

*La Serie Universitaria de la Fundación Juan March presenta resúmenes, realizados por el propio autor, de algunos estudios e investigaciones llevados a cabo por los becarios de la Fundación y aprobados por los Asesores Secretarios de los distintos Departamentos.*

*El texto íntegro de las Memorias correspondientes se encuentra en la Biblioteca de la Fundación (Castelló, 77. Madrid-6).*

*La lista completa de los trabajos aprobados se presenta, en forma de fichas, en los Cuadernos Bibliográficos que publica la Fundación Juan March.*

*Los trabajos publicados en Serie Universitaria abarcan las siguientes especialidades: Arquitectura y Urbanismo; Artes Plásticas; Biología; Ciencias Agrarias; Ciencias Sociales; Comunicación Social; Derecho; Economía; Filosofía; Física; Geología; Historia; Ingeniería; Literatura y Filología; Matemáticas; Medicina, Farmacia y Veterinaria; Música; Química; Teología. A ellas corresponden los colores de la cubierta.*

*Edición no venal de 500 ejemplares que se reparte gratuitamente a investigadores, Bibliotecas y Centros especializados de toda España.*

*Estos trabajos fueron expuestos por sus autores en el cursillo sobre la Ingeniería Española en el siglo XX, organizado por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Fundación Juan March, en Noviembre de 1983.*

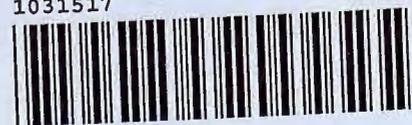
**Fundación Juan March**



Biblioteca FJM

FJM-Uni 215-Ing  
La Ingeniería española en el siglo XX

1031517



Biblioteca FJM

Fundación Juan March (Madrid)

**SERIE UNIVERSITARIA**



**Fundación Juan March**

## **La Ingeniería Española en el siglo XX**

**AUTORES:**

**Gregorio Millán  
Enrique Sánchez-Monge  
Carlos Benito  
José Warleta  
Eduardo Alastrué  
Rodolfo Urbistondo**

215 - La Ingeniería Española en el siglo XX

**FJM  
Uni-  
215  
Ing  
215**



Fundación Juan March

Serie Universitaria

215



# La Ingeniería Española en el siglo XX

**AUTORES:**

**Gregorio Millán**

**Enrique Sánchez-Monge**

**Carlos Benito**

**José Warleta**

**Eduardo Alastrué**

**Rodolfo Urbistondo**



Fundación Juan March  
Castelló, 77. Teléf. 435 42 40  
Madrid-6

Fundación Juan March (Madrid)

Depósito Legal: M-13807-1984

I.S.B.N.: 84-7075-294-4

Impresión: Ediciones Peninsular. Tomelloso, 37. Madrid-26.

Fundación Juan March (Madrid)

## I N D I C E

	<u>Página</u>
INTRODUCCION. . . . .	5
1. UN SIGLO DE INGENIERIA ESPAÑOLA: ESTEBAN TERRADAS, por Gregorio Millán . . . . .	9
2. LA INGENIERIA AGRONOMICA: MIGUEL ODRIOZOLA, por En- rique Sánchez-Monge . . . . .	43
3. LA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION CIVIL: EDUARDO TO- RROJA, por Carlos Benito . . . . .	63
4. LA INGENIERIA AERONAUTICA: JUAN DE LA CIERVA, por José Warleta . . . . .	107
5. LA INGENIERIA MINERA Y GEOLOGICA: LUCAS MALLADA, por Eduardo Alastrué . . . . .	145
6. LA INGENIERIA HIDRAULICA: MANUEL LORENZO PARDO, por Rodolfo Urbistondo . . . . .	177
7. LAS TECNOLOGIAS DEL FUTURO: LEONARDO TORRES QUE- VEDO, por Gregorio Millán . . . . .	219



## INTRODUCCION

### LA INGENIERIA ESPAÑOLA EN EL SIGLO XX

Un estudio de la evolución histórica de la economía española permite constatar que el máximo desarrollo de la misma y la consiguiente elevación del nivel de vida de los españoles ha tenido lugar a partir de 1900. En este proceso de modernización de la sociedad española cabe advertir la influencia de muchos factores. Entre ellos merece destacarse la labor de los ingenieros españoles cuyas tareas pacientes y eficaces han pasado casi inadvertidas para muchos de nuestros conciudadanos.

Las viejas escuelas especiales de ingeniería se crearon, en su mayor parte en el siglo XIX, para proporcionar funcionarios competentes a la Administración Pública en aquellas ramas que requerían conocimientos técnicos particulares. Desde el principio se esforzaron las escuelas en mantener una alta calidad basándose en una selección rigurosa al ingreso y en una sólida preparación científica a lo largo de los estudios que constituían las carreras. El resultado fue la aparición, ya en el siglo pasado, de cuerpos técnicos altamente cualificados que no solo pudieron servir eficazmente a la Administración sino que estuvieron en condiciones de contribuir a la modernización material de España cuando se dieron las condiciones sociológicas y financieras necesarias. Esto sucedió después del trauma nacional de 1898 y desde entonces, y a pesar de las oscilaciones debidas a las convulsiones políticas (singularmente la guerra civil), el desarrollo español continuó con vigor especialmente en las últimas décadas.

Actualmente las viejas escuelas -y otras más recientes- han cambiado. Están englobadas en Universidades y cuentan con un alumnado numeroso, pero la tradición de seriedad y rigor -

científico se mantiene y parece conveniente recordar el origen y la trayectoria. Con este objeto la Fundación Juan March y la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales decidieron organizar un ciclo de conferencias sobre la Ingeniería Española en el Siglo XX para desbrozar -aunque solo sea muy parcialmente- el camino que conduzca a estudios históricos más profundos. Y para que las conferencias fueran además estímulo para los ingenieros jóvenes se acordó que en cada una de ellas se glosase alguna figura eminente de la ingeniería española.

A la vista del temario de estas conferencias, parece ocioso resaltar que no se ha pretendido abarcar todos los aspectos de la ingeniería española de este siglo. Somos -conscientes de la falta de algunos, también eminentemente trabajados por los ingenieros españoles. Pero solo con los aquí tratados puede obtenerse una buena idea de la cantidad y la calidad de las investigaciones y los trabajos realizados.

Se celebraron las conferencias en la Sede de la Fundación los días 8, 10, 15, 17, 22, 24 y 29 de noviembre de 1983 y su contenido se recoge en la presente publicación.

Carlos Sánchez del Río

Académico Numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Catedrático de Física Atómica de la Universidad Complutense de Madrid.

## NOTAS BIOGRAFICAS DE LOS CONFERENCIANTES

GREGORIO MILLAN BARBANY, Doctor Ingeniero Aeronáutico. Ha sido Catedrático de Aerodinámica Racional en la Escuela - Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Director General de Enseñanzas Técnicas en el Ministerio de Educación Nacional y Director General, Consejero Delegado y Presidente en funciones de la Sociedad Española de Construcciones Babcock & Wilcox, S.A. Actualmente es consultor de la empresa de ingeniería SENER. Es Académico numerario de la Real de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

ENRIQUE SANCHEZ-MONGE Y PARELLADA, Doctor Ingeniero Agrónomo. Ha sido Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Catedrático de Genética de la Universidad de Madrid. Actualmente es Catedrático de Genética General y Aplicada de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid. Es Académico numerario de la Real de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

CARLOS BENITO HERNANDEZ, Ingeniero de Caminos, Canales y Puentes. Es Catedrático de la Escuela Técnica Superior correspondiente de Madrid. Ha sido Vicerrector de la Universidad Politécnica de Madrid y Director del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Actualmente es Presidente del Consejo de Obras Públicas y Urbanismo.

JOSE WARLETA CARRILLO, Doctor Ingeniero Aeronáutico. Ha prestado servicios en la Maestranza Aerea de Sevilla y en la empresa Construcciones Aeronáuticas, S.A. Actualmente es Director del Departamento de Aerodinámica y Navegabilidad del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

EDUARDO ALASTRUE CASTILLO, Doctor Ingeniero de Minas y Doctor en Ciencias Naturales. Ha sido Ingeniero del Distrito - Minero de Sevilla, del Instituto Geológico y Minero de España y de la Comisión Nacional de Geología. Ha sido también Catedrático de Geología en las Universidades de Zaragoza y Sevilla y últimamente, Catedrático de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid.

RODOLFO URBISTONDO ECHEVERRÍA, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ha sido Subdirector General de Obras Hidráulicas y Comisario Central de Aguas en el Ministerio de Obras Públicas. Actualmente es Director General del Canal de Isabel II y Presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presas.

UN SIGLO DE INGENIERIA ESPAÑOLA. ESTEBAN TERRADAS

por Gregorio Millán Barbany

Hace justamente medio siglo, Don José Ortega y Gasset dictó un Ciclo de Conferencias en el curso inaugural de la Universidad Internacional de Verano Menéndez y Pelayo, consagrado al sugestivo tema de meditar sobre la naturaleza y sentido de la técnica y su relación con la condición humana.

Su primera conclusión es que "no hay hombre sin técnica" puesto que es la técnica, que define como "la reforma que el hombre impone a la naturaleza, en vista de la satisfacción de sus necesidades", la que en expresión muy orteguiana dá "franquicia al hombre para poder vacar a ser sí mismo". Lo que pasa es que, al haberse desarrollado hasta el punto en que lo ha hecho, la técnica se ha convertido, como dice Ortega, en "uno de los mayores ingredientes que integran nuestro destino", de tal modo que "el hombre no vive ya en la naturaleza sino que está alojado en la sobrenaturaleza que él mismo ha creado" y sin la cual, añade, no podría vivir aunque quisiera. Lo cual no deja de ser una buena advertencia en nuestros días, para quienes quizás ingenuamente pretenden llevar sus aspiraciones ecológicas más allá de los límites normales.

Las cosas han ocurrido así en tal medida que Ortega califica nuestro tiempo, al igual que lo hace Jaspers, como la "edad de la técnica" y recogiendo el sentir de la época piensa que sus posibilidades se muestran ilimitadas, por muy irreales que puedan parecernos a primera vista. Idea que, anticipándose a los hechos en un cuarto de siglo, como era en él habitual, ilustra con el ejemplo de que "no puede considerarse una extravagancia el viaje a los astros o la colocación de un objeto terrestre en las inme-

diaciones de la Luna". Como es sabido, en 1957 se inauguró la "era espacial" con la colocación de un satélite soviético en torno a la tierra y en 1969 un norteamericano puso sus pies en la luna, como culminación del proyecto Apolo con el que el malogrado Presidente Kennedy, que no pudo ser testigo del singular acontecimiento por el magnicidio de Dallas, movilizó el esfuerzo tecnológico nacional de su país, en unos momentos de desánimo y estancamiento.

Hace poco se ha publicado en los Estados Unidos de América un libro que ilustra a escala global la imagen de esa sobrenaturalidad técnica en la que vive el hombre moderno. En él se muestra la huella de la técnica (restos arqueológicos, puertos, ciudades, concentraciones industriales, explotaciones mineras y petrolíferas, vías de comunicación, cultivos, etc.) en las diversas regiones del planeta, a través de un conjunto de fotografías tomadas y transmitidas a la tierra desde el satélite norteamericano "Landsat" que nos observa a una altura de 900 km y que constituye una de las más avanzadas manifestaciones de la técnica contemporánea.

En un momento de su meditación, Ortega dice: "La técnica, cuya misión es resolverle al hombre problemas, se ha convertido de pronto en un nuevo y gigantesco problema". Y en otro lugar añade (en 1933), quizás como justificación de su interés por esas materias: "Uno de los temas que en los próximos años se va a debatir con mayor brío es el del sentido, ventajas, daños, y límites de la técnica", lamentándose de la nula atención que todo ello merece en los planes de formación de la juventud y de la separación radical entre la Universidad y la ingeniería, que es a su juicio una de las grandes calamidades que impiden al hombre moderno enfrentarse debidamente "pertrechado" con los problemas y angustias de su época.

Uno de los aspectos del proceso técnico contemporáneo que produce mayor sensación de desorientación y angustia, es el sentimiento de que su desarrollo transcurre de modo autónomo, de acuerdo con sus propias leyes que escapan al control del hombre. El riesgo de la autonomía tecnológica tiene su mito más expresivo, hoy de renovada actualidad, en la novela gótica "Frankenstein, o el moderno Prometeo", que una joven inglesa de 19 años, Mary Shelly, publicó en 1818 y que diversas versiones cinematográficas han difundido con variable fortuna a lo largo de nuestro siglo, si bien distorsionando gravemente el contenido de la novela original, tanto en los hechos como en el propósito que la inspiró.

\* \* \* \* \*

La "edad técnica" de Ortega asienta sus cimientos en la Revolución Científica del siglo XVII, simbolizada en la obra de Isaac Newton, y en la primera Revolución Industrial del siglo XVIII, que introduce el maquinismo y cuya expresión técnica más representativa es la máquina de vapor.

Ciencia y Tecnología convergen a lo largo del siglo XIX, cuya contribución a uno y otro campo fue enorme. Por lo que respecta a las Ciencias de más directa aplicación técnica, el siglo XIX fue, por ejemplo, el de la Termodinámica; de la Electricidad y el Electromagnetismo; del desarrollo y consolidación de la Química; de la Biología experimental y de grandes progresos en las Matemáticas. En cuanto a la Técnica, fue el siglo de la máquina de vapor y del carbón; del acero; del cemento y del hormigón armado; de la telegrafía eléctrica; de las turbinas hi

dráulica y de vapor; de la generación y transmisión de la energía eléctrica; de los motores de explosión y del automovilismo; del gas de ciudad; del petróleo; de los primeros materiales sin téticos; del teléfono, la luz eléctrica y la radiotelegrafía; de la fotografía y el cine; de las máquinas herramientas y de las modernas factorías mecanizadas que sustituyeron a las clásicas manufacturas. Aún cuando muchas de estas aplicaciones no encuentran plena difusión práctica hasta bien entrado el siglo XX.

\* \* \* \* \*

El agente de las realizaciones de la técnica es el ingeniero; profesión de muy antiguo abolengo que deriva del verbo latino "in-generare": engendrar; crear, cuya aplicación inicial, en su sentido técnico, se refiere al realizador de "ingenios" bélicos o máquinas de guerra. El uso de la denominación de ingenieros aplicados a los especialistas en "ingenios" militares se generalizó en Europa a partir del siglo XVI, sustituyendo en España a la de Maestros Mayores que se aplicaba tradicionalmente a los prestigiosos especialistas en materias de técnica militar. Pero a lo largo de su historia, los ingenieros militares, primeros en organizarse corporativamente, han contribuido también muy notablemente, en todos los países, al desarrollo y la aplicación de tecnologías no bélicas.

