Autovías y autopistas

Cuando se habla de la evolución de una ingeniería a lo largo de 25 parece que siempre haya que empezar diciendo que los cambios han sido impresionantes y que lo de hace 25 años ya no se parece en nada a lo actual. Sin embargo, en materia de carreteras, ocurre lo contrario. Lo que aprendimos en la asignatura de "Caminos" en la Escuela, sigue valiendo en su mayor parte. Seguimos analizando los materiales próximos a la obra o dentro de ella y estudiando su adecuación para las distintas zonas de la infraestructura que queremos acometer.

Lo que ha cambiado es la forma de enfrentarnos con esos materiales y, sobre todo, las características de la actual red de carreteras y su apreciación por el usuario. La red actual poco tiene que ver con la existente hace 25 años.

La apuesta del sector carretero en el último cuarto de siglo en España tiene un nombre: Autovía. En 1983 existía en España una red de 2.000 kilómetros de Autopistas y carreteras con dos calzadas, fundamentalmente de peaje. En 2007 nos encontramos con 2.972 km de autopistas de peaje, 10.041 kilómetros de autovías libres y 1.676 km de carreteras con calzadas separadas. Hoy podemos recorrer la geografía nacional por autovía y no sólo por los tradicionales ejes radiales de Madrid. Financieramente ha sido fundamental la aportación de fondos europeos desde nuestra entrada en la Comunidad Europea.

En cuanto a proyectos, desde 1983 a 2008 se ha producido un cambio sustancial en la mejora de su calidad, a través de una condición mágica: más dinero para su redacción. Desde la toma de datos, prospec-

ciones y ensayos, hasta el cálculo de estructuras. En estos campos sí que nos hemos beneficiado de los avances habidos en los campos de la informática, topografía, auscultación de terrenos, etc.

Se debe destacar también la importante labor realizada por los Consultores de proyectos, que han venido a cubrir con éxito el hueco dejado por una Administración otrora autosuficiente y ahora más mermada de medios propios.

¿Firmes con conglomerante hidráulico o bituminoso? De una España de firmes "negros" se pasa a finales de los años 80 y principio de los 90 a un período de auge de las capas de rodadura de hormigón hidráulico. Así se ejecutaron buena parte de las autovías de primera generación.

Con el nuevo milenio, la Normativa de firmes de autovía apuesta por utilizar el conglomerante hidráulico en la mejora de explanadas y en las capas de base con suelo-cemento e introduce el betún modificado con polímeros en las capas de rodadura. La aparición de los betunes modificados ha permitido la creación de nuevos materiales (la formulación de nuevas mezclas) que además se usan de forma diferente: antes, colocábamos las mezclas más densas encima de las menos densas, para asegurar que el pavimento fuera impermeable. Ahora hacemos al revés: ponemos mezclas porosas y discontinuas encima de las demás, y funciona con menores proyecciones de agua, mejor rozamiento... a cambio, eso sí, de unos costes mayores de conservación y una menor duración de la superficie del pavimento... un lujo al que hoy no podemos renunciar. Igualmente se apuesta por la comodidad del usuario, cuantificada en la regularidad superficial del pavimento.

La Normativa de carreteras en España tenía ya una base sólida en los años 80, y actualizada desde entonces está acometiendo el reto de su integración a nivel europeo.

Otra de las apuestas de este último cuarto de siglo ha sido la implantación de sistemas de control de calidad, antaño utilizados fundamentalmente en producciones industriales. Desde 1992, con la publicación del Libro de la Calidad, expresiones como "Plan de Aseguramiento de Calidad (P.A.C.)", "Procedimiento de Ejecución" o "No Conformidad" pasan a ser lenguaje común en la ejecución de autovías.

Paralelamente, las Empresas Constructoras "apuestan" por la calidad, hablan del coste de la "no calidad" e introducen en sus equipos de obra Unida-



des de Aseguramiento de la Calidad, independientes de la línea de producción. De ser un requisito de uno de sus mejores clientes, el Aseguramiento de la Calidad se convirtió en un elemento central de la organización de las empresas, produciéndose una verdadera "carrera por la calidad" en los años 1992-96 por conseguir la certificación ISO 9000

Al igual que en la fase de proyectos, en la fase de obras y vinculada a los P.A.C.'s, aparece la figura de la Asistencia Técnica a la Dirección de las obras, desarrollada por empresas Consultoras, que aportan los equipos multidisciplinares de los que se ha ido desprendiendo la Administración.

Los cambios en la conservación y explotación de carreteras han sido significativos. Hemos asistido a la desaparición del Cuerpo de Camineros del Estado, a quien tanto se le debe, y a la irrupción de las Empresas de Conservación Integral. Como consecuencia de la inauguración en torno a 1992 de un gran número de autovías, se creó la necesidad de conservar el nuevo patrimonio construido, y de atender la vialidad de estas carreteras, las de mayor tráfico y las más necesarias para garantizar el transporte en el territorio español. La movilización de estos nuevos recursos se hizo por medio de un modelo, novedoso entonces, de contratación a empresas particulares de todos los trabajos de conservación de un tramo de carretera determinado, durante un periodo plurianual (cuatro años inicialmente).

Inicialmente pensado para la conservación de autovías, se ha extendido en años sucesivos al total de la

red de carreteras del Estado, y ha sido adoptado con diferentes variaciones a la red de prácticamente todas las Comunidades autónomas.

Actualmente esta actividad, que nosotros no vimos en la Escuela, ha generado un sector empresarial que no existía y que está formado por 28 empresas, con unos 10.000 trabajadores. A destacar dentro de los recursos aportados en estos años los 1029 quitanieves empleados actualmente para atender solo la red de carreteras del Estado.

El salto cualitativo que nuestra sociedad ha dado en estos años se ha traducido en el terreno de la autovías tanto en una mayor preocupación medioambiental, a la que ya hemos dedicado unas líneas, como en dar mayor importancia a la seguridad.

La seguridad es clave en el mundo de las autovías. Calzadas separadas con barrera en mediana, trazados generosos en planta y alzado, control de accesos, mejora de las características superficiales de los pavimentos, nuevos diseños de sistemas de contención de vehículos (también motocicletas) ...

También en la línea de la seguridad, las autovías, sobre todo en los diez últimos años, se han beneficiado de los avances conseguidos por las nuevas tecnologías y que hasta hace poco parecían exclusivos de vías urbanas o periurbanas. A los postes S.O.S. ya clásicos se han unido paneles de señalización variable; cableados de fibra óptica que permiten tener autovías "inteligentes"; transmisión de imágenes y datos meteorológicos "en tiempo real"; sistemas automáticos de detección de hielo y de difusión de fundentes; mejoras en las estaciones de aforo de tráfico, controles automáticos de velocidad.

No puede finalmente hablarse de seguridad en carreteras sin mencionar de la preocupación existente por la seguridad en el interior de los túneles, a raíz de varios accidentes muy graves ocurridos en túneles europeos (Montblanc, 1999; Frejus, 2005). Contamos actualmente con nueva normativa en esta materia, que se ha traducido en un aumento importante de la inversión en seguridad en los túneles de nueva construcción, (con mejores sistemas de detección y extinción de incendios, ventilación, vigilancia, señalización, control centralizado) y del gasto de explotación, con incorporación de nuevo personal para la atención de estas instalaciones. Se está trabajando también en la revisión de los túneles ya existentes para completar su equipamiento y alcanzar estos niveles de seguridad.

Los puentes

También el terreno de los puentes estos años han supuesto una evolución muy importante, tanto en su diseño como en su construcción. Y digo diseño, quizá de forma errónea, y no proyecto, por lo que comentaremos más adelante.

En el año 1983 estábamos sumidos en una crisis que nos recuerda mucho a la actual, que ya es la tercera que vivimos, dejando a mitad de camino la post-Expo de Sevilla y post-Olimpiada de Barcelona. Porque este mundo de la construcción y, en especial, los puentes, singulares, que de los normales siempre hacen falta, son muy sensibles a los acontecimientos y eventos nacionales e internacionales, así como a los planes temporales de ejecución de infraestructuras.

En este período hemos vivido la mencionada Expo de Sevilla y la Olimpiada de Barcelona y, recién finalizada, la Expo de Zaragoza y el nacimiento y desarrollo de diferentes planes de infraestructuras que han tenido una gran repercusión en el "pontífice" mundo.

Mientras estábamos en la Escuela se comenzaron a construir unos puentes poco habituales en tiempos anteriores, pero de gran éxito en el actual: los puentes atirantados. Todos recordamos cómo admirábamos a los proyectistas (entonces proyectistas, no diseñadores) y a los constructores de puentes como el Sancho el Fuerte en la autopista Navarro-aragonesa o el puente de Rande, en la Ría de Vigo. Esta tipología ha visto crecer sus realizaciones con, entre otros, el puente Carlos Fernández Casado sobre el embalse de Barrios de Luna, el del Quinto Centenario y el del Alamillo en Sevilla, el de Ayamonte uniéndonos a Portugal y tantos otros cuya descripción nos llevaría a un tratado sobre esta tipología.

Quizá sea en estos puentes donde más se ha apreciado la influencia de aspectos no estrictamente técnicos y donde se ha podido apreciar que ya no es válido el consejo que nos daba un insigne profesor: cuando proyectéis un puente, dibujar una barandilla muy fea; durante la obra todos la criticarán, emplearán mucho tiempo buscando una solución mejor a la barandilla y, entre tanto vosotros podréis ir desarrollando los detalles técnicos del puente y atendiendo a su construcción, que es lo importante. Actualmente, seguir este consejo puede ser suicida. El ingeniero proyectará el puente, atenderá a los detalles y al proceso constructivo, pero finalmente, lo que se recordará será la barandilla que "diseñó" el arquitecto, escultor o artista, en general, que encandile a la Propiedad o a la prensa con su solución.

Quizá la reflexión del párrafo anterior sea exagerada, pero lo que sí es cierto y no discutible es que los aspectos formales han pasado a integrar los puntos más importantes en el diseño, ahora, y proyecto, siempre, de un puente. No sólo ha de ser resistente y duradero; ha de ser bonito, estéticamente agradable. Nuestra sociedad así lo demanda. Estamos en un mundo aparentemente rico en el que los criterios estéticos y formales pesan tanto o más que algunos de los técnicos.

En éstos también hemos vivido una cierta revolución. Los hormigones con 300 kp/cm² en las pilas y 400 kp/cm² en los tableros han dado paso a realizaciones actuales con vigas que alcanzan los 60 MPa o los 80 MPa de algunos arcos, nuestros 800 kp/cm², ya que además de al Euro nos hemos debido habituar al sistema internacional de unidades.

La normativa también ha sufrido, más bien ha disfrutado, de importantes cambios. De la EH-73 o EH-80 recién aparecida con la que aprobamos nuestro examen de hormigón armado, hemos pasado a las EH-82, EH-88, EH-91, EHE (98) y ahora la EHE-08 que se ha aprobado el día 18 de Julio de este año para celebrar nuestras bodas de plata con este oficio. La normativa relativa al hormigón pretensado también ha ido evolucionando hasta alcanzar su fusión con el armado en la EHE (98). El acero también ha generado y está generando nuevas instrucciones que nos llevarán desde aquellas MV de los años 60 que tanto hemos usado hasta una próxima futura EHA. Todas estas normas con una clara tendencia a la internacionalización y a nuestra convergencia con Europa en tantos aspectos; en este caso, hacia los eurocódigos. También se han desarrollado Instrucciones específicas sobre puentes mixtos, acciones sobre puentes, acciones sobre puentes ferroviarios y un complejo marco normativo que nos están permitiendo proyectar y construir con mayor bagaje legal. Esperemos que, también, con mayor conocimiento y mejor criterio técnico.