Un ejemplo clásico bien conocido es el del Coronel Don Francisco Sabatini, realizador en tiempos de Carlos III, entre muchas otras, de obras tan notables, como la Puerta de Alcalá, el Hospicio General, la Iglesia de San Francisco el Grande, los servicios de alumbrado, de gas y de limpieza del Ayuntamiento

to de Madrid, el palacio de Aranjuez, la Fábrica de Armas de Toledo, etc.

Otro ejemplo muy notable y bien reciente, que merece ser conocido y recordado, es el del ilustre ingeniero de la Armada Don José María Otero de Navascues, fallecido en Madrid hace unos meses, a la edad de 76 años, tras una vida de intensa y fecunda dedicación a la Ciencia y a la Ingeniería, que le llevó a ocupar posiciones de máxima responsabilidad en organismos científicos españoles e internacionales, en los que se granjeó la admiración y el respeto de todos por su sabiduría, capacidad de organización y excepcionales condiciones humanas. A él se debe el desarrollo de las investigaciones sobre Óptica en España, que abordó tanto en el laboratorio de la Marina como en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, campo donde él y sus colaboradores hicieron descubrimientos sobre miopía nocturna y otros problemas de valor internacionalmente reconocido. A él se debe también la organización y el desarrollo de las investigaciones atómicas en nuestro país, a través de la Junta de Energía Nuclear, que dirigió desde su creación en 1951 y cuya presidencia ostentó a partir de 1958 hasta retirarse. Gozó del máximo prestigio y reconocimiento en los organismos internacionales de Energía Nuclear, cuya presidencia ostentó en varias ocasiones y fue Secretario de la Real Academia de Ciencias en la que ingresó en 1945, desde 1968 hasta 1979.

Desde 1968 hasta 1975, el Dr. Otero presidió el Comité Internacional de Pesas y Medidas, continuando la tradición iniciada a finales del siglo pasado por otro ingeniero militar ilustre; el General Don Carlos Ibañez de Ibero, famoso metrologo español de la Geodesia, principal promotor y Presidente

también de este importante organismo de la metrología internacional.

Precisamente una de las primeras y más famosas escuelas de Ingeniería del mundo fue la célebre Politécnica francesa, de carácter militar, establecida en Metz durante los años de la revolución, como desarrollo de otra anterior, que había sido creada con medio siglo de antelación.

\* \* \* \* \*

La denominación de ingeniería civil, llamada así para diferenciarla de la militar, se introduce en Inglaterra, en el siglo XVIII, donde también se creó la primera asociación profesional de Ingenieros Civiles, ya entrado el siglo XIX.

En España, donde a finales del siglo XVIII existieron los antecedentes que se explican después, se crea en 1835 el Cuerpo de Ingenieros Civiles al servicio de la Administración para fomentar la riqueza pública, con cuatro Inspecciones Generales: una de Caminos; otra de Minas; una tercera de Ingenieros Geógrafos y una cuarta de Ingenieros de Bosques. Andando el tiempo, el cuerpo se disgrega en varios independientes para las distintas especialidade, a la vez que aparecen otras nuevas.

En cuanto a las Asociaciones profesionales de Ingeniería Civil, se extendieron a todos los países y entre ellos al nuestro, donde el movimiento asociativo se manifiesta a comienzos de nuestro siglo, promovido por los Ingenieros Agrónomos, de Caminos, Industriales, de Minas y de Montes que en 1905 fundan el Instituto de Ingenieros Civiles, hoy Instituto de la Ingeniería de España, al cual se van sumando, posteriormente las demás especialidades.

Este movimiento asociativo adquiere también una dimensión internacional mediante la creación de organizaciones como la Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ingeniería (FEANI), a la que pertenece el Instituto de la Ingeniería de España y que se ocupa, entre otras cosas, de homologar los grados y titulaciones de los países miembros y establecer un registro internacional de profesionales, a la espera de que se cree una titulación europea de validez internacional. La FEANI agrupa en estos momentos a más de 600.0000 afiliados de 17 países.

\* \* \* \* \*

Los avances técnicos del siglo XVIII evidenciaron la necesidad de dotar a sus profesionales de una formación académica sobre los fundamentos científicos y las prácticas de su especialidad. Así surgieron las Escuelas de Ingeniería, la primera de las cuales fue la Escuela Nacional de Puentes y Calzadas de París, creada en 1747 para dotar a Francia de un cuerpo profesional capacitado en el proyecto y ejecución de las grandes obras públicas.

España reconoció pronto la necesidad de organizar académica y profesionalmente la formación y el ejercicio de la ingeniería civil, al amparo del clima de renovación cultural y económica que trajeron al país la instauración de los Borbones y el espíritu de la Ilustración. Hombres como Jerónimo Feijóo o Gaspar Melchor de Jovellanos, entre los intelectuales; el Marqués de la Ensenada y el Conde de Floridablanca entre los políticos; Jorge Juan y Agustín de Betancourt entre los ingenieros, representan, junto a otros muchos, el espíritu de renovación que recorre la nación y sus colonias. Ellos animan instituciones como

las famosas Sociedades Económicas de Amigos del País, cuyo antecedente español fue la célebre asociación llamada de los "caballeritos de Azcóitia", localidad donde se reunían desde 1748, en tertulias nocturnas, curas e hidalgos locales para estudiar los problemas de su región. De aquí surgió unos años más tarde la más famosa de todas: la Asociación Vasca de Amigos del País, que llegó a contar con un millar de miembros repartidos por toda España, las colonias y algunos países extranjeros y desarrolló una gran actividad, encaminada al estudio y necesidades de la economía nacional y de la región y a la preparación técnica de la juventud.

Entre los muchos de la época, un proyecto real de los más ambiciosos, debatidos y reiterados a lo largo de más de medio siglo, cuyo sino parece simbólico, fue el de crear en Madrid, donde se habían fundado ya las Reales Academias de la Lengua, de la Historia y de Bellas Artes, una "Academia de Ciencias", que debía ser al mismo tiempo organismo de investigación, centro de enseñanzas y museo de las Ciencias Naturales y de la Técnica. Para alojarla dignamente se encargó al más famoso arquitecto de la Corte, Juan de Villanueva, el proyecto y la construcción en el Prado de un magnífico edificio, que nunca llegó a cumplir aquel propósito porque en 1818, cuando en España soplaban ya otros vientos culturales, fue inaugurado por el Rey Fernando VII en su nuevo destino que hoy mantiene, de Museo Nacional de Pintura.

Es bajo ese clima de la Ilustración y como parte del esfuerzo global cuando se establecen en España las primeras Escuelas de Ingeniería, empezando por la Naval, cuya Escuela de Ingenieros de la Armada fue creada por Carlos III en 1770 e inició su funcionamiento, en Cádiz, dos años más tarde. Esta

medida fue parte del plan general de construcciones navales que pusieron en ejecución los Borbones desde la Coronación de Felipe V y que se prolonga, con diversas incidencias, hasta la Guerra de la Independencia.

La inspiración y en gran parte la ejecución de este plan se debe en gran medida a una figura excepcional: el Jefe de Escuadra de la Armada española Don Jorge Juan y Santacilla, considerado como el primer Ingeniero Naval de nuestro país, cuya obra "Compendio de Navegación", que se tradujo a varios idiomas y alcanzó gran difusión, fue el primer tratado para el proyecto de barcos que sustituye el empirismo dominante por un método sistemático, propio de una concepción técnica moderna. Nacido en Alicante en 1713 y fallecido en Madrid en 1773, Jorge Juan fue un gran exponente del privilegiado grupo de hombres excepcionales que hicieron posible la renovación del XVIII.

Por razones geográficas e históricas, la Técnica Naval que tiene una gran capacidad de arrastre en otros sectores industriales ha gozado de gran tradición y arraigo en nuestro país. Pero se trata de una especialidad que está muy supeditada, por su propia naturaleza, a los programas públicos de construcciones navales, los cuales además, para surtir efectividad tecnológica, tienen que ser a plazo largo y estar dotados de una continuidad razonable.

Ya se comprende que estos condicionantes son poco compatibles con los azarosos vaivenes de nuestra historia política y económica, los cuales han tenido un reflejo sistemático en la de la Ingeniería Naval española, que ha sabido mantener siempre, pese a ello, una capacidad de proyecto y construcción

realmente notable, en una dramática carrera entre las intermitencias de nuestros planes y los avances de la tecnología en países de mayor continuidad programática. Esa capacidad técnica subsiste hoy, quizás con más pujanza que nunca, cuando la crisis mundial de 1973 vuelve a sumir en una situación de extrema gravedad, como es noticia diaria, a este sector que hace tan sólo 15 años ocupaba el cuarto lugar en el rango mundial de la construcción de barcos.

Para terminar esta breve referencia a la Ingeniería Naval española, en la que me he detenido un momento porque no está incluida en las otras conferencias del ciclo, quisiera evocar el recuerdo de una ilustre figura de nuestro siglo, hoy bastante silenciada, que prestó grandes servicios al desarrollo industrial de nuestro país. Me refiero a Don Juan Antonio Suances, nacido en el ambiente marinero de El Ferrol, en 1881, y fallecido en Madrid en 1977. Tras unos años de servicio activo en la Marina, que por aquellos tiempos y merced al ambicioso plan de construcciones navales de Don Antonio Maura recibía un impulso tan sólo comparable al del Marqués de la Ensenada, Don Juan Antonio Suances cursó los estudios de Ingeniería Naval, asumiendo muy pronto funciones de gran responsabilidad técnica en los astilleros de Cartagena y el Ferrol. Como político fue dos veces Ministro de Industria y Comercio; la primera durante nuestra guerra civil y la segunda al final de la guerra mundial, bajo condiciones cuya extrema dificultad es fácil imaginar. Desde este puesto de Gobierno y desde el INI, obra suya cuya presidencia asumió al crearse en 1941 y desempeñó hasta 1963, luchó infatigablemente por impulsar la industrialización española. Una de sus creaciones predilectas fue la del Patronato Juan de la

Cierva de Investigación Aplicada en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, donde, a través de un conjunto de Institutos Sectoriales, fomentó la cooperación entre científicos, ingenieros e industriales, en un esfuerzo ejemplar de promoción del desarrollo de la tecnología nacional.

Las tecnologías mineras y metalúrgicas han tenido siempre gran arraigo en España y constituyen la segunda rama de la ingeniería que se organiza, también a finales del siglo XVIII, y también bajo el impulso del más ilustre representante de la minería y metalurgia de la época: el riojano Don Fausto Elhuyart. El y su hermano Juan José, tras ampliar sus estudios como pensionados en Alemania, ejercieron la enseñanza y la investigación en la Instituto de la Asociación Vasca de Amigos del País de Vergara, donde, entre otras realizaciones, lograron en 1783 obtener por primera vez el wolframio, que tan importantes aplicaciones habría de encontrar en nuestro siglo. Don Fausto Elhuyart, que pasó una gran parte de su vida en Méjico, fundó allí la primera Escuela Española de Minas, en 1775, a la que siguió dos años más tarde la española de Almadén, que tras las conocidas dificultades del primer tercio del siglo XIX, quedó definitivamente instalada en Madrid, en 1835.

El proceso se repite una vez más para la Ingeniería de Caminos, tercera rama que se organiza en España, mediante la creación en 1794 del Cuerpo de Ingenieros de Caminos y Canales del Reino, como entonces se llamaban, y la de la Escuela correspondiente, en 1802, que promovió sobre el modelo francés el insigne ingeniero Don Agustín de Betancourt, una de las personalidades científicas y técnicas más relevantes de su época.

A la de Caminos siguió la creación de la Ingeniería de Montes, introducida en 1848, bajo el impulso del que se considera primer ingeniero español de la especialidad: Don Agustín Pascual, que adquirió también en Alemania y trajo a España los conocimientos de la Ciencia de Montes, prácticamente desconocida entre nosotros por entonces. La Escuela de estableció inicialmente en Villaviciosa de Odón, trasladándose en 1870 al Escorial para venir a terminar, como todas, en Madrid, en 1914.

El proceso de industrialización del siglo XIX, con la introducción del maquinismo, hace sentir la necesidad de organizar las enseñanzas de las técnicas que requieren las nuevas industrias. Para ello se crea en España, en 1850, la rama de la Ingeniería Industrial, orientada en su concepción y actividades al servicio de la naciente Industria nacional y no al de la Administración.

Por las mismas fechas (1855) y tras algunos intentos anteriores frustrados, se crea en Aranjuez las enseñanzas de la Ingeniería Agronómica que, siguiendo la pauta conocida, se trasladó más tarde a Madrid, en la finca donde actualmente se aloja la presidencia del Gobierno.

La técnica de la comunicación a distancia tiene su origen en el telégrafo óptico de 1800 que fue sustituido a mediados del siglo pasado por el eléctrico. La profesión considera que el primer ingeniero de telecomunicaciones español fue el Coronel de Estado Mayor Don José María Mathe, de gran capacidad técnica y organizadora, quien en 1848 fue comisionado por el Gobierno para instalar los últimos telégrafos óp-

ticos del país, los cuales terminaron por la línea de Madrid a Cádiz con que habían empezado medio siglo antes bajo la dirección de Betancourt. Cuatro años más tarde, el Gobierno le encomienda la misión, que ejecuta con gran acierto, de estudiar en el extranjero e introducir en España el recién inventado telégrafo eléctrico, cuyo primer telegrama, con el discurso de la Corona, se transmitió de Madrid a París en 1854.

Por cierto que el término de "Telecomunicaciones" para designar esta rama de la técnica, sin duda la de más espectacular desarrollo en nuestra época, fue oficialmente adoptado en Madrid, en 1932, al crearse la Unión Internacional de Telecomunicaciones, mediante la fusión de otras organizaciones internacionales precedentes.

Por último, la Ingeniería Aeronáutica, que hasta entonces había estado en manos de la Militar, se estableció en 1928, mediante la creación de la Escuela Superior de Aeronáutica, inicialmente en Cuatro Vientos y hoy también en Madrid.

La ingeniería química es una excepción al proceso que acabamos de describir, dentro y fuera de España, porque su desarrollo se produce en gran parte en las Universidades, de acuerdo con la pauta alemana. Por ello, en España, la formación se adquiere, principalmente, bien en las Facultades de Ciencias, donde existe un doctorado en química industrial, bien como una especialidad de la ingeniería industrial, sin excluir tampoco otras Facultades y Escuelas.

En la actualidad y a diferencia de lo que ocurrió en el origen, todas las Escuelas de Ingeniería están integradas en el Ministerio de Educación y Ciencia, agrupadas en Universi-

dades Politécnicas, y su número, que se aproxima a las 150 entre las de grado superior y técnico, se ha multiplicado considerablemente, distribuyéndose por todo el país.

Por lo que respecta a la actividad profesional de los ingenieros, la mayoría la ejercen, naturalmente, en el sector productivo, en la agronomía, en la industria y los servicios, donde un gran número de destacados empresarios proceden de esta profesión.

\* \* \* \* \*

La misión de la Ingeniería es utilizar con eficacia los recursos naturales para servir las necesidades del hombre, aplicando a ello el resultado de los descubrimientos científicos y el caudal de conocimientos acumulados por el desarrollo tecnológico.

Fiel a su sentido etimológico, la función de la Ingeniería, en su significación más noble, contiene siempre una componente importante de creatividad, que le impulsa a buscar soluciones innovadoras, en un mundo en evolución, con las que trata de optimizar el uso de los recursos naturales, tecnológicos, económicos y humanos que se ponen en juego para resolver un problema determinado.

La intuición, el ingenio, el saber, el buen criterio y la dedicación son cualidades inherentes a la buena ingeniería, que cuando concurren generosamente en alguno de sus representantes, lo convierten en una figura egregia, como las que van a ser evocadas a lo largo de este ciclo.

Para cumplir hoy su misión, la función de la ingeniería debe cubrir un espectro de actividades muy amplio que abarca los campos de la investigación, el desarrollo, el proyecto, la construcción, el funcionamiento, la organización y la dirección de las realizaciones técnicas, asumiendo para ello responsabilidades cada vez mayores.

Porque las implicaciones económicas y sociales de la moderna tecnología imponen a la ingeniería exigencias crecientes en áreas tales como la rentabilidad y el control de calidad, la seguridad de operación y la preservación del medio ambiente, al mismo tiempo que condicionan su actividad, que se ve supeditada a avatares políticos y económicos cada vez más determinantes. De lo que dan testimonio las polémicas cada vez más frecuentes sobre determinados proyectos, así como los planes de innovación, de reconversión industrial y de infraestructuras que está viviendo el mundo en estos años y muy concretamente nuestro país.

Piénsese, por ejemplo, en la reconversión energética desencadenada por la crisis del petróleo de 1973, con el retorno al carbón y a la energía hidráulica; el impulso, y subsiguiente contención en algunos países como el nuestro, de la polémica energía nuclear; la búsqueda y desarrollo tecnológico de nuevas fuentes como la solar, eólica, geotérmica, de las mareas, de biomasa, etc. y finalmente en el ahorro energético en los centros de consumo, con su honda repercusión, por ejemplo, en la tecnología de los diversos sistemas de transporte.

Una de las más expresivas manifestaciones de la forma de trabajar en la moderna Ingeniería la constituyen probable

mente las llamadas Sociedades de Ingeniería, que han adquirido gran desarrollo en nuestro siglo.

Dedicados al ejercicio de la Ingeniería en su sentido más puro, estas empresas agrupan cientos o miles de especialistas en las diversas ramas de la técnica, junto a otros "generalistas" que combinan el esfuerzo de aquéllos para el estudio y la ejecución de proyectos complejos, como centrales de potencia, industrias, obras públicas, etc., sirviéndose de técnicas muy precisas de organización, administración y control, que incluyen el tratamiento de los aspectos económicos y humanos en todo ello.

A efectos de la índole de los trabajos que realizan, se clasifican generalmente en Sociedades de Ingeniería Industrial, de Ingeniería Civil y Consultorías, si bien muchas de ellas desarrollan una actividad polivalente que cubre áreas de varias ramas.

Una idea de la dimensión de este Sector la pueda dar el hecho de que el número de Empresas de esta naturaleza en la Europa Occidental es de varios miles, con una población empleada del orden del cuarto de millón de personas, de las que un 70% al menos son técnicos de las diversas especialidades y niveles profesionales. En España, el número de tales empresas pasa largamente del centenar, con una población de más de 10.000 empleados.

La historia muy reciente de la forma en que se han desarrollado estas Empresas en España es bastante ilustrativa de la incidencia de la política económica en el ejercicio de la Ingeniería.

El primer impulso importante, con especial impacto en la Ingeniería de construcciones civiles, data de los primeros Acuerdos de cooperación militar entre España y los Estados Unidos, en 1953, que condujeron al proyecto y construcción de las bases de uso conjunto.

La misión fue encomendada a la Marina norteamericana que contrató el servicio de un consorcio de Empresas de ingeniería de aquel país, el cual subcontrató trabajos a Empresas españolas de la especialidad, básicamente creadas para ello. Estas Empresas constituyeron el núcleo inicial de la Ingeniería Civil española, que asimiló con esos proyectos las nuevas técnicas de trabajo, permitiéndonos disponer al desarrollarse de una capacidad de ingeniería civil moderna que opera hoy en el mercado internacional, en condiciones similares a las de otros países desarrollados.

Análogamente, la liberalización económica de los años 60, y los planes de desarrollo socioeconómico que la acompañaron, desencadenaron un proceso de modernización agronómica, industrial y de servicios, que proporcionó el impulso necesario para el desarrollo de las Empresas españolas de Ingeniería Industrial, en competencia o colaboración con las que se instalaron en España procedentes de otros países, bajo el gran atractivo de la oportunidad española. También aquí hubo una asimilación de nuevas tecnologías que subsiguientemente encontraron aplicación en los mercados internacionales, como en el caso de la Ingeniería civil.

Un ejemplo bien ilustrativo de lo que se ha conseguido, entre los muchos que podrían mencionarse, referente a una tecnología muy moderna y de gran responsabilidad, es el relativo

a las Centrales Nucleares, hoy de gran actualidad, donde las Empresas de Ingeniería españolas desarrollan un trabajo idéntico al que hacen las más prestigiosas de Norteamérica, Francia, Italia u otros países, tanto para España como en operaciones de exportación.

Porque me parece justo señalar que los ingenieros españoles no son ni han sido mejores o peores que los de otros países desarrollados. Van a poder apreciar Vds. la realidad de esta afirmación en días sucesivos de este ciclo, a través de muchos ejemplos, realidad que evidencia, por otra parte, la práctica profesional diaria, en un campo de trabajo cada vez más internacional y abierto.

Lo que si puede variar de un caso a otro, según las circunstancias ambientales y de política económica, es la oportunidad de poner en práctica la capacidad técnica disponible, como hemos visto en alguno de los ejemplos citados y podríamos ilustrar con otros muchos.

\* \* \* \* \*

En definitiva, el ejercicio de la Ingeniería, en un país y en un momento determinados, está condicionado por dos factores básicos: el nivel del desarrollo tecnológico disponible y el de la situación socioeconómica del país. Por ello me parece útil consagrar unos breves instantes a la consideración de estos factores.

Por lo que respecta al primero, no es posible revisar aquí, aún cuando el interés del tema resulta evidente, el nivel tecnológico alcanzado a comienzos del siglo XX, ni

su desarrollo posterior hasta nuestros días, pero sí me gustaría hacer referencia al menos a dos aspectos del mismo que considero de especial relevancia.

Los dos ingredientes naturales de que dispone la Ingeniería para realizar sus proyectos son la energía y la materia, que manipula y transforma mediante la aplicación del saber tecnológico.

Por ello, el estado y la evolución de las tecnologías de una y otra son básicos para valorar las posibilidades técnicas de una situación determinada.

De ahí también la importancia de la crisis de 1973, que es una crisis de recursos energéticos y de materias primas, agravada por el irregular reparto geopolítico mundial de tales recursos.

Pues bien; el siglo XX es el del desarrollo de la energía, merced al petróleo, al gas y a la electricidad, cuya utilización tiene sus orígenes en el precedente, pero se generaliza en el nuestro, que aporta además nuevas fuentes como la nuclear y la fotovoltaica, ésta última indispensable en las aplicaciones espaciales; nuevos motores, como la turbina de gas y esa maravilla de la técnica que es el motor de reacción, o los grandes motores cohete.

Concretamente, por lo que respecta a nuestro país, la demanda española de energía primaria se multiplica por un factor superior a 20 entre 1900 y 1975. Su estructura se diversifica y evoluciona además de tal modo que el carbón, que en la primera fecha proporcionaba el 97% del total, se reduce a menos

del 20% en 1975, cediendo la primacía al petróleo, cuya contribución se aproxima entonces al 70%, para iniciar un descenso en estos últimos años de crisis. Asimismo, la energía hidráulica experimenta un crecimiento muy importante, llegando a cubrir una cuarta parte de las necesidades nacionales en 1960, para descender al 10% en 1975.

El otro aspecto a considerar en relación con la energía es el de la evolución de la estructura del consumo entre las demandas industrial, doméstica, para el transporte, etc., así como la forma en que esa energía llega al consumidor. En la actualidad es predominantemente bajo la forma de energía eléctrica, cuya producción, virtualmente inexistente al empezar el siglo, se multiplica por un factor de 40 a lo largo de los últimos cuarenta años, alcanzándose consumos por habitante y año análogos a los de Francia y superiores a los de Italia.

Nuestro siglo es también el de los nuevos materiales, tales como el aluminio y sus derivados; los aceros especiales; el magnesio; el titanio; los materiales sintéticos, tales como las fibras, los plásticos y el caucho; los materiales compuestos y tantos otros. Por ejemplo, la producción nacional de acero, industria que nace con el siglo, que en 1900 era de 166.000 Tm, en 1975 excede de los 11 millones. Análogamente ocurre con la del cemento, que también nace por esas fechas y en el periodo considerado pasa de 50.000 a 25 millones de Tm.

\* \* \* \* \*

En el orden socioeconómico, España, que a lo largo del siglo XIX había visto frustrarse el despegue iniciado en el

XVIII y malograrse en gran medida la oportunidad de industrialización y desarrollo que proporcionó a Europa la Revolución Industrial, inicia nuestra centuria bajo los efectos del desastre del 98, con una estructura de país subdesarrollado, que intenta superar con tensión y realismo, para recuperar el tiempo perdido.

Son los años en que la repatriación de capitales coloniales, el producto de las exportaciones mineras; la financiación exterior y el espíritu empresarial de unos cuantos, conducen a la creación de la gran Banca; de las grandes empresas eléctricas; de la siderurgia del Norte; de las primeras industrias químicas; de las fábricas de azúcar de remolacha en sustitución de la cubana de caña; de las fábricas de cemento e industrias de la construcción; de las navieras y de tantas otras Empresas con nombres hoy consagrados, cuya aparición sienta las bases del futuro desarrollo industrial de la Nación.

La evolución desde aquellos comienzos hasta la España desarrollada de nuestros días, puede resumirse brevemente en los términos siguientes.

En 1900, la población, en el país de más baja densidad demográfica de Europa, era escasamente la mitad de la actual; tenía una estructura demográfica del tipo llamado de transición y sus dos terceras partes vivían en zonas rurales, porcentaje que en la distribución presente corresponde a la población urbanizada.

La esperanza de vida al nacer, que hacia 1900 era de unos 35 años, con alguno más para las mujeres, cedido por galantería, se duplica largamente en nuestros días.

El nivel de alfabetismo, hoy virtualmente desterrado, se aproximaba en el promedio del país al 50%, y a cerca del 80% en las provincias más atrasadas.

Hacia 1900 cursaban estudios de nivel universitario unos 20.000 alumnos, de los cuales unos 3.000 correspondían a las Escuelas de Ingeniería y Arquitectura, cuyo número de titulados en ejercicio era del orden de los 6.000. En la actualidad, el número de estudiantes universitarios, entre Facultades y Escuelas de diversas clases, excede de los 600.000. De ellos, unos 100.000 corresponden a Escuelas de Arquitectura e Ingeniería de los grados Superior y Medio, donde se titulan anualmente más de 7.000 profesionales de ambos niveles.

En 1900, las dos terceras partes de la población activa trabajaban para el sector primario y el tercio restante, en proporciones aproximadamente iguales, se distribuía entre la industria y los Servicios. Es más; esta estructura típica del subdesarrollo no difiere prácticamente de la correspondiente al año 1800. En la actualidad, por el contrario, escasamente un 20% de la población activa trabaja en el Sector agrario, porcentaje aún dos o tres veces mayor que el de los países de la Comunidad Económica Europea, mientras que el 80% restante se distribuye en partes aproximadamente iguales entre la industria y los servicios, con ligero predominio de estos, estructura que corresponde ya a la de un país desarrollado.

El producto interior bruto y su estructura, así como la renta per cápita y su distribución son bastante más difíciles de estimar, porque los cálculos de la contabilidad nacional se inician en fecha muy posterior.

No obstante, los datos disponibles permiten estimar que, a precios constantes, el producto interior bruto se ha multiplicado aproximadamente por 10 en lo que va de siglo, cifra que resulta tanto más notable si se tiene en cuenta que al final de la guerra civil, en 1939, su valor había descendido a niveles similares a los de 1900, y que su mayor crecimiento se ha producido en los últimos 30 años, en que se ha multiplicado por cinco.

En cuanto a su estructura, al empezar el siglo el sector agrícola contribuía a la formación del producto interior bruto con algo más del 50%, en tanto que ahora no llega al 10% como corresponde a un país desarrollado, en donde además la contribución de los Servicios es mayor que la de la industria.

En el mismo periodo de tiempo, la renta per cápita se ha quintuplicado aproximadamente, pero debe tenerse en cuenta además, en este caso, que al final de la guerra civil descendió, a precios constantes, incluso por debajo de su valor de 1900. Al mismo tiempo se ha producido una importante redistribución de la misma, de tal modo que más de un 50% corresponde a las remuneraciones netas de la población asalariada que constituye un 70% de la población activa total.

Por último, la profunda transformación socioeconómica española que acabamos de resumir se produce con especial intensidad en dos etapas separadas por la catástrofe de la guerra civil y por las dificultades internacionales de la mundial: la primera, durante la tercera década del siglo, se vio interrumpida por los efectos de la crisis del 29. La segunda, durante los años 60, fue la etapa de la liberalización económica y de los planes de desarrollo, y se prolonga hasta la crisis del petróleo, de 1973.