Por lo que respecta a los procesos constructivos hemos vivido una evolución muy importante. En los que podemos denominar puentes-marco, el sistema de voladizos sucesivos con realizaciones iniciales como el puente de Las Fuentes en Zaragoza (con la participación de nuestro compañero Luis de Benito) con soluciones "in situ", o el comienzo del desarrollo de los voladizos con dovelas prefabricadas como los viaductos de Horta y Cruzul (José Emilio Herrero) que han tenido gran desarrollo posterior. En los puentes atirantados con siste-

mas de carros para encofrados para tramos de tablero "in situ" o con dovelas prefabricadas como el puente de Alcoy. O la importante combinación de hormigón y acero como en el puente colgante sobre el Vinalopó (José Romo). Otra evolución importante ha sido hacia los puentes de pretensado exterior o los puentes extradados. Un ejemplo de estos últimos es el puente ferroviario con tablero mixto de Delicias (Juan Luis Bellod), en Zaragoza, una solución formalmente a caballo entre el pórtico y el atirantado.

Los puentes arco también han evolucionado en sus procesos constructivos, variando éstos desde los encofrados para el propio arco resistente de hormigón hasta el empleo de secciones mixtas en los mismos, lo que permite que el elemento metálico exterior constituya el encofrado de la sección de hormigón resistente a las compresiones que, a su vez, colabora en la reducción de problemas de pandeo de los paneles metálicos. Por otra parte, se han llevado a cabo realizaciones y se está extendiendo la técnica de voladizos con atirantamiento provisional, como en el arco de Ricobayo, que permite construir desde los estribos hasta la clave sin necesidad de los pilonos de atirantamiento provisional que se utilizaban con anterioridad.

El empleo de autocimbras cada vez más potentes permite prolongar las luces para las que esta solución constructiva es válida. Así como el empleo de vigas lanzaderas que permite, tanto el transporte sobre el tablero construido y la colocación de vigas que cubren el vano completo, como de dovelas prefabricadas o elementos del arco o de los soportes verticales de esta tipología.

Los encofrados para las pilas también han sufrido unos cambios notables pasando desde los trepantes iniciales a los deslizantes y a soluciones como los autotrepas o los guiados que actualmente, en algunas situaciones, pueden suponer una alternativa interesante.

El mundo subterráneo del puente, con sus cimentaciones mediante zapatas o pilotes también ha vivido una evolución importante de la que ya hemos hablado.

La edificación singular

Pocas cosas han cambiado tanto como el mundo de la edificación singular y nuestro papel, como ingenieros de caminos, en el mismo. El mundo de la arquitectura se ha transformado de una forma espectacular y hoy en día es frecuente encontrar grandes diseños de



edificación que, a nivel estructural fundamentalmente, poco tienen que ver, en su técnica y en sus sistemas de ejecución, con la edificación convencional, estando mucho más próximas a las grandes obras civiles.

Ya en los años 70, con el desarrollo de AZCA en Madrid, se empezaron a desarrollar una serie de grandes edificios, pero ha sido en este último cuarto de siglo cuando la transformación ha sido más significativa.

En la edificación en altura, que hasta esa fecha, salvo la excepción en los años 50 de la torre de Madrid, apenas había rebasado los 100 m., comenzó una evolución significativa con edificios como Torre Picasso de Madrid, Torres Mapfre y hotel de las Arts de Barcelona, Hotel Bali de Benidorm y por último el conjunto de la antigua ciudad deportiva de Madrid con sus cuatro torres entre las que está el edificio más alto de España y el tercero de Europa, la Torre Cajamadrid.

Pero no es solo un tema de alturas. Los diseños se desarrollan y se crean nuevas formas que significan nuevos retos ingenieriles: Las torres Puerta de Europa de Madrid son, a nivel mundial, los primeros edificios inclinados que se construyen (inclinados a propósito, la Torre de Pisa no cuenta) con la carga de complejidad estructural que ello conlleva. Las cubiertas de edificios como el Palau de las Arts de Valencia o el Auditorio de Tenerife, requieren en su ejecución unos desarrollos de ingeniería muy significativos.

Otra tipología de edificios en la que la evolución ha sido destacada es la del mundo aeroportuario. Hace 25

años, una terminal de aeropuerto era un edificio 100% funcional con pocas o ninguna licencia cercana a lo artístico. Hoy en día el diseño más avanzado domina estos proyectos en los que nada se debe exclusivamente a la funcionalidad. La nueva terminal T-4 del aeropuerto de Barajas es otro buen ejemplo de proyecto en el que el diseño arquitectónico se une a la ingeniería más avanzada para crear espacios públicos abiertos.

Pero no es solamente en el mundo de los edificios singulares donde la arquitectura, necesariamente de la mano de la ingeniería estructural, está dando el salto. Junto a los grandes edificios públicos, auditorios, aeropuertos... junto a las torres de oficinas representativas de las grandes empresas, existen otros tipos de edificios que la lógica pareciera indicar que deberían quedar en el limbo del diseño convencional y en los que sin embargo empieza a haber excepciones. Hace 25 años era impensable proyectar un bloque de vivienda social VPO con un diseño como el del Arco de Sanchinarro y la estructura que lo hace posible.

Han sido años de un cambio muy importante en la arquitectura, cambio que sería impensable sin la participación de muchos Ingenieros de Caminos que han tenido papeles principales en el diseño, cálculo y ejecución de estos edificios.

Los puertos y las costas

También en los puertos se ha producido en estos años un profundo cambio que, en gran medida, los haría irreconocibles para cualquier observador. Cinco son las grandes líneas de fuerza que han guiado este cambio: su crecimiento paralelo al de la economía; la nueva relación puerto-ciudad; la generalización de las concesiones; la contenerización de la carga y el auge de la logística.

En primer lugar el rápido crecimiento de nuestra economía en este periodo y su creciente apertura al exterior, han hecho que los puertos hayan debido enfrentar un gran crecimiento y modernización de sus instalaciones y en ocasiones también una no menos importante transformación de las mismas, al modificarse los flujos de mercancías presentes en sus muelles. En grandes números el tráfico total ha pasado de 232 millones de Ton el año 1983 a 366 en el 2002 y de 1,5 millones a TEUs a 8,1 en el mismo periodo, suponiendo el 70% del comercio exterior y el 15 del interior.



En segundo lugar en no pocas ocasiones las consideración del puerto por los ciudadanos de su entorno se ha modificado profundamente al considerar, en buena parte, sus actividades como insalubres y molestas y exigiendo el traslado de las mismas a espacios más alejados, apoyando dinámicas exigidas también por razones de otro tipo. De esta forma se han ganado, en casi todos los puertos, para el disfrute urbano los espacios abandonados por estas actividades y se han transformado para otras entre ellas las turísticas, deportivas o lúdicas. Es bien conocida en este sentido la transformación del denominado Port Vell en Barcelona que lo ha convertido en uno de los espacios más visitados de la ciudad, pero operaciones parecidas se han llevado a cabo en casi todos los puertos.

En tercer lugar en estos años se ha producido un cambio en el modelo de gestión de las Autoridades Portuarias. Se ha pasado de un modelo dotado de escasa agilidad, en el que se prestaban todos los servicios directamente desde las Autoridades Portuarias, a un modelo concesionado mucho más apto para adaptarse a los rápidos cambios que se producen continuamente. En él son las empresas concesionarias las que prestan directamente la mayor parte de los servicios portuarios y las que deben hacer frente a las inversiones exigidas por las mismas.

En cuarto lugar se debe citar el enorme auge producido en la contenerización de la carga, de tal manera que éste tipo constituye hoy una modalidad ampliamente utilizada en buena parte de los tráficos. Esto ha provocado un gran cambio en todos los puertos y terminales y su especialización para hacer frente a sus especiales características. En primer lugar este tráfico exige

unas grúas especiales que mueven grandes tonelajes a distancias largas en tiempos muy cortos y sobre todo necesita unas enormes superficies para su almacenamiento y manipulación, que han debido ganarse ocupando nuevos espacios terrestres o ganándoselos al mar.

En quinto y último lugar el punto anterior ha provocado un creciente auge de la logística. Los puertos se constituyen en elementos integrados en el conjunto del transporte y por tanto incluidos en el proceso de intermodalidad, ello conlleva unas instalaciones adecuadas para facilitar el flujo de las mercancías, con terminales especializadas, con la manipulación informatizada y automatizada, en una palabra optimizando todo el proceso.

Todos estos procesos han llevado a importantes transformaciones en las infraestructuras de nuestros puertos necesarias para hacer frente a este crecimiento y transformación de los tráficos y al aumento del tamaño de las naves. Con una nota característica, la transformación de los puertos es muy diversa, lo que se traduce igualmente en crecimientos muy dispares en los mismos. Si Algeciras se ha consolidado como el primer puerto de España, muy por delante del resto, Valencia ha pasado a ocupar el segundo lugar a poca distancia de Barcelona.

Paralelamente, junto a la pérdida de importancia de la actividad pesquera, se ha producido un enorme crecimiento de la navegación deportiva que ha exigido tanto la transformación de ciertas áreas de los puertos tradicionales y la construcción de otros muchos puertos exclusiva o predominantemente deportivos.

Junto a ello, e igualmente orientada a la actividad turística, ha crecido enormemente la actividad destinada a regenerar, restaurar o crear playas dando lugar a una actividad prácticamente nueva en nuestra profesión.

El agua. Nuevas leyes, planes e ideas

Cuando estudiábamos en la Escuela se nos hablaba de la ya centenaria Ley de Aguas que había dado tradición y estabilidad a la acción estatal en materia de agua. Se nos hablaba también de la importancia, necesidad y aceptación de las presas y los embalses, de la bondad de los aprovechamientos hidroeléctricos, del despegue socioeconómico que habían supuesto los regadíos...



Echando un rápido repaso a lo sucedido en estos 25 años, nos encontramos con que se ha producido una importante y silenciosa evolución en materia hidráulica. Cambios unos en dirección positiva y otros no tanto.

En el lado de los avances podemos citar:

- La aprobación de la "nueva" Ley de Aguas en 1985, con la demanialización de las aguas subterráneas, el papel asignado a la planificación hidrológica, la potenciación de los organismos de cuenca, y el sucesivo avance del agua como un recurso natural escaso que debía ser prioritariamente respetado para la mejora de los cauces y ecosistemas asociados.
- El Libro Blanco del Agua de 1998, auténtica enciclopedia nacional sobre el agua en España, referencia obligada para todos los trabajos posteriores.
- La culminación del primer ciclo de la planificación hidrológica, en base a un importante acuerdo entre usuarios y representantes políticos de los diversos niveles nacionales, centrales, autonómicos y locales.
- La creación de las sociedades estatales de agua, como vehículo adecuado para acelerar la inversión en obras hidráulicas, canalizar adecuadamente los fondos europeos y priorizar las actuaciones que contaban con respaldo económico de sus usuarios directos.
- El primer Plan Nacional de Saneamiento y Depuración, importantísimo de cara a la mejora de calidad de nuestras aguas.
- La modernización de las Confederaciones Hidrográficas, que han mejorado muy notablemente el servicio a la sociedad.