Este panorama, unido a los conocidos condicionantes políticos y económicos internos y exteriores, define el marco en el que la Ingeniería española ha desarrollado su actividad durante el siglo XX. Contribuyendo a la profunda transformación del país, con la capacidad y el esfuerzo que podrán Vds. apreciar para algunos de sus sectores y protagonistas en las restantes conferencias del Ciclo.

\* \* \* \* \*

Si quisieramos sintetizar en una persona los conocimientos científicos y técnicos y las demás aptitudes que más cumplidamente reflejan el concepto de la moderna Ingeniería, creo que no podríamos encontrar mejor representante que Don Estebán Terradas e Illa, cuyo centenario de su nacimiento se conmemora precisamente este año.

Dotado generosamente por la Providencia con facultades intelectuales verdaderamente excepcionales, usó siempre noblemente de ellas, quemándolas al servicio de la Ciencia y de la Técnica, en una entrega sin reposo, desde su más temprana juventud hasta el día de su muerte prematura, ocurrida en Madrid en 1950.

Tiene poca justificación, me parece, que no se haya publicado todavía, a los 30 años de su muerte, la biografía de una personalidad tan ilustre, cuya vida y obra ejemplares merecen ser conocidas por todos.

Ello nos obliga, para evocar su memoria, a recurrir a los textos parciales, aunque probablemente más emotivos, que se han ido publicando con ocasión de efemérides como

los actos de recepción en Academias o Sesiones de homenaje, y al testimonio del recuerdo siempre vivo, de quienes tuvimos el privilegio de recibir sus enseñanzas o de colaborar modestamente en sus tareas.

Las cuales reflejan una personalidad tan fuera de lo común, que inducirían a sospechar de una mitificación desmesurada, a no ser por la existencia de testimonios objetivos de todo lo contrario.

Bastarán algunas anécdotas, entre las muchas que podrían espigarse, para confirmarlo.

El matemático Don Julio Rey Pastor, excelente amigo suyo, pero persona dotada de agudo sentido crítico y poco dada al alago, cuya actitud en la investigación científica tampoco coincidía plenamente con la del Profesor Terradas, nos cuenta que cuando Alberto Einstein visitó la Argentina procedente de España, le preguntó qué había encontrado de notable en nuestra patria. A lo que el creador de la Física Relativista contestó literalmente y sin vacilar: "he descubierto un hombre extraordinario: Terradas".

De quien sigue diciendo Rey Pastor, con la animada prosa de su estilo, al compararlo con los más prestigiosos sabios que conocía bien de otros países: "Nunca encontré en país alguno a nadie, absolutamente a nadie, que reuniese tantas cualidades excelsas como Terradas: Investigador profundo cuando lo quiso, expositor excelente y metódico de las más difíciles teorías, orador galano cuando la ocasión se presentaba; escritor siempre castizo y elegante; sensible como nadie a la belleza artística, y conocedor erudito de la historia de todas las

Bellas Artes, de la Historia Universal y de la Historia patria; ingeniero creador y a la par ejecutivo director y minucioso administrador de grandes empresas de progreso público"

Fue precisamente con ocasión de uno de sus proyectos de ingeniería para Cataluña, el de la Red de ferrocarriles secundarios que desarrolló en 1918, cuando, por imperativos legales de titulación, que hubiera podido subsanar muy fácilmente con fórmulas más expeditivas decidió obtener el título de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, lo que consiguió, con un esfuerzo que se ha hecho legendario, en dos convocatorias, entre Junio y Septiembre, en las que rindió los exámenes de todas las materias de la carrera y recibió las más altas calificaciones; sin interrumpir por ello, naturalmente, la continuación de los trabajos del proyecto que había motivado esta decisión.

Hazaña de la que es un antecedente remoto la forma en que cursó el bachillerato y la reválida, en su Barcelona natal, en dos cursos, a la edad de 14 años, en las que obtuvo también las más altas calificaciones.

A los 22 años, cuando ya era ingeniero industrial, se doctoró simultáneamente en Madrid, en Ciencias Físicas y Matemáticas, rindiendo los dos exámenes de tesis por los que recibió sendos premios extraordinarios.

La tesis de Física versó sobre el "equilibrio de hilos", tema que investigó con predilección durante aquellos primeros años de su fecunda carrera, y cuyos resultados han quedado definitivamente incorporados a la Teoría correspondiente.

Por todo esto y por el extenso conocimiento que acreditaba sobre las más diversas materias, aunque nunca alardeó de lo que para él resultaba natural, no es extraño que Rey Pastor, con el cáustico humor de que sabía hacer gala en ocasiones, calificase de "incómoda" para muchos de sus colegas la presencia de una personalidad tan singular en el magro ambiente intelectual de la época.

El Padre Don Enrique de Rafael Verhulst, entrañable compañero suyo desde los tiempos en que compartieron la habitación de una pensión madrileña cuando cursaban juntos los estudios de Física en la Universidad Central, en una sesión necrológica a la muerte de su gran amigo, nos relata algunas de las anécdotas de aquella vida de estudiantes, que ilustran la autodisciplina y ferrea voluntad con que Don Esteban se entregaba a la dura misión de aprender que, en una forma u otra, habría de proseguir toda su vida.

Y sus antiguos discípulos, como el Académico y Profesor de Matemática Don Sixto Ríos, nos han explicado el impacto que producían entre ellos los métodos docentes tan poco convencionales como todo lo suyo que empleaba en la más querida de sus actividades: la cátedra; y la adhesión que ello provocaba entre sus discípulos, una vez superadas las dificultades iniciales que suscitaba la sorpresa.

Su gran capacidad intelectual, la insaciable curiosidad científica que le animaba y su perfecto dominio de los idiomas cultos, le permitieron conocer sobre la marcha los más recientes descubrimientos y teorías científicas, convirtiéndole en el adelantado español de los desarrollos de la nueva Física, que introdujo en nuestro país a través de cursos y publicaciones sobre las más diversas materias.

Mantuvo relaciones constantes con los Centros Académicos más avanzados, entre los que gozó de un enorme prestigio que puso siempre al servicio de la patria, especialmente en momentos de injusto aislamiento internacional, a la terminación de la Guerra Mundial.

Prestigio internacional del que se sirvió para traer a España a relevantes científicos de otros países, cuando ni el mundo de la Ciencia se vió libre de las presiones políticas para aislarnos, que muy pocos años después quedarían totalmente superadas.

Marañón, que en la contestación al ingreso de Terradas en la Real Academia Española lo define certera y concisamente como "hombre sabio y eficaz", nos habla también de esa labor patriótica allende las fronteras que comenta en los términos siguientes: "Donde quiera que ha estado ha llenado de honor a su ciencia y a su Patria". Y añade, refiriéndose a la creación de la Organización Internacional de Aviación Civil: "En la conferencia de Chicago, en días difíciles para España, él, que es políglota, consiguió, con esa fina diplomacia que no siempre poseen los diplomáticos, incorporar el castellano como lengua oficial".

La vida de Don Esteban Terradas transcurrió entre su amada Barcelona, donde residió hasta 1925, excepto en la etapa madrileña que ya hemos comentado, y la Capital. Con frecuentes visitas al extranjero para atender a numerosos compromisos científicos y a los requerimientos de quienes recababan su colaboración y magisterio más allá de nuestras fronteras.

Fue Argentina el país donde el Profesor Terradas permaneció más tiempo fuera de España, en dos ocasiones distintas. La primera, en 1927, de tres meses de duración, para ocupar la Cátedra de la Institución Cultural Española. La segunda, de 4 años, en momentos trágicos para nuestro país y para el mundo, atraído allí por Rey Pastor, y llamado por el Instituto Astronómico de la Plata, para dictar lecciones de Mecánica Celeste a los alumnos del doctorado en Astronomía y para efectuar trabajos de investigación en el Observatorio.

Entre ellos, destaca su colaboración para medir con precisión un extenso arco de meridiano, que le condujo a minuciosos estudios y observaciones sobre las mareas en las costas argentinas, cuyo conocimiento era esencial para el propósito.

Recientemente, el Profesor Don Luis A. Santaló, presidente de la Academia Argentina de Ciencias y gran amigo de Don Estebán, nos ha descrito las incidencias de esta etapa de la vida de Terradas, que regresó a España en 1941, llamado por ese gran patriota que fue el General Vigón, a la sazón Ministro del Aire, para que presidiera el desarrollo del recién creado Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica que hoy lleva su nombre, misión que desempeñó con la entrega y el acierto habituales, hasta el día de su muerte.

La obra del Profesor Terradas se proyecta en la triple dimensión de la Ciencia, la Enseñanza y la Ingeniería, cuyas actividades supo simultanear y combinar en un esfuerzo de síntesis al que me he referido al comienzo.

Como científico, contribuyó al progreso del conocimiento con sus investigaciones originales y se impuso la titánica tarea de incorporar a la cultura española los más recientes de-

sarrollo de las Matemáticas, de la Física y de muchas Ciencias Aplicadas.

Como hace observar Rey Pastor, sus conferencias son auténticos tratados, en los que procura siempre agotar el tema. Este propósito ambicioso a veces le impidió terminar el trabajo, como ocurrió con su célebre discurso del Centenario de la Academia de Ciencias, que versó sobre "Las Ciencias y las Armas". De haberlo completado, de acuerdo con el plan que se proponía y anunció, hubiera sido un tratado completo de Tecnología Militar, de interés evidente, tan sólo a 4 años del final de la Guerra Mundial.

Como profesor: su tarea predilecta, enseñó siempre, en todas partes, a todos los niveles y sobre todas las cuestiones haciéndolo con la ejemplaridad y el acierto que ya hemos comentado.

Como ingeniero proyectó y dirigió desde su juventud proyectos de gran complejidad, a cuyo desarrollo incorporó las innovaciones que le sugerían sus bastos conocimientos científicos y técnicos, sin eludir las dificultades que ello pudieran conllevar.

En 1915, desarrolló el proyecto de la Red telefónica de Cataluña, modelo en su momento, que confirma lo que acabamos de decir y que le valió, en 1927, la Dirección de la Compañía Telefónica para extender a toda la nación su solución catalana.

Podrían citarse otros muchos ejemplos, pero no hay tiempo para ello por lo que remito a Vds. a las referencias adjuntas, en espera de la biografía que nos permita conocerlo de modo más completo.

El, que nunca tomó parte activa en la política, fue víctima de sus atropellos, en años de encono que no deben repetirse y en ámbitos a los que nunca debería llegar. Pero superó las adversidades sin rencor y con grandeza de espíritu, prosiguiendo imperturbable el camino de Servicio a la Ciencia y a la Técnica que se había trazado, para ejemplo y reconocimiento de todos.

REFERENCIAS

- 1.- J. Ortega y Gasset: Meditación de la Técnica.  
Revista de Occidente en Alianza Editorial. Madrid, 1982.
- 2.- D. Dickson: Tecnología Alternativa.  
H. Blume Ediciones. Madrid, 1978.
- 3.- L. Winner: Autonomous Technology.  
The MIT Press. Cambridge, Mass. 1981.
- 4.- I. Bernard Cohen: La Revolución newtoniana y la transformación de las ideas Científicas.  
Alianza Universidad, Nº 360. Madrid, 1983.
- 5.- Giorgio Mori: La Revolución Industrial.  
Editorial Crítica. Barcelona, 1983.
- 6.- Real Academia de Ciencias: Homenaje al Exmo. Sr. Don José María Otero de Navascues. Madrid, 1983.
- 7.- Varios Autores: 75 Aniversario del Instituto de la Ingeniería de España. Madrid, 1980.
- 8.- A. Rumeu de Armas: Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada.  
Ediciones Turner. Madrid, 1980.
- 9.- A. Rumeu de Armas: Origen y Fundación del Museo del Prado.  
Instituto de España. Madrid, 1980.
- 10.- Instituto de Ingenieros Civiles: Breve Historia de la Ingeniería Española.  
Editorial Dossat, S.A. Madrid, 1950.

- 11.- P. O'Dogherty: La Ciencia Naval en el Siglo XVIII.  
Ingeniería Naval. Agosto 1973.
- 12.- Varios Autores: El Buque en la Armada Española.  
Ediciones Silex. Madrid, 1981.
- 13.- La Ingeniería y la Consultoría en España.  
ASEINCO. Madrid, 1983.
- 14.- T.I. Williams: A Short History of Twentieth-Century  
Technology.  
Clarendon Press. Oxford. 1982.
- 15.- J. Vicens Vives: Historia Económica de España.  
Editorial Vicens Vives. Barcelona, 1981.
- 16.- E. Terradas y J. Rey Pastor: Discurso de Recepción y  
Contestación.  
Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.  
Madrid, 1933.
- 17.- E. Terradas y G. Marañón: Neologismos, Arcaísmos y Sinóni-  
mos en Plática de Ingenieros y Contestación.  
Real Academia Española. Madrid, 1946.
- 18.- Discursos de la Sesión necrológica: Esteban Terradas.  
Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.  
Madrid, 1951.
- 19.- Sesión de Conmemoración del Centenario.  
Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.  
Madrid, 1983.



LA INGENIERIA AGRONOMICA: MIGUEL ODRIOZOLA

por Enrique Sánchez-Monge

La Ingeniería Agronómica abarca un amplio espectro de tecnologías que creo que están bien clasificadas en las cinco especialidades que forman el actual plan de enseñanza en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid y que son: Fitotecnia, Zootecnia, Industrias Agrícolas, Ingeniería Rural y Economía Agrícola.

Pretender dar una visión de las realizaciones de la Ingeniería Agronómica Española en este siglo, en estos cinco campos, y en una conferencia de duración tolerable es tarea, si no imposible, al menos excesivamente difícil para mi capacidad de síntesis.

Por ello voy a restringir mi exposición a un área que seguramente es la menos ingenieril, valga la palabra, dentro de la Ingeniería Agronómica. Me refiero al área de la Fitotecnia y de la Zootecnia, y especialmente a la primera de estas dos, reservando mi referencia a la Zootecnia para la exposición de la labor de Miguel Odriozola.

En líneas generales y como primer dato, puede estimarse el aumento de la tecnología agronómica en lo que va de siglo utilizando como índice el número de Ingenieros Agrónomos en relación con el número de agricultores. Este índice es de 1 por 10.000 en 1917, 1,2 en 1955 y 16,7 en 1980. La cifra resulta seguramente exagerada por la disminución del número de agricultores que ha sido desde uno por cada cinco habitantes en 1919 a uno por cada quince en 1980.