La actuación en infraestructuras, pese a las dudas albergadas en los albores de la democracia, también ha sido intensa y fructífera:

- Completando una disponibilidad de agua para los usuarios del 40% de nuestros recursos hídricos (sin las regulaciones, las aportaciones naturales sólo podrían aprovecharse en un 8%).
- La mejora en la seguridad de presas, reforzada tras el lamentable accidente de Tous.
- La ingente construcción de estaciones depuradoras, adecuadamente explotadas y mantenidas, en las principales poblaciones de España sin excepción.
- La mejora de la garantía de suministro a los abastecimientos urbanos, interconectando fuentes y redes, y reutilizando aguas.
- La continuación de grandes planes de regadío ya iniciados, el inicio de otros largamente reivindicados y la modernización de gran extensión de vetustos regadíos.
- La introducción de la desalación como fuente de nuevo recurso, en la que hemos desarrollado una potencia de talla mundial.

En el lado de las equivocaciones y errores cabe situar:

- La demonización de las presas y embalses, de los aprovechamientos hidroeléctricos y de los trasvases en base a un ecologismo mal entendido. Se ha llegado incluso a llevar el conflicto al campo de lo penal contra compañeros y autoridades que pretendieron llevar a cabo lo acordado en planes y proyectos aprobados, aunque sin ninguna sentencia condenatoria
- La grave ausencia de una política estatal del agua basada en un modelo que persiga el interés general ha desembocado en una excesiva prevalencia de las razones políticas sobre las técnicas, que ha llevado a: Un importante disenso, que alcanzó su culmen en torno al Plan Hidrológico Nacional, entre los dos grandes partidos nacionales y diversas Comunidades Autónomas; la creciente patrimonialización territorial del agua; los enfrentamientos sociales, políticos y jurídicos; y la pérdida de identidad de los organismos de cuenca, ante la presión de las Comunidades Autónomas que reclaman su fragmentación ignorando la unidad de cuenca.

Esta desacertada tendencia iniciada en nuestro país que, contraviniendo nuestra tradición hidráulica, pionera a nivel mundial, y los acertados principios aceptados en la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, supone una marcha atrás en la gestión integrada del agua por cuencas hidrográficas, requisito indispensable para alcanzar un desarrollo sostenible y una cohesión social y territorial solidaria.

Esperamos que se imponga finalmente la cordura y el buen sentido, y que se alcance un Pacto Nacional sobre el Agua, basado en estudios técnicos solventes, que involucre a los representantes políticos y sociales, y particularmente a los usuarios del agua, capaz de impulsar una política que de respuesta a los problemas y necesidades reales existentes.

Ese Pacto deberá restablecer la gestión integrada del agua por cuencas hidrográficas naturales o a agrupaciones de las mismas de tamaño tal que permitan su administración acorde con los principios de economía, eficacia y eficiencia y asegurar la responsabilidad en los asuntos del agua de las Cortes Generales y de la Administración General del Estado, como últimos garantes del interés general. Igualmente deberá detener la compartimentación política de la administración y gestión del agua y dar cauce a la participación de las Comunidades Autónomas y Entidades locales en los organismos de cuenca, las Confederaciones Hidrográficas, reconocidas e imitadas a nivel mundial.

En este futuro próximo, marcado por la Directiva Marco del Agua del año 2000, seguiremos los ingenieros desempeñando un importante papel, tanto en la planificación y gestión de recursos, como en la construcción y explotación de infraestructuras hidráulicas, dada nuestra capacidad, preparación y vocación.

Las fuentes de energía

Las fuentes de energía utilizadas en España ha ido sufriendo variaciones motivadas por los requerimientos de la demanda, los imperativos socioeconómicos y las decisiones políticas, cuando menos discutibles.

Inicialmente se desarrolló la producción hidroeléctrica y, más tímidamente, la térmica de carbón. En 1940, la potencia instalada de origen hidráulico casi cuadruplicaba a la térmica. Tuvieron que pasar 40 años para que la potencia de origen térmico superara a la hidráulica. En 1971 se conectó a la red la primera central nuclear española (José Cabrera) de 153 MW.

En las décadas de los 60 y 70 continuó, con plena intensidad, la construcción de aprovechamientos hidroeléctricos, pero la crisis energética de 1973 cambió la política y, en consecuencia, se aprobó el Primer Plan Energético Nacional, que daba prioridad a la construcción de centrales de carbón y nucleares.

El cuadro 1 recoge la evolución de los tipos de potencia instalada

Al dar prioridad a las centrales de carbón y nucleares, las hidroeléctricas tuvieron una, práctica, paralización. Ello no quiere decir que este tipo de energía esté agotado, pero lo cierto es que ya están explotados los emplazamientos más rentables.

En 1975 se relanzó la construcción de nuevos aprovechamientos hidroeléctricos mediante la Acción Concertada, se pretendía incrementar el parque hidroeléctrico en una potencia instalada de 11.000 MW que aportarían 12.700 GW h anuales. De este plan solo se realizó una pequeña parte. Entre las realizaciones concluidas destaca el Aprovechamiento hidroeléctrico de Cortes- La Muela, (1984-1989) con una potencia inicial de 750 MW, de ellos 510 MW de bombeo. Actualmente, 25 años después, se han iniciado las obras de ampliación, con objeto de instalar 850 MW adicionales, que le convertirá en el mayor complejo de bombeo de Europa.

En 1984 se revisó el Plan Energético Nacional y, por razones políticas, se paralizaron los 5 grupos nucleares que estaban en construcción. Esta decisión política supuso la paralización de la instalación de 5.000 MW y el compromiso de restituir a las empresas el ingente capital invertido hasta ese momento.

Estas decisiones y la creciente preocupación de los países desarrollados por el deterioro del medio ambiente y la incidencia de las emisiones de CO₂ en el cambio climático, han potenciado el desarrollo de nuevas fuentes de energía limpia y renovable: eólica, solar, fotovoltaica, biomasa y biocarburantes, geotérmica, marina...

De acuerdo con esta línea, Europa ha fijado como objetivos para el 2020: reducir en un 30% la emisión de CO₂; mejorar la eficiencia energética; aumentar la participación de las energías renovables en un 20 % y potenciar el uso de biocarburantes, en el consumo de combustibles del transporte, hasta el 10%.

Este conjunto de condicionantes se han concretado en la situación que se ve en el cuadro 2 a finales del 2007

Cuadro 1. POTENCIA INSTALADA EN ESPAÑA (MW)

Año	Hidráulica	Térmica clásica	Nuclear	Total
1940	1.350	382	-	1.751
1960	4.600	1.967	-	6.567
1980	13.176	15.850	1.120	30.146
1999	16.525	22.191	7.686	46.402

Fuente: Red Eléctrica Española

El grado de autoabastecimiento de España de cada tipo energía ha sido, en 2007: carbón (29%); petróleo (0.2%); gas natural (0.0%); nuclear, hidráulica y renovables (100%). Es decir nuestra dependencia del exterior es del 55%.

De acuerdo con la normativa de enero de 2007 de la Comisión Europea, España tiene que reducir, por razones contaminantes y económicas el consumo de carbón y fuel-oil y por razones económicas, el de gas natural. Ahora bien, ¿como debe desarrollarse el parque productor de energía para cumplir la política energética propuesta por la Comisión Europea?

La Comisión marca como objetivos: asegurar el abastecimiento energético, aumentar la competitividad de la economía y respetar el medio ambiente. La energía generada por Biomasa y residuos es, valga la redundancia, residual y no está claro que sea limpia y no produzca más perjuicios que beneficios, por la posible elevación de precios de los alimentos. La energía procedente del carbón y del fuel oil, además de ser contaminante, no tiene asegurado ni el precio ni el suministro, España depende de terceros países. El gas natural, que podría ser una solución, tiene el problema que todo es de importación, por lo que es muy arriesga-

Cuadro 2. POTENCIA INSTALADA EN ESPAÑA

Tipo	Mw	Estructura (%)	Generación (%)
Hidráulica	18.559	20.9	9.7
Carbón	11.996	13.4	24.1
Nuclear	7.716	8.6	17.7
Fuel y gas -oil	7.321	8.2	6.4
Gas natural	28.520	31.9	31.7
Eólica	13.786	15.4	8.8
Solar fotov.	623	0.7	0.2
Biomasa y res.	797	0.9	1.4
TOTAL	83.318	100.0	100.0

Fuente: SGE, REE Y CNE

do apostar por este tipo de generación pues los actuales precios pueden variar radicalmente, y lo que hoy es rentable en el futuro puede ser prohibitivo. La energía de procedencia eólica y solar puede ayudar a resolver las necesidades de la demanda pero no resolver el problema. Su participación es imprescindible. No contaminan, no dependen de suministradores exteriores pero, desgraciadamente, no pueden garantizar la continuidad del abastecimiento energético. La energía hidráulica responde a las tres condiciones europeas: es limpia, segura, respeta al medio ambiente y es económica. El problema es que por sí sola en España no tiene capacidad para atender a las necesidades de la demanda.

Intencionadamente he dejado para el final, la energía nuclear que, seguramente, es la única solución viable, junto a las anteriores, capaz de atender la futura demanda energética de España, respetando la normativa de la Comisión Europea, pues es: económica, no tiene emisiones de CO₂ y ayuda a garantizar el suministro. En España, tras el parón de 1984, en los últimos tiempos, parece que el tema vuelve a plantearse de nuevo a nivel político, aunque sea tímidamente, cuando, a la vista de la espiral alcista de los precios del crudo y otras razones, los países más avanzados (EEUU, Reino Unido, Francia, Alemania) han decidido ya relanzar sus programas nucleares.

En mi opinión, y la de mucha gente de la profesión, aunque evidentemente no sea general, la solución energética de España pasa por la energía nuclear, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos aún sin explotar, especialmente los de bombeo, y la potenciación de las energías eólica y solar.

Cambios en el sistema universitario

Permítasenos para acabar volver al principio, a la formación en la Escuela de Caminos de Madrid. Ha transcurrido un cuarto de siglo desde que los 230 colegiados salimos de la misma. La vida nos ha tratado razonablemente bien en el plano profesional. La sólida formación que recibimos y nuestro adiestrado espíritu de trabajo lo habrán propiciado, sin duda. Fueron pocos quienes se dedicaron en exclusiva a la Universidad. A diferencia de lo que sucede con otras titulaciones, el mercado reconoce y valora la competencia profesional de los ingenieros y la carrera académica no es sino una más entre muchas opciones y no la mejor remunera-

da, ni la más agradecida. También aquí durante estos años se ha producido un cambio significativo en el sistema universitario.

De los seiscientos alumnos que ingresaron en la Escuela de Madrid sólo una pequeña parte conseguía terminarlos a costa de un esfuerzo y una dedicación en ocasiones desmesurados, cuando no después de una permanencia en la Escuela superior a la prevista. Las causas de todo ello no eran ningún secreto: los profesores tenían que atender grupos de varios cientos de estudiantes, los temarios de algunas asignaturas eran irreales y la desproporción entre lo que se explicaba en clase y lo que se exigía en los exámenes era más que apreciable, lo que promovía la floreciente industria de las academias. Cabe decir, además, que los laboratorios se utilizaban poco y que los fondos de la Biblioteca eran escasos y menos utilizados. Entiéndase esto no como crítica a nuestros profesores, a quienes en general recordamos con afecto y admiración, ni a quienes gestionaban la Escuela con escasos recursos y un margen de actuación muy estrecho. Nos referimos a que aquella forma de enseñanza y aprendizaje era poco satisfactoria.