Intentaré destacar la contribución de la Ingeniería Agronómica al incremento de la producción agraria, incremento que puede conseguirse a través de:

- Aumento de la superficie cultivada
- Modificación de la capacidad productiva de la tierra
- Redistribución de la tierra
- Ordenación de las áreas de cultivo
- Conservación del suelo
- Mejora Genética de las plantas
- Introducción de nuevos cultivos
- Lucha contra enfermedades y plagas
- Abonado
- Mejora de prácticas culturales
- Mecanización
- Formación de agricultores.

Me referiré después brevemente a los aspectos de Investigación y Enseñanza.

De los doce puntos enumerados, y siempre dentro de la brevedad, insistiré en los más fitotécnicos, limitándome a dar algunos datos de los más ingenieriles.

Dentro de la modificación de la capacidad productiva de la tierra es la implantación de nuevos regadíos la obra de mayor interés y rendimiento, dada la escasa y anómala distribución de la pluviometría en muchas regiones españolas. La labor del Instituto Nacional de Colonización y posteriormente la del IRYDA afecta a más del millón de hectáreas, sea en sus actuaciones sobre las zonas reglables del Plan Nacional de Obras Hidráulicas, sea en los propios regadíos de los Institutos, o en las

marismas y terrenos pantanosos, sin olvidar las mejoras en los regadíos ya existentes y en los secanos no regables.

En la redistribución de la tierra, las actuaciones más importantes son las de la Reforma Agraria y la Concentración Parcelaria. Dejando a un lado la Reforma Agraria con su importante componente político, los trabajos de Concentración Parcelaria, encomendados actualmente al Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) se iniciaron en 1952 con el fin de asegurar un coto redondo a cada propietario, aumentar el tamaño de las parcelas para hacer más económico su cultivo y dar accesos y comunicación a las nuevas parcelas. Pues bien, para 1981 se había solicitado la concentración de millón y medio de Ha., estaban en marcha los trabajos en otras 900.000 y se habían finalizado en 5.200.000 Ha., lo que supone una intervención total en siete millones y medio de Ha. Las obras finalizadas afectaron a un millón de propietarios con quince millones de parcelas en dos millones de fincas.

Paso importante para la ordenación de las áreas de cultivo ha sido y es, porque todavía no se ha concluido, la confección de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos por parte de nuestro Ministerio de Agricultura.

En estos estudios se confeccionan mapas de evaluación de recursos agrarios por zonas reducidas, dando las descripciones de las clases agrológicas y las distribuciones de los distintos cultivos y aprovechamientos. Se han publicado ya los de 279 regiones de 27 provincias.

La conservación de suelos, encomendada actualmente al ICONA, es tarea de primaria importancia en muchas regiones españolas en donde la erosión, ayudada por prácticas erróneas

de laboreo, está produciendo importantes pérdidas de suelo agrícola. Dispongo únicamente del dato de que en 1982 se han defendido los suelos de algo más de 10.000 Ha.

La Mejora Genética Vegetal es probablemente la tarea de mayor rendimiento, por peseta invertida, para los incrementos de productividad y calidad de las cosechas.

En este tipo de trabajos se han distinguido Centros del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros Agrónomos, algunas Diputaciones Provinciales y unas pocas empresas privadas. Creo que merece la pena citar algunos ejemplos.

El trigo "Aragón 03", obtenido por el Ingeniero Agrónomo D. Manuel Gadea en la granja de Almudevar, por selección en una población de "Catalán de Monte", todavía se cultiva en nuestros secanos y es uno de esos casos en los que el cociente del beneficio obtenido al coste de producción se acerca a infinito.

Las cebadas "Almunia" y "Albacete" fueron obtenidas en la Estación Experimental de Aula Dei del CSIC en Zaragoza. La segunda de ellas es la de mayor estabilidad de producción y mayor difusión en los secanos españoles. Cálculos hechos hace pocos años dan una estimación, por bajo, de una cifra de 18.000 millones de pesetas para el valor de los aumentos de producción debidos a la cebada "Albacete".

El centeno "Gigantón" es un tetraploide que fue obtenido, también en Aula Dei, por duplicación del número de cromosomas, mediante tratamiento con colchicina y posterior selección para fertilidad floral y tamaño de grano.

Las avenas "Cartuja" y "Previsión", los maíces híbridos AD, los dactilos ADAC, las vezas ADEZA y las remolachas ADA son todas ellas obtenciones asimismo de Aula Dei.

Las nuevas variedades de arroz obtenidas por el INIA en su Centro de Levante, han supuesto incrementos en cantidad y calidad en una cosecha en donde los aumentos de productividad son difíciles, ya que habíamos alcanzado en España unos niveles de producción por Ha. que fueron los máximos mundiales durante muchos años. Las variedades españolas cubren más del 80% de nuestra superficie arroceras y se han extendido a otros países, especialmente Italia.

Otro interesante caso ha sido el de la mejora del pimiento para la obtención de pimentón, encomendada al INIA por la empresa privada. Los problemas que se han resuelto, al menos parcialmente, han sido los de homogeneización de variedades, imprescindible para las fábricas, aumento de la productividad y aumento de la intensidad del color rojo.

Recientemente hemos obtenido en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid y están en vías de patente y comercialización, dos nuevas variedades de trigo mediante cruzamientos complejos entre una variedad española, la Pané 247, una variedad de gran calidad, la Ariana 8, y una variedad de talle baja y precoz, la mejicana Sietecerros. Las dos nuevas variedades bautizadas con los nombres "Diego" y "Perico", son precoces, de talle baja, muy productivas, tolerantes a la roya amarilla y de excelente calidad harino-pañadera.

Punto importante para el estímulo de los trabajos de mejora genética vegetal y para garantizar a los agricultores el acceso a las nuevas obtenciones, ha sido la labor del Instituto

Nacional de Semillas y Plantas de Vivero, que se rige actualmente por dos leyes importantes, la Ley de Semillas y Plantas de Vivero de 1971 y la Ley de Protección de Obtenciones Vegetales de 1975.

Gracias a la labor de este Instituto se puede llevar seriamente la comercialización de semillas, siendo las etiquetas de certificación una garantía para el agricultor acerca de la pureza, sanidad y germinabilidad de las semillas. El Instituto controla actualmente más de 120.000 Ha. dedicadas a la producción de semilla, la cual alcanza las 270.000 Toneladas anuales.

También funciona en el Instituto de Semillas y Plantas de Vivero un Registro de Obtenciones Vegetales con tres secciones: la de Variedades Protegidas, que asegura a los obtentores sus derechos, la de Variedades Comerciales, que son las que el Instituto puede certificar y la de Variedades Recomendadas que son las comerciales que, después de ensayos controlados, se consideran las mejores para una zona determinada.

La Ingeniería Agronómica ha tenido también un importante papel en la introducción de nuevos cultivos. Mencionaré únicamente la remolacha azucarera, el tabaco, el algodón, la soja, el girasol y el Triticale.

La remolacha azucarera se introdujo a principios de siglo en el Valle del Ebro, gracias a los trabajos de los Ingenieros Agrónomos Rodríguez Ayuso y Otero en la que entonces se llamaba Granja Agrícola de Zaragoza. Hubo que solucionar múltiples problemas, empezando por el de los ensayos de adaptación de variedades que procedían todas del extranjero. Sólo en los años 40 empieza la producción en gran escala de semilla en España, llegándose incluso a exportar semilla. Los años 50 vienen

marcados por la introducción del carácter monogermen, que permite siembras mecanizadas y de precisión, por la aplicación de la poliploidía, técnica en la que la Estación de Aula Dei jugó un importante papel bajo la dirección del Ingeniero Agrónomo Antonio Silván, y por la introducción de resistencias a dos importantes enfermedades, la cercosporiosis y el virus de la amarillez.

Otro problema importante fue el de la extensión del cultivo de la remolacha al valle del Duero y al Sur de España, zona esta última en la que la siembra otoñal, tanto para el secano como para el regadío exigió la solución genética de la resistencia al espigado, alteración que aparecía en unas variedades que estaban adaptadas a zonas más septentrionales y con diferente fotoperíodo.

El cultivo del tabaco comenzó a ensayarse en España justo a principio de este siglo, pero no se reconoció su importancia hasta después de la primera guerra europea, comenzando realmente a extenderse en 1921 cuando se creó el Servicio de Ensayos del Cultivo del Tabaco. En 1944 se creó el Servicio de Cultivo y Fermentación del Tabaco y en 1945 el Instituto de Biología del Tabaco, incorporado al INIA. Notables agrónomos, entre los que destacaría el nombre de Enrique Alcaraz, ayudaron a resolver los problemas de variedades, no sólo con la utilización de variedades extranjeras, sino con la creación de variedades propias, y estudiaron todo el proceso de cultivo: suelos, abonado, cultivo bajo gasa, sistemas de recolección, tratamientos fitoterapéuticos y fermentación.

El algodón ha sido en diversas ocasiones un "cultivo problema" y ha sufrido grandes oscilaciones en su área de cultivo. En los últimos años la superficie cultivada ha osci-

lado entre 40.000 y 122.000 Ha., pero en la campaña 1962-63 se llegaron a cultivar 346.000 Ha. que produjeron medio millón de balas.

Aunque las primeras expansiones del cultivo algodonero fueron consecuencia de la primera guerra europea y de la escasez de materia prima que padecían los industriales catalanes, fue después de nuestra guerra civil y del aislamiento internacional de España cuando se intensificó este cultivo. Es de destacar la labor del Instituto de Fibras Textiles, creado en 1940, y un nombre, el del Ingeniero Agrónomo Luis Liró, que tanto contribuyeron a resolver los problemas varietales, fitopatológicos y culturales que inevitablemente se presentaron.

De la introducción del cultivo de la soja, todavía no resuelta en su totalidad, además de la resolución de problemas varietales y culturales ha sido muy importante la labor de la Ingeniería Agronómica sobre la inoculación de la semilla con bacterias fijadoras de nitrógeno. Al igual que en otras leguminosas, las raíces de la soja se asocian con microorganismos del género Rhizobium en una simbiosis que resulta favorable para la nutrición nitrogenada de la planta, hasta tal punto que son más productivos los cultivos en los que se produce esta asociación que los cultivos abonados con nitrógeno mineral. Pues bien, los inoculantes comerciales no ofrecían buenos resultados y en el INIA se emprendió un trabajo de selección de estirpes del Rhizobium y de fabricación de inóculo, instalándose con éxito una pequeña factoría en Sevilla.

El girasol es una planta que ha pasado rápidamente de ser un cultivo esporádico para la producción de "pipas" para

consumo humano a ser la planta oleaginosa de mayor importancia para España. Iniciada la expansión de cultivo en 1964 con 13.000 Ha., se alcanzaron las 663.000 en 1975 y este año debemos superar las 800.000. A la resolución de los problemas que siempre lleva consigo la introducción de un nuevo cultivo contribuyeron eficazmente los Agrónomos del INIA de los Centros de Andalucía y los equipos de investigadores de la E.T.S.I.A. de Córdoba. Gran parte del material que se cultiva ahora en España procede de selecciones realizadas en dos variedades rusas de polinización libre, la "Peredowik" y la "Smena", que poseían cuando se importaron suficiente variabilidad genética como para permitir distintos procesos de mejora por selección.

Más que una introducción el Triticale es, al menos en parte, creación española. Es el Triticale un nuevo cereal que se obtiene mediante duplicación artificial del número de cromosomas en los híbridos estériles obtenidos cruzando el trigo con el centeno. El punto de partida del interés mundial por esta planta que, justo es confesarlo, ha adquirido mayor difusión fuera que dentro de España, fue una comunicación española al Congreso de Genética del Trigo que tuvo lugar en Winnipeg, Canadá, en 1958. En esta comunicación se destacaba el interés del nuevo cereal que, en competencia con el trigo, puede ser cultivado en los secanos proporcionando un grano de mejor composición que otros cereales para la fabricación de piensos, por su contenido proteico y la composición de su proteína.

En el campo de la lucha contra enfermedades y plagas son muchos los éxitos conseguidos, desde la introducción de patrones resistentes a la filoxera de la vid, con la mítica figura del Ingeniero Agrónomo García de los Salmones, recorriendo los viñedos para aconsejar en cada caso, según las características del suelo, el patrón apropiado.

El cultivo de la caña de azúcar en la zona de Málaga se salvó de la desaparición por los ataques virales gracias a la introducción de las variedades de caña POJ cuya resistencia al virus del mosaico procedía de cruzamientos con cañas silvestres, especialmente Saccharum spontaneum.

No se puede hablar de lucha contra enfermedades y plagas en España sin mencionar al Académico, Profesor e Ingeniero Agrónomo Don Miguel Benlloch, recientemente desaparecido y cuya memoria honraremos dentro de pocos días con una sesión científica en la Academia de Ciencias.

Don Miguel Benlloch era el maestro a que se acudía, incluso después de su jubilación, en los casos difíciles de diagnóstico, pues su ojo clínico era prácticamente infalible. El fue el que formó el Inventario Fitopatológico Nacional y creó un servicio de consultas que ya ha sobrepasado con creces la cifra de las 10.000.

Entre los buenos resultados obtenidos en la lucha fitopatológica solamente voy a mencionar, por su novedad, el control genético de la mosca de las frutas, Ceratitis capitata, y la obtención de plantas de agrios libres de virus.

El fundamento de la lucha biológica contra la mosca de las frutas es la esterilización, mediante irradiación, de grandes masas de insectos machos que se sueltan en las zonas afectadas, en número diez veces mayor que el de la población de machos libres. Estos machos irradiados son capaces de copular con las hembras libres pero su semen es portador de mutaciones letales y cambios estructurales de los cromosomas por efecto de la irradiación y los huevos que se producen no eclosionan.

El INIA resolvió el problema de la cría masiva del insecto para la obtención de dos millones y medio de moscas por día, que se esterilizan en bomba de cobalto y se sueltan en zonas invadidas por la plaga.

Como ejemplo de los resultados puede citarse el caso de una zona de Málaga de unas 50 Ha. de melocotoneros en la que una cosecha de 250.000 kg. de fruta solamente se detectaron tres picaduras de la mosca, tras el tratamiento.

El problema de las virosis de los agrios es de enorme importancia ya que se ha podido comprobar que el 100% de nuestros árboles estaban afectados con virus, lo que produce descensos en la producción de entre el 10 y el 20%. Entre estos virus hizo su aparición en España el de la "tristeza" a partir de 1958.

Una manera de obtener plantas libres de virus consiste en cultivar embriones nucleares, con el inconveniente de que las plantas obtenidas tienen caracteres juveniles, que no desaparecen hasta los 10 o 15 años de edad y que los hacen impropios para su comercialización.

En el INIA y bajo la dirección del Ingeniero Agrónomo Luis Navarro se ha puesto a punto la técnica de "Microinjerto de ápices caulinares in vitro" con la que se obtienen plantas libres de virus sin caracteres juveniles. La técnica se ha extendido a muchos países citrícolas y está basada en que los tejidos meristemáticos jóvenes están libres de la invasión viral en las plantas infectadas.

La formación de agricultores cuenta con dos importantes apoyos, las Escuelas de Capataces y el Servicio de Extensión

Agraria. En las 30 Escuelas de Capacitación se forman Capataces agrícolas, ganaderos, forestales, mecánico-agrícolas, de plagas, bodegueros y vitivinicultores y de industrias agrícolas.

El Servicio de Extensión Agraria, en cuya creación y perfeccionamiento actuaron sobre todo los Ingenieros Agrónomos Gómez Ayau y García Gutiérrez alcanzó a partir de 1962 un importante papel que siguen desempeñando las agencias actuales cuyo número supera las 700. Recibido en principio con cierta reticencia el agente de extensión se ha conseguido que en la actualidad muchos agricultores busquen y confíen en su asesoramiento, quizá más que en la aceptación primaria de innovaciones, en la profundización del aprendizaje de las mismas en cuestiones de variedades, abonado, prácticas culturales, tratamientos fitopatológicos, y otros.

La Enseñanza de la Técnica Agronómica a nivel superior se imparte actualmente en cuatro Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros Agrónomos localizados en Madrid, Córdoba, Valencia y Lérida. La calidad de la enseñanza y la dedicación a la Investigación del profesorado han mejorado de modo muy notable y la división en especialidades, ya mencionadas, me parece un acierto porque no se llega a esa superespecialización que se encuentra en los países desarrollados en los que, como se ha dicho algunas veces, a fuerza de querer saber más acerca de menos cosas, se puede llegar a saber todo acerca de nada.

Hay un síntoma, para mí muy satisfactorio, de que la calidad de nuestra enseñanza es mejor de lo que algunos podrían pensar. Pronto celebraré mis bodas de plata con la cátedra de Genética y Mejora de Plantas de la E.T.S.I.A. de Madrid y he podido seguir los pasos a muchos de nuestros becarios que han salido a otros países a perfeccionar su formación. Pues bien, invariable-

mente estos becarios han hecho un magnífico papel frente a los de otras procedencias y han comprobado que en conocimientos básicos eran casi siempre superiores a sus compañeros de otras nacionalidades.

No quisiera terminar esta primera parte, la más larga, no temas, de mi intervención, sin mencionar la Investigación Agraria. En un país que alcanza su estabilidad política el éxito de los programas de investigación en general y de la agraria en particular depende de:

- Infraestructura adecuada
- Personal cualificado
- Planificación racional
- Financiación para funcionamiento
- Realización con continuidad
- Difusión de los resultados

En el capítulo de infraestructura, estamos medianamente bien dotados, ya que suele ocurrir que sea más fácil conseguir créditos oficiales para edificaciones e instalaciones que para su funcionamiento.

Personal cualificado lo tenemos, así, llanamente, sin triunfalismos, y titulados Ingenieros Agrónomos y de Montes, veterinarios, biólogos, químicos, matemáticos y farmacéuticos se han formado para conseguir resultados en investigación agraria a poco que se les facilite la labor en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en las Universidades o en empresas privadas.



La planificación nos ha fallado en muchas ocasiones, unas veces por falta de coordinación entre distintas agencias, otras por motivos políticos y otras por un exceso de burocratización que, como afirma Borlaugh, premio Nobel de la Paz y artífice de la Revolución Verde, está ahogando la investigación en muchos países. Creo que la planificación debe hacerse por el Ministerio de Agricultura con intervención de los propios agricultores, que propondrían que se les resuelvan problemas, y por parte de un personal poco burocratizado y debidamente asesorado por los propios directores de investigación que nunca deben ser nombrados por razones políticas, sino por su capacidad.

El mayor fallo de la investigación está en la financiación, ya que todo programa necesita de un nivel mínimo de fondos para que sea rentable, por debajo del cual es ineficaz, y hay que confesar que los presupuestos para investigación son escasísimos en nuestro país. Una de las razones es quizá la larga duración que tienen muchos programas de investigación agraria, lo que hace que el político que distribuye unos fondos limitados prefiera, y ello es muy humano, emplearlos en actividades que den fruto durante la duración de su mandato político.

La continuidad de los programas se ha visto frecuentemente afectada por cambios bruscos en las directrices, verdaderos bandazos, debidos muchas veces a los cambios, demasiado frecuentes, de los grandes directores de la investigación.

Por último la adecuada difusión de los resultados ha de conseguirse facilitando la explotación de patentes y obteniones vegetales y haciendo recaer los beneficios en los centros que las han creado. Las publicaciones, en su doble vertiente de puramente científicas y de divulgación, ya han alcanzado

en muchas ocasiones niveles satisfactorios de calidad. Por otra parte el hecho de que la Extensión Agraria está bajo la misma dirección que la investigación del INIA ha de facilitar la difusión de innovaciones a través de un Servicio creado con esa finalidad.

\* \* \* \* \*

Y hora es ya de que dediquemos unos minutos a la figura de Miguel Odriozola Pietas, Ingeniero Agrónomo e investigador en el campo de la zootecnia y, ocasionalmente, en el de la Mejora Genética Vegetal.

Nacido en Vitoria el 10 de diciembre de 1903, terminó su carrera de Ingeniero Agrónomo y se licenció en Derecho en el año 1928.

Comenzó su formación de postgraduado, pensionado por la Misión Biológica de Galicia, en la School of Agriculture de Cambridge en 1929, especializándose en alimentación animal. A finales de 1929 pasó al Rowett Research Institute donde estudió Bioquímica y Metabolismo animal, enfocado este último sobre todo al ganado porcino. En los años 1930 y 1931 volvió a la School of Agricultura de Cambridge y trabajó allí en el Departamento de Calorimetría.

La segunda etapa de su especialización, de 1931 a 1933 tuvo lugar en Alemania en el Institut für Fütterungstechnik de Tachechnitz y en el Tyerphysiologisches Institut de la Landwirtschaftliche Hochschule de Berlín, estudiando calorimetría, digestibilidad y nutrición mineral.

Su trabajo en España comenzó en 1933 en la Misión Biológica de Galicia, no sin realizar en la región levantina un estudio, importante no sólo desde el punto de vista científico, sino por sus repercusiones económicas, sobre "El maíz, la cebada y el arroz en el cebo de cerdos".

Comenzó entonces uno de sus trabajos más importantes, el de la piara cerrada de la raza Large White que estableció en la Misión con la idea de proveer de reproductores Large White a Galicia y, en la medida posible, a toda España, aprovechando el material para un profundo estudio sobre las consecuencias de la consanguinidad a largo plazo, para lo cual había que "cerrar" la piara a toda entrada de reproductores. Para ello se encargó en 1931, y personalmente, de elegir el material de partida, y los que tuvimos la suerte de conocerle y verle trabajar, sabemos de la minuciosidad con que haría la selección de sus reproductores. Odriozola trató de que el lote inicial fuera lo más heterogéneo posible y de que en él estuvieran representadas las diversas tendencias dentro de la raza. El lote inicial estuvo formado por dos verracos y cuatro cerdas, de los que una murió sin descendencia. Se completó el grupo de reproductores entre 1934 y 1937 con dos verracos y una cerda, que según estudios del propio Odriozola completaban el conjunto de tendencias dentro de la raza. A los ocho ejemplares se sumaron los tres verracos nacidos en Galicia de las tres cerdas primitivas, cerrándose la piara con estos once ejemplares.

En la actualidad el número de descendientes supera los 20.000, siendo esta piara consanguínea la segunda del mundo en antigüedad y sólo un año más moderna que la de cerdos "Poland China" de Iowa.

No abandonó Odriozola sus estudios sobre alimentación en ganado porcino, realizándolos en el cebadero de Porriño.

Desde 1943 dirigió, para el Instituto Nacional de Colonización el Centro de Cría de Cerdos Ibéricos de Oropesa, encargado de suministrar cerdos selectos a los colonos del Instituto. Personalmente seleccionó los lotes fundacionales, con su sempiterna minuciosidad, en España y en Portugal, y dirigió el programa de mejora genética. Algunos de los resultados obtenidos han sido publicados por el actual IRYDA en el libro "Investigaciones sobre los datos acumulados en dos piaras experimentales".

Un interés excepcional tenía Odriozola por el ganado caballar y, especialmente, por los caballos de carreras, y son muy numerosos los artículos que publicó sobre el tema, tanto en la prensa deportiva como en publicaciones científicas.

Inició en 1946 un intensivo estudio de la herencia del color en el caballo y fue testigo del interés con que se siguió su exposición sobre novedades en la genética de este carácter, que hizo en el Congreso de Genética de Estocolmo de 1948. En 1951 publicó el libro titulado "A los colores del caballo" que se considera como la obra más completa sobre el tema hasta la fecha de su publicación. El libro está agotadísimo y merecería la pena su reedición.

A partir de 1948 y sin abandonar sus estudios sobre la piara cerrada de la Misión Biológica, pasó a dirigir el Centro del INIA de la Cuenca alta del Ebro con sede en Vitoria. En este Centro consiguió formar una de las mejores vacadas nacionales de la raza Parda Alpina y dió nuevo impulso a los progra-

mas de mejora genética de la patata y de producción de patata de siembra. Uno de sus artículos de esta época, cuyo título en español sería "La resistencia a los virus como problema genético" nos demuestra que también sus conocimientos de genética vegetal eran muy amplios y profundos.

También se interesó Odriozola en los años 50 por el carácter "bravura" del toro de lidia y estudió sobre el terreno el tema en diversas ganaderías andaluzas. Esto le sirvió de base para una comunicación que presentó en el Congreso de Genética que tuvo lugar en Bellagio, Italia y que tituló "Consanguinidad y grado de bravura en dos vacadas españolas". La novedad del tema y el prestigio internacional de que ya gozaba congregaron a numerosos especialistas para escucharle.

Su publicación "Guión selectivo del ganado vacuno español" obtuvo el primer premio del concurso de monografías sobre tema ganadero convocado con motivo del Centenario del Cuerpo de Ingenieros Agrónomos.

También ganó el concurso público convocado por la Fundación Martín Escudero para la concesión de una Ayuda de Investigación sobre el tema del magro y la grasa en los cerdos ibéricos, realizando el trabajo con equipos del INIA y del INC.

Desde 1966 hasta su jubilación en 1973 fue Catedrático de la E.T.S.I.A. de Madrid impartiendo la asignatura de "Fisiogenética animal" y me atrevería a afirmar que fue uno de los pocos docentes capaces de explicar esta materia, ya que dominaba ampliamente tantos los aspectos fisiológicos, especialmente de la nutrición y reproducción, como los genéticos de la biología animal.

Hasta aquí hemos hablado del investigador y del profesor, pero ¿qué podríamos decir de Miguel Odriozola como persona?

Una de sus características más salientes fue su gran sentido de la responsabilidad que se traducía en una extremada honestidad y rigor en su trabajo, siendo por la misma razón exigente en el trabajo de sus colaboradores, a los que siempre trataba como un buen amigo. Tenía el genio vivo, pero era afable y además de ser, como hemos dicho, amigo de sus colaboradores, también fue un gran amigo para con sus amigos. Poseía una extensa cultura en literatura, historia, música y filosofía. Era original y a veces poco ortodoxo en sus opiniones y en la docencia, pero en este aspecto fue enormemente eficaz y capaz de despertar vocaciones científicas, tanto para la docencia como para la investigación, entre sus alumnos y colaboradores.

Dejó un hueco difícil de llenar cuando falleció en Madrid, a poco de su jubilación, el 28 de Noviembre de 1974.

BIBLIOGRAFIA

A.N.I.A.: Actas del Congreso Nacional de Ingeniería Agronómica. Madrid, 1950.

A.N.I.A.: Cuatro convocatorias del colectivo profesional. Madrid, 1982, 38 págs.

Ballesteros, E.: "Agricultura Española e Investigación Agrícola", en Cuadernos para el Diálogo, nº 27 (1971), págs. 70-75.

García Ferrando, M: La innovación tecnológica y su difusión en la Agricultura Española. Ministerio de Agricultura, Madrid, 1977, 300 págs.

IRYDA: Resumen de la situación de los trabajos de concentración. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, 1982, 180 págs.

Liró, L.: "El algodón en España", en Agricultura, nº 24 (1955), págs. 665-671.

Nosti, J.: "Semillas en España", en Agricultura, nº 47 (1978), págs. 530-534.

Sánchez Monge, E: "La obtención de nuevas variedades por organismos de investigación nacionales. Situación, posibilidades y perspectivas", en ITEA, vol. extra. nº 2 (1983), págs. 157-163.

Varios Autores: Un siglo de progreso agrícola 1855-1955. Publicaciones Centenario Carreras Ingeniero Agrónomo y Perito Agrícola. Madrid, 1950, 297 págs.

LA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION CIVIL: EDUARDO TORROJA

Por Carlos Benito Hernández

Dentro de este ciclo de conferencias dedicadas a mostrar el desarrollo de la ingeniería española en el presente siglo, me ha tocado presentar la parcela correspondiente a la Construcción Civil. Trabajo muy difícil por la gran extensión que comprende, por las numerosas obras realizadas en este campo y por la altísima calidad profesional y humana de los que han intervenido en su proyecto y realización. Conviene aclarar que dentro del epígrafe "Construcciones Civiles" hemos incluido las obras hidráulicas, las de puertos y las necesarias para crear la infraestructura de las carreteras y de los ferrocarriles.

Para desarrollar esta conferencia comenzaré por trazar una semblanza del estado en que se encontraban estas construcciones a principios de siglo, para pasar a continuación y en forma casi telegráfica, a destacar los momentos decisivos de su evolución, para terminar citando unas pocas obras, entre las más destacadas de las realizadas en España o fuera de España pero con tecnología española.