No era razonable exigir a los jóvenes un esfuerzo sobrehumano, menos que este esfuerzo acabase siendo infructuoso en muchos casos y en general que los jóvenes mejor dotados intelectualmente no se incorporasen a la vida laboral cuanto antes.

Ninguna organización independiente confía sus puestos de responsabilidad a personas cuyas decisiones puedan verse afectadas por un conflicto de intereses. Es evidente que la Universidad española anterior a la reforma de 1983 tenía serios problemas en este sentido, ya que la mayor parte del profesorado compaginaba su labor docente con otras obligaciones laborales, que constituían su ocupación principal.

El mismo año 1983 en que acabamos la carrera se aprobó la Ley de Reforma Universitaria, LRU, que perfiló un sistema universitario en el que las actividades de investigación se consagraban como los méritos prioritarios para acceder a los cuerpos de Catedráticos y Profesores Titulares, y en el que era necesario pertenecer a estos cuerpos, con dedicación a tiempo completo, para el desempeño de un cargo académico.

La LRU transformó completamente la Universidad española en muy poco tiempo, en general de forma satisfactoria. Hay datos indiscutibles. La producción científica de nuestro país creció de forma exponencial, y la investigación se convirtió en un complemento insepara-

ble de la docencia universitaria. En general se realizó simultáneamente un esfuerzo serio, sostenido y sin precedentes para organizar las tareas docentes con eficacia y sobre una base racional. Naturalmente también creó nuevos problemas y algunos afectan especialmente a las Escuelas de Ingeniería. Los procesos de selección de profesorado que se utilizan dificultan, por no decir que impiden, el acceso a la carrera docente de profesionales de prestigio, cuya aportación es imprescindible en las Escuelas. A ello se le da diferente importancia, siendo para algunos un asunto de suma trascendencia que lastra en buena medida la situación actual. Por otro lado, debido al crecimiento del número de Escuelas y a su propia naturaleza, se hace difícil el control sobre la formación impartida en ellas aunque todas otorgan el mismo título.

A finales de la década de los 90 era evidente que la universidad en España había mejorado de forma espectacular: teníamos más centros en los que se formaban más estudiantes, atendidos por más profesores con mayor dedicación y con mejores medios, y el sistema de ciencia y tecnología se encontraba en el mejor momento de su historia. Aunque ciertos medios propalaban en ocasiones que nuestra Universidad agonizaba debido a la endogamia y el desgobierno inducido por la LRU. En 1999 se firmó la Declaración de Bolonia y dos años después la LOU, según algunos destinada a adelgazar el sistema universitario público y, desde luego, en buena medida ha conseguido su objetivo a pesar de las tímidas reformas introducidas después.

Los ingenieros en general, y los de Caminos en particular, siguen destacando por su buena formación, y los recién titulados tienen acceso inmediato al mercado de trabajo con buenas oportunidades. Los ingenieros y las empresas españolas de ingeniería, dirigidas en buena parte por éstos, producen riqueza y exportan tecnología, al tiempo que contribuyen significativamente al desarrollo del país, desarrollan proyectos de enorme trascendencia social y económica, en los que asumen su responsabilidad y en los que se enfrentan a retos cada vez más audaces. Reducir el nivel formativo de los estudios de Ingeniería no contribuirá a que las infraestructuras del futuro sean más seguras y eficaces, ni su planificación más racional, ni su impacto ambiental menor. Sin embargo, se a veces se dice que nuestros títulos universitarios deben cambiar profundamente con motivo de la progresiva implantación del Espacio Europeo de Educación Superior, ya que la Declaración de Bolonia obliga a armonizar las titulaciones de la Unión Euro-

pea y a adoptar un modelo similar al anglosajón. Por desgracia, este proceso conlleva la desaparición de las carreras de Ingeniería, ya que su planteamiento no encaja en el nuevo paradigma.

La declaración de Bolonia exige que se definan procedimientos claros e inmediatos para que los estudios realizados en un estado puedan ser reconocidos en cualquier otro de la Unión. Se trata de favorecer la movilidad de los estudiantes y trabajadores, no de que exista la misma carrera con el mismo nombre y con el mismo plan de estudios en todas partes. Pero ello, según muchos, no implica que haya que modificar las actuales titulaciones de cada país y su estructura académica. Basta con adecuar y flexibilizar los decretos que regulan el reconocimiento de estudios cursados en el extranjero y no hay por qué sustituir nuestro sistema, de probada eficacia, por una copia distorsionada del sistema anglosajón, en el que no todo es maravilloso.

El cumplimiento de la Declaración de Bolonia no exige ni la desaparición de nuestra titulación ni la reducción del nivel formativo de nuestros titulados. Y tal vez se esté utilizando el Espacio Europeo de Educación Superior como excusa para introducir otros cambios. Pero otros titulados esperan ocupar nuestro lugar si desaparecemos, por lo que no cabe esperar el apoyo de nadie. O somos capaces de defender nuestras opiniones con eficacia o nadie lo hará por nosotros.

¿Una nueva ingeniería?

Los veinticinco años de la promoción, y la elaboración de este artículo, han coincidido con el comienzo de una crisis económica, cuya profundidad y duración aún nadie se atreve a predecir, pero que, sin duda ninguna, nos enfrenta, como sociedad y como profesionales, con una situación nueva que hemos de abordar con imaginación, valentía y profundidad.