En primer lugar vamos a ocuparnos de las Obras Hidráulicas tomando como referencia los canales de conducción de agua para el abastecimiento de poblaciones o para el riego, y las presas de embalse, sin ocuparnos del uso del agua, que será objeto de otra de las conferencias programadas en este ciclo.

Nuestro país se ha caracterizado por la irregular distribución de las precipitaciones, no sólo entre sus diversas regiones sino en un mismo lugar, al transcurrir las sucesivas estaciones del año. La necesidad de almacenar el agua de lluvia para riego y para el abastecimiento de poblaciones, ha desarrollado de antiguo una técnica propia de construcción de presas de embalse y de canales de distribución, algunos muy antiguos e importantes, como el de Castilla, el Imperial de Aragón, el de Tauste y tantos otros que no citamos por falta de tiempo. A estos habría que añadir los de abastecimiento de poblaciones, como el de Isabel II en Madrid. Según el Inventario de Presas Españolas, en 1900 había en explotación 57 presas, la mayoría de mampostería y el resto, de tierra. Su altura estaba entre los 10 y 20 metros aunque una tercera parte superaba esta última cota y se alcanzaban los 50 metros en la Presa del Villar, en el río Lozoya y los 69 metros en la Presa de Puentes en el río Gudalentín. Algunas, además de atender al riego o al abastecimiento, servían para la producción de energía eléctrica. Conviene recordar que aunque la primera central eléctrica española, instalada en 1875, funcionaba con un motor de gas, en 1900, sólo 25 años más tarde, había 800 centrales en explotación, de las que más de 300, cerca del 40% utilizaban energía hidráulica.

Vamos ahora a describir esquemáticamente la situación de los puertos. A comienzos de 1900 y durante bastantes años, los puertos fueron los lazos de unión entre los transportes terrestres y marítimos: eran grandes estaciones de carga y descarga de mercancías y de tráfico de pasajeros. En la época actual, el concepto de los puertos ha cambiado. Como veremos, el desarrollo de cada puerto y de su zona de influencia ha pasado a jugar unas bazas muy importantes en la planificación indus-

trial del país. Si prescindimos de los puertos deportivos, que son de muy reciente creación, los actuales puertos comerciales ya estaban en funcionamiento al empezar este siglo y algunos con varios miles de años a sus espaldas. Muchos son anteriores a las ciudades que crecieron en su entorno. Algunos funcionaban en régimen de concesión a empresas mineras y otros dependían administrativamente de las Diputaciones. La importancia de sus instalaciones: diques de abrigo, muelles, astilleros, etc., era consecuencia directa del grado de desarrollo de la industria y del comercio locales. Había grandes diferencias entre unos puertos y otros, como también las hay ahora. En unos casos, los diques de abrigo, muchas veces maltratados por los temporales, dieron origen a unas dársenas de pocas hectáreas en las que se disponía de unas decenas de metros de muelles para el atraque de los barcos durante las operaciones de carga y descarga; en esos mismos años, el Puerto de Barcelona disponía de unos 5 kilómetros de muelles, de los que casi 4 kilómetros tenían 8 metros de calado, lo que era más que suficiente para las embarcaciones de la época.

Las carreteras a finales del siglo pasado eran unos caminos de tierra afirmada en algunas partes de mayor tráfico con piedra partida y apisonada, que servían para facilitar en su inmensa mayoría la circulación de vehículos de tracción animal. Las diligencias, las tartanas o las galeras eran arrastradas por caballos o con mayor frecuencia por mulas. El automóvil había ya aparecido en las carreteras españolas, aunque en número reducido, si bien su desarrollo en el extranjero estaba en completa evolución. En 1895 se había celebrado una carrera de automóviles con motor de explosión de París a Burdeos y regreso en la que se habían conseguido velocidades medias próximas a los 25 kilómetros por hora. Estas velocidades, que en aquella época

parecían de vértigo, fueron rápidamente superadas como consecuencia, por una parte, del perfeccionamiento de estos vehículos y por otra de las mejoras introducidas en el trazado de algunas carreteras. El automóvil, mecánicamente hablando, era capaz de alcanzar velocidades muy superiores. Cuando en 1899, en Achères, el automovilista Jenatzy llegó por primera vez a los 100 kilómetros por hora, la gente sensata se quedó espantada ante esta locura. En 1903 se celebró una carrera de velocidad con el recorrido París-Madrid y regreso. En esta ocasión se superaron los 110 kilómetros por hora pero debido al mal estado de las carreteras, que no estaban preparadas para rodar a tan altas velocidades, el Gobierno francés tuvo que suspender la prueba al llegar los participantes a Burdeos, debido al alto número de accidentes.

Volviendo al panorama español, las carreteras en 1900 podían agruparse fundamentalmente en dos categorías. Las de primer orden que enlazaban Madrid con las capitales de provincia y puntos importantes del litoral o de las fronteras, de las que había unos 7.000 kilómetros, y las de segundo orden, que servían para unir dos capitales de provincia o enlazar una estación de ferrocarril con una carretera de primer orden; su longitud superaba los 9.000 kilómetros. Además había otros caminos en los que la circulación era mucho menor (1). Para resumir de alguna manera sus características, vamos a fijarnos en su ancho, en los radios mínimos de las curvas y las pendientes máximas admitidas. Los radios solían ser superiores a los 8 metros y las pendientes máximas no superaban el 12%. La anchura de estas carreteras en la mayoría de su trazado era de 2 a 3 metros. Suficiente para la circulación de los vehículos en una sola dirección, y de trecho

---

(1) Los números entre paréntesis se refieren a la Bibliografía incluida al final.

en trecho presentaban ensanchamientos que permitían el cruce o adelantamiento de los vehículos entre sí.

Los trazados y los pavimentos de las carreteras de principios de siglo no eran los adecuados para que los automóviles pudieran desarrollar altas velocidades. Por este motivo, en septiembre de 1900 se aprobó un "Reglamento para el servicio de coches automóviles por las carreteras" en el que entre otras prescripciones, se establecía que "en ningún caso la velocidad excederá de 28 kilómetros por hora, aproximándose a ella solamente en terreno llano o despoblado donde el tránsito sea limitado". También se fijaba que "En las travesías de los pueblos se reducirá por regla general al máximo de 12 kilómetros por hora, pero en los sitios estrechos, en las curvas de pequeño radio, enfrente de las bocacalles y en el cruce con los tranvías, se moderará la marcha lo necesario para evitar accidentes". En otros países europeos había limitaciones parecidas. Este era el desarrollo, no muy satisfactorio, de las carreteras en 1900.

El panorama ofrecido por nuestra red ferroviaria en aquellos años es totalmente distinto. En los 52 años transcurridos desde la inauguración del primer ferrocarril, las Compañías de los "Caminos de Hierro del Norte", "Madrid, Zaragoza y Alicante", la de los Andaluces y otras concesionarias del proyecto, construcción y explotación de las diversas líneas que componían la red, se dieron buena prisa y al comenzar el siglo XX tenían en funcionamiento cerca de 11.000 kilómetros de líneas de nuestra vía normal, que es la de 1,67 metros de ancho aproximadamente y casi 2.000 kilómetros de vía estrecha, que suele tener un metro de ancho. Las grandes arterias, que son las mismas que funcionan en la actualidad, respondían, igual que sucedía con las carreteras, a una red de estructura radial.

Eran y siguen siendo las que partiendo de Madrid, se dirigían a las fronteras y a los puertos, aunque durante su recorrido, cambiara algunas veces la Compañía concesionaria. Por ejemplo, la línea Madrid a Barcelona pertenecía a los Ferrocarriles de Madrid-Zaragoza-Alicante entre Madrid y Zaragoza y a la red catalana en el trazado Zaragoza-Barcelona. Este último itinerario, que partía de Barcelona, pasaba por Zaragoza, seguía a Castejón donde se bifurcaba; un ramal iba a Bilbao y otro a San Sebastián. Independientemente de las líneas radiales, otra bordeaba el litoral mediterráneo desde la frontera francesa a Barcelona y Valencia y otra más se proyectó por la costa Norte con vía estrecha para unir San Sebastián con Bilbao, Santander y Asturias. La red que en un principio se explotó con vía única, se había preparado en cuanto a su explanación para la doble vía; por eso no fue difícil establecer esta circulación cuando las necesidades del tráfico lo exigieron. Como referencia mencionamos la circulación en doble vía en los tramos de Madrid a Pozuelo que se inauguró en 1900 y la de San Sebastián a Pasajes en 1903.

Tanto las carreteras como las líneas de ferrocarril cruzaban ríos y barrancos por medio de puentes que normalmente eran de fábrica o metálicos, reservándose este último material para salvar distancias mayores. En la Revista de Obras Públicas de 1901 puede verse la descripción de un puente en Las Segadas, sobre el río Nalón, de 50 metros de luz con tres articulaciones de hierro fundido y ejes de acero. Su bóveda era de hormigón hidráulico y había sido proyectado y construido por D. Eugenio Ribera. En su época fue el mayor de España en su clase.

Cerramos así esta ojeada al comienzo del siglo actual, que ha de servirnos de punto de partida para destacar la evolución seguida desde entonces hasta nuestros días por las cons-

trucciones civiles.

Su desarrollo depende, en líneas generales, de tres factores importantes: Del nivel de los conocimientos técnicos relacionados con este tipo de construcciones; de la situación económica del país en cada época y por último, y con parecida importancia, de nuestras relaciones con el exterior. Conviene mezclar cronológicamente los tres factores antes enunciados, para obtener una visión de conjunto.

El siglo comienza cuando todavía están abiertas las heridas ocasionadas por la pérdida de nuestras últimas posesiones de ultramar. La situación económica del país no es buena, aunque poco a poco va mejorando. Una prueba de ello es que en estos años se crean la mayoría de las grandes empresas eléctricas que hoy siguen funcionando. También empieza la construcción de depósitos de agua, acueductos, sifones, y puentes con un nuevo material, el hormigón armado.

La posición neutralista mantenida por España durante la primera guerra europea del 14 al 18, originó un incremento del comercio exterior, que permitió reactivar la economía con el importe de la exportación de minerales y productos agrícolas. Esta mejora se materializa en hechos concretos durante los años 25 al 36. En este último período el Estado promociona la realización de obras públicas. En especial se desarrollan las obras hidráulicas y se producen mejoras importantes en carreteras y puertos.

El final de nuestra guerra civil prácticamente coincide con el inicio de la última guerra mundial. El Gobierno de entonces se plantea un vasto programa de reconstrucción de las obras públicas destruidas durante nuestra contienda, especial

mente en carreteras y ferrocarriles, que es difícilmente llevado a la práctica en unos años en que se carecía de todo. La escasez de cemento y de productos siderúrgicos obliga a dedicar los pocos materiales disponibles a las obras más urgentes. No hay que pensar en la ayuda exterior y nuestra única fuente de divisas depende que sea mala o buena la cosecha de naranjas. Entonces resultaba muy difícil que nuestros ingenieros pudieran completar sus conocimientos en Instituciones o Universidades extranjeras, aunque hubo honrosas excepciones. Podría pensarse que al acabar la guerra mundial en 1945 nuestra situación cambiaría totalmente. Desgraciadamente esto no fue así pues, por motivos políticos de sobra conocidos, el país tuvo que soportar un bloqueo diplomático que impidió posibles ayudas del exterior.

Hacia los años 50, el intercambio cultural de tipo científico y técnico se normaliza, vuelven a celebrarse Congresos Internacionales a los que España tiene acceso y en los que participa en la medida de sus posibilidades. Esta colaboración internacional resulta muy fructífera para el intercambio de conocimientos y es época en la que se observa un importante desarrollo en diversas especialidades de la ingeniería civil, y muy especialmente en las Mecánicas del Suelo y de las Rocas, cuyos primeros pasos se habían dado entre los años 30 y 40. También corresponden a esa época las primeras aplicaciones de la soldadura eléctrica a las uniones entre barras de acero. En 1941 aparecían en el mercado nacional los primeros alambres finos de acero de alta resistencia, necesarios para el desarrollo de las estructuras pretensadas, de las que son precedentes algunas obras proyectadas por Eduardo Torroja, de las que hablaremos posteriormente.

La situación económica en España cambia al firmarse en 1953 el Convenio de Bases con los Estados Unidos de Norteamérica en que, entre otras, se estipula una ayuda técnica por la que se facilita a los especialistas españoles la posibilidad de estudiar las realizaciones americanas y en particular las de carreteras y obras hidráulicas. En 1956 se produce el primer cierre del Canal de Suez con lo que Egipto impide el paso por tan importante vía de comunicación a los barcos dedicados al transporte de productos petrolíferos. Este primer cierre, de duración relativamente corta, va a tener grandes consecuencias sobre el tamaño de los buques tanque petroleros y sobre las instalaciones portuarias. En 1958, y coincidiendo con un cambio de Gobierno, se inicia una etapa de liberalización de nuestra economía; las monedas extranjeras recobran la libertad de cambios y como consecuencia se produce una afluencia masiva de turistas y una aportación importante de divisas que ha de activar nuestra industria en general y en especial la de la Construcción.

La evolución de la técnica española de la Construcción Civil, entre los años 20 y 60, especialmente en el campo de las estructuras metálicas y del hormigón armado o pretensado, estuvo marcada por la personalidad creadora del Profesor Eduardo Torroja cuya semblanza vamos a evocar seguidamente.

Eduardo Torroja Miret nace en Madrid en 1899. Era hijo de Eduardo Torroja Caballé y Mercedes Miret Salazar. El padre, matemático eminente, fue Arquitecto, Astrónomo, Doctor en Ciencias y Catedrático por oposición de Álgebra y Geometría Analítica en Valencia y por oposición, de Geometría Descriptiva en la Universidad de Madrid. Ingresó en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en 1893.