Como profesionales hemos vivido en la cresta de la ola, contribuyendo y beneficiándonos de una situación, a la que hemos servido de forma entusiasta y eficaz, aunque seguramente de forma poco crítica. Ahora nos toca, en los tiempos de crisis que nos esperan, estar también, una vez más, a la altura de las circunstancias y hacer, en nuestro terreno, un auto-análisis que no hemos sabido o podido hacer en tiempos de bonanza. Como en todos los terrenos de la actividad humana, las crisis pueden y deben servir para eliminar las ramas en-

firmas y de esta forma permitir que el árbol vuelva a crecer con renovadas fuerzas. Este es nuestro nuevo reto y nuestra responsabilidad.

Utilizando una expresión en boga, es el momento de preguntarnos, si la ingeniería que hemos hecho en estos años, y seguimos haciendo, es una ingeniería sostenible. Si una de las causas de la crisis es, en opinión generalizada, el "pinchazo de la burbuja del ladrillo", ni podemos ignorar la responsabilidad que, como profesionales, hayamos tenido en la misma, ni las consecuencias que nos esperan de ella en nuestra profesión, en el futuro próximo y no sabemos por cuanto tiempo.

A este propósito se me viene a la memoria una frase que, hace unos años, me decía el arquitecto Ricardo Aroca, a la sazón Director de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid: "hasta hace unos años me fiaba del rigor de los ingenieros, pero ahora os habéis hecho tan frívolos como los arquitectos". Podrá argüirse que hemos hecho la ingeniería que nos demandaba la sociedad, en un momento de opulencia, y por tanto claramente inclinada al espectáculo y la autosatisfacción. Pero seguramente debamos de reconocer que lo que decía Aroca estaba más que justificado, porque no hemos sabido poner un poco más de racionalidad en nuestra actividad profesional y así transmitírsela a la sociedad.

Como profesionales, tenemos ya la perspectiva suficiente como para reconocer que, en estos años, hemos olvidado, y en no pocas ocasiones despreciado, muchas de las enseñanzas, entre ellas las del rigor, la austeridad y la racionalidad, que nuestros mayores nos transmitieron en la Escuela, cuando nos tocó ser estudiantes y aprender de los ingenieros más destacados, de los de mayor experiencia, de los de mayor conocimiento "real". Esos son los símbolos de nuestra profesión, y a ellos debemos volver, en la nueva y dura etapa que se inicia.

Solo a título de ejemplo, podemos, y debemos, confrontar muchos de los puentes que estamos haciendo

en los últimos años, con los "puentes de altura estricta" de Don Carlos Fernández Casado, cuyas enseñanzas no alcanzamos a recibir directamente en la Escuela, pero que nos llegaron a través de su discípulo Javier Manterota. Tanto más sí, como el mismo autor hizo en su momento, eliminamos la palabra "altura" y hablamos de "ingeniería estricta", concepto "obsoleto" en las épocas de abundancia y exaltación que hemos vivido, pero que en la actual situación de crisis, puede y debe hacerse de nuevo presente, a modo de reto y programa. ¿No es esto la ingeniería sostenible?

En la situación que hemos vivido por décadas, todo se podía hacer, y muchas veces lo hemos hecho, sin pensar si se debía y en ello tenemos que aceptar la parte de responsabilidad que nos corresponde como profesionales. Si no hemos sido capaces en su momento de poner límites al boom constructivo, seamos al menos ahora capaces de pararnos a repensar qué debe hacerse en el futuro próximo. No podemos caer en la tentación, no exenta de egoísmo, de buscar y empujar la recuperación de un nivel de actividad constructiva que el territorio no soporta en muchas zonas de nuestro país. La superación de la crisis que sufrimos no puede ser volver a lo mismo que teníamos y son muchas las circunstancias, y los intereses, que nos llevarán a ello.

Nuestro objetivo no puede ser maximizar las cifras de inversión, ni que nuestros nombres pasen a la posteridad. Nuestra ilusión y nuestra dedicación deben ser maximizar con discreción, eficiencia y eficacia el servicio que se puede prestar a la sociedad con limitados recursos. Esto implica y conlleva mirar hacia delante, avanzar en la aplicación de nuevos materiales, nuevas técnicas, y con nuevos paradigmas, de manera decidida y humilde. Así se ha comportado nuestro colectivo en muchas ocasiones. Ahora nos toca a nosotros.

Este es el apasionante reto que nos espera en los próximos años y al que, con la madurez de los veinticinco años de profesión, debemos contribuir a hacer frente. ♦

Referencias:

El artículo ha sido redactado en sus diferentes apartados sobre los escritos elaborados por otros tantos compañeros de la promoción, expertos en cada uno de ellos, retocados en mayor o menor medida por el autor principal, buscando una cierta unidad de estilo. Los autores de las aportaciones, que espero haber recogido con fidelidad, han sido: Ignacio Español (La preocupación medioambiental); Ricardo Conejo (La informática en la ingeniería); Tomás Durán (Las Administraciones Públicas); Eduardo Porras (Las empresas constructoras); Antonio Sánchez Soliño (El sistema concesional); Jesús Mateos (La ingeniería española en el Exterior); Francisco Ruiz del Castillo (Obras subterráneas y cimentaciones); Ignacio Rivera y Miguel Cañada (Autovías y autopistas); Jesús Gómez Hermoso (Los puentes); Jesús Mateos (La edificación singular); Miguel Lacasta (Los puertos y las costas); Tomás Sancho y Belén González (El Agua. Nuevas leyes, planes e ideas); Jesús Alcázar Reinaldo (Las fuentes de energía); Fermín Navarína (Cambios en el sistema universitario). No se ha rehuido la expresión de opiniones particulares sobre algunos temas, controvertible y controvertidos, que no pretenden, obviamente, ser la opinión unánime, ni siquiera mayoritaria, de un colectivo de 230 compañeros y deben ser atribuidas en exclusiva al autor.