Eduardo Torroja acabó brillantemente su carrera de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en enero de 1923. Su destacada actuación como alumno de la Escuela hizo que se fijara en él José Eugenio Ribera, Profesor de la asignatura "Puentes de Fábrica" y Director aquellos años de la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, en la que empezó a ejercer su profesión el joven Torroja dentro de su oficina de proyectos. En este período desarrolló algunas de sus brillantes ideas y realizó importantes proyectos que iban a hacerle destacar rápidamente a pesar de su juventud; entre ellos citaremos por su originalidad el del acueducto de Tempul, sobre el río Guadalete y que forma parte del sistema de abastecimiento de aguas de Jerez de la Frontera. En un proyecto inicial, el paso del acueducto sobre el río estaba resuelto con 5 tramos de 20 metros de luz apoyados sobre pilas. De éstas, las dos centrales estaban situadas en el curso normal del agua. Dadas las características de los terrenos en que debían cimentarse estas pilas y ante el temor de que el agua pudiera socavar sus cimientos, Torroja desarrolló un nuevo proyecto en el que se suprimían las dos pilas centrales. Para ello, apoyó el vano central sobre los extremos de los contiguos, que van atirantados sobre las pilas por medio de cables de acero de alta resistencia. La novedad, verdaderamente genial, consistió en colocar en la parte alta de las pilas unos dispositivos de elevación, que permitían tensar los cables con lo que, por una parte, se anulaba la influencia de su alargamiento al estar puestos en carga y, por otra, se introducían en la estructura unos esfuerzos de signo contrario a los que habría de originar la sobrecarga de servicio. Esta idea ha sido luego utilizada en bastantes puentes de grandes luces, lo que demuestra la bondad de la misma, pero además, en ella está el germen de lo que muchos años después sería la técnica del hormigón pretensado.

En 1927, año en que abandonó la empresa en que trabajaba, abre una oficina de proyectos en Madrid, con lo que empieza una segunda etapa de gran importancia en su vida profesional y que podemos cerrar a mediados de 1936. En esos pocos años, Torroja desarrolla una intensa labor realizando un gran número de proyectos de obras civiles y de estructuras de edificación. Obligados en aras de la brevedad a mencionar sólo los que mayor renombre han alcanzado dentro y fuera de España, enunciaremos sólo los siguientes:

En 1933 y en colaboración con el Arquitecto Manuel Sánchez Arcas, proyecta y dirige la construcción de la cubierta del Mercado de Algeciras; esta cubierta está formada por un casquete esférico de hormigón armado, apoyado sobre ocho pilares, con un diámetro libre de cerca de 48 metros de luz (casi el mismo de la cúpula de San Pedro de Roma) y con un espesor de hormigón de sólo 9 centímetros, lo que constituyó un verdadero éxito.

En esta época de su vida, concretamente en 1934, Torroja participa activamente con un grupo de amigos íntimos en la creación de un organismo que impulsara la mejora de la construcción española en todos sus aspectos. Así nace el Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación como organización privada. En su Comité Ejecutivo fue Presidente el Arquitecto Modesto López Otero, y Torroja Secretario. También fundó en colaboración con su gran amigo y compañero Enrique García Reyes la revista técnica "Hormigón y Acero" que se publicó sin interrupción hasta 1936.

En 1935 consigue dos de los mayores triunfos de su vida: los proyectos de las cubiertas del Frontón Recoletos y de los

graderíos del Hipódromo de la Zarzuela. Son soluciones estudiadas por los especialistas extranjeros y cuyas fotografías y descripciones se han recogido en las principales revistas técnicas del mundo.

La cubierta del Frontón Recoletos estaba constituida por dos láminas cilíndricas enlazadas, de 8 centímetros de espesor, que cubrían una planta de 55 por 32,5 metros sin apoyos intermedios. El planteamiento matemático del estudio de esfuerzos en este tipo de cubiertas es muy complejo y condujo a unos cálculos laboriosos cuya solución satisfactoria, en aquella época en que se carecía de ordenadores electrónicos, resultó extremadamente meritoria. Desgraciadamente durante nuestra guerra civil varios proyectiles de artillería produjeron daños irreparables en la construcción, que terminó hundiéndose. En esta ocasión, Torroja colaboró con el Arquitecto Secundino Zuazo.

La otra obra que debe ser destacada en este período, corresponde a las cubiertas y tribunas del Hipódromo de la Zarzuela de Madrid. En 1934 se saca este proyecto a concurso público y el Tribunal concede el primer premio al presentado por los Arquitectos Domínguez y Arniches en colaboración con el Ingeniero Eduardo Torroja. La solución estructural es de sobra conocida por los especialistas en la materia y su detalle puede consultarse a través de la biografía que se cita.

Sus destacadas realizaciones en el campo de la construcción son recogidas en revistas nacionales y extranjeras y como consecuencia es invitado a pronunciar una conferencia en Viena sobre el empleo de cables de acero en las construccio-

nes de hormigón armado, y a impartir dos cursos sobre este tipo de estructuras en la Escuela de Arquitectura de Madrid, dando diversas conferencias en otros centros.

Como consecuencia de éxitos tan destacados, se publica un libro en el que se describen sus obras más importantes y sus compañeros, amigos y colaboradores le rinden un homenaje de admiración.

La guerra española impone una pausa en las actividades técnicas de Torroja que dura hasta mediados de 1939. Antes de reanudarse las clases en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, después del reglamentario concurso de méritos, y a propuesta del Claustro de Profesores, Torroja es nombrado Profesor de Cálculo de Estructuras. En años sucesivos le fueron encomendadas las explicaciones de la Resistencia de Materiales, la Elasticidad y el Cálculo y Ejecución de las Obras de Hormigón Armado y Pretensado. Como consecuencia de su actividad creadora y del gran dominio que alcanzó en la interpretación resistente de las estructuras, amplió la enseñanza con una nueva disciplina dedicada a hacer comprensible sin fórmulas ni métodos de cálculo, la forma de trabajar éstas. Establecía con ello los criterios fundamentales de la filosofía de las estructuras, que recogió en un libro titulado en España "Razón y ser de los tipos estructurales" y que ha sido traducido al italiano, al inglés, al alemán y al japonés.

Desde 1939 hasta su fallecimiento ocurrido en 1961 su actividad puede agruparse en tres facetas que están perfectamente interconectadas. Tenemos que referirnos al Torroja investigador, al Torroja proyectista de grandes estructuras y por último al Profesor Torroja dedicado a la enseñanza tanto en España como en el extranjero.

Torroja como investigador cubre los dos campos clásicos: el teórico y el experimental. La experimentación sobre el conocimiento de los materiales y de las estructuras la realiza como Director del Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del Ministerio de Obras Públicas y como Director del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento que desde su muerte lleva su nombre. En ambos Organismos desarrolla una labor ingente de formación de equipos y colaboradores que fructifica en numerosos trabajos dados a conocer en publicaciones y revistas especializadas, así como en interesantísimas aportaciones presentadas en Congresos Internacionales. Un mejor conocimiento del comportamiento de los materiales de construcción y en especial del hormigón, le permite crear una teoría sobre el comportamiento anelástico del hormigón, de fuerte impacto internacional. Sus consecuencias son recogidas en las Normas del Comité Europeo del Hormigón.

En esta época realiza el proyecto y dirige la construcción del gran arco de hormigón sobre el río Esla que con sus 209 metros de luz fue el mayor del mundo; en el acueducto de Alloz, en cuyos dispositivos constructivos se muestra una vez más pionero de la técnica del pretensado y en el puente sobre el Tordera con el que inicia la construcción de estructuras mixtas de hormigón y acero, que tanto desarrollo tendrían internacionalmente en años posteriores. El cuidadoso estudio justificativo de estas soluciones, fue publicado con el título "Estructuras mixtas y la soldadura eléctrica", trabajo que fue galardonado con el primer premio del Concurso Internacional organizado por Elektriska Svetsnings, celebrado en 1946 en la Universidad de Gotemburgo.

En 1942 ganó el primer premio del concurso convocado por el Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica para el proyecto y construcción de un gran hangar para aviones, situado

en Torrejón. Se trataba de cubrir una superficie rectangular de unos 183 por 48 metros dejando libre uno de los lados mayores de la fachada, que debería poder cerrarse con puertas correderas. En el interior sólo podría establecerse un soporte situado a 10 metros como máximo de la línea de puertas. En este proyecto, lleno de originalidad, lo que abarató la construcción fue la técnica seguida para llevarlo a cabo. La gran estructura metálica de la cubierta se construyó a nivel del suelo, y luego por medio de gatos, se elevó hasta su posición definitiva. Así se consiguió ahorrar el costoso andamiaje que hubiera exigido la construcción por los métodos tradicionales y se evitaron los peligrosos trabajos a gran altura que en obras de este tipo deben realizar obreros especializados. Esta solución fue tan satisfactoria, que tres años después la repetiría en la construcción de otro hangar de análogas dimensiones en el Aeropuerto de Barajas.

Como consecuencia de sus interesantísimas publicaciones, en las que se exponían los resultados de sus investigaciones y se describían sus grandes realizaciones, fue invitado a impartir muchos cursos monográficos y a dar numerosas conferencias. En poco más de 15 años pronunció más de 100 conferencias, la mayoría fuera de España. Ante la imposibilidad de detallar la ingente labor realizada por Torroja en el poco tiempo de que disponemos, remitimos a las personas interesadas en conocer su actividad con mayor detalle, al libro titulado "La obra de Eduardo Torroja" editado por el Instituto de España.

Si Torroja fue un destacado investigador del comportamiento del hormigón y de las estructuras de construcción, Iribarren lo fue en la evaluación de los efectos dinámicos de las olas. Hasta los años 40, la técnica mundialmente aplicada para el proyecto de los diques de abrigo, era totalmente empírica. Obras de tanta importancia y con presupuestos de

miles de millones, se dimensionaban por comparación con otras ya ejecutadas que parecían análogas, pero sin aplicar cálculo justificativo alguno.

El Ingeniero de Caminos, Ramón Iribarren, que entonces era Jefe del Grupo de Puertos de Guipúzcoa, como consecuencia de sus observaciones sobre los movimientos de las olas, estableció una "Teoría de los planos de oleaje", que fue publicada en 1941 en la Revista de Obras Públicas y posteriormente en diversas revistas técnicas extranjeras. Sus comunicaciones presentadas en Congresos Internacionales de la especialidad, fueron muy bien acogidas y en la actualidad, la técnica que se utiliza en los países más adelantados para el proyecto de diques de abrigo, está basada en las teorías de Iribarren. Per Blumm, destacado especialista en Puertos, de reconocido prestigio internacional, en un artículo publicado el mes de marzo último en la revista "The Dock & Harbour Authority" sobre la estabilidad y fragilidad de las estructuras marítimas dice que la fórmula original de Iribarren fue la primera y probablemente la mejor de las que están en uso.

Desgraciadamente, Iribarren desapareció en plena madurez en un accidente de automóvil ocurrido en 1967, cuando era profesor de Puertos de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Vocal del Consejo de Obras Públicas y elegido miembro de la Real Academia de Ciencias de Madrid.

Ambas muertes fueron unas pérdidas de gran importancia para la técnica española de la Construcción Civil que, precisamente esos años 60 comenzaría a desarrollarse a un ritmo creciente, totalmente desconocido en su historia y que sólo se frenaría a finales de 1973 cuando empezó lo que se ha venido llamando "la crisis del petróleo".

El motor que impulsa la transformación de la industria española en este período es una buena idea que José María Oriol atribuye a Antonio Robert: "sol contra bienes de equipo". Oriol dice "España se levanta cuando recibe una inyección del equipo industrial de trece mil millones de dólares en el período 60-73, aportación que se corresponde casi exactamente con los ingresos turísticos". En esos años se ha producido un gran desarrollo en la maquinaria auxiliar de la Construcción y en especial la relacionada con la excavación de tierras, con los elementos de transporte, con la compactación de terraplenes y con la elevación de cargas. Por último, al final de la década de los 50 se han comenzado a emplear los ordenadores electrónicos en el proyecto de las estructuras de la Ingeniería Civil. Su impacto es enorme porque al facilitar los cálculos, permiten utilizar teorías más precisas, que incluyen un amplio número de variables que en épocas anteriores eran de difícil evaluación.

Con ello llegamos a los años actuales. Con el fin de completar esta exposición, vamos a exponer un resumen de la evolución de los distintos sectores que integran las construcciones civiles.

Comenzaremos por la Obras Hidráulicas, en las que nos ocuparemos únicamente de los canales y de las presas de embalse. La construcción de canales de riego ha experimentado en este siglo un gran desarrollo, basta decir que en 1.900, en España había unas 120.000 hectáreas de regadío y en 1.980 se regaban 2.300.000 hectáreas. Es decir, que en 80 años se han puesto en regadío más de dos millones de hectáreas a través de muchos miles de kilómetros de canales grandes y pequeños. En la actualidad hay 23 regadíos con superficies superiores a las 15.000 hectáreas y de ellos algunos como el Plan Badajoz y el de las Barcenas, con más de 80.000. Como es imposible

detallarlos ahora aquí, vamos a limitarnos a resumir las características principales de las dos obras de conducción de agua más importantes en lo que va de siglo y que son la Solución Sur de Valencia y el Acueducto Tajo-Segura.

La solución Sur de Valencia fue motivada por la última gran riada, que se produjo en octubre de 1957. Desde el siglo XIV hay registradas 27 grandes riadas en Valencia. En la última, el caudal del Turia a su paso por la ciudad, creció en pocas horas desde los 100 a los 3.700 metros cúbicos por segundo. El cauce del río no fue capaz de conducir tal cantidad de agua, por lo que se desbordó e inundó el centro de la ciudad y una gran parte de los poblados marítimos, causando pérdidas humanas y daños materiales cifrados entonces en varios miles de millones de pesetas. Con el fin de evitar que pudieran repetirse hechos análogos se proyectó y construyó la Solución Sur (2) que consta de un gran canal suficiente para un caudal máximo de 5.000 metros cúbicos por segundo, lo que representa un 35% más que el estimado como máximo en 1957. Este gran canal está suficientemente alejado de la ciudad. Tiene unos 12 kilómetros de longitud y comienza en Cuart de Poblet con 175 metros de ancho que se van incrementando hasta los 200 metros de ancho en los últimos 3 kilómetros que van al mar. Para construir este canal fue necesario excavar más de 11 millones de metros cúbicos de tierra, colocar 6.800.000 metros cúbicos en terraplenes y más de 3 millones de toneladas de escollera. En sus márgenes se han construido 24 kilómetros de carreteras de cuatro carriles y sobre el canal se han elevado 9 puentes. El importe total de las obras, excluidas las expropiaciones ascendió a 5.000 millones de pesetas de los años sesenta.

La otra obra cuyas características vamos a resumir y que sirve para marcar un hito en la técnica de las construcciones hidráulicas, es la conocida corrientemente como Trasvase Tajo-Segura (3). Su finalidad es transferir los caudales excedentes de la cabecera del Tajo a la cuenca del Segura, donde se distribuirían a una vasta área de las provincias de Murcia, Alicante y Almería con el fin de mejorar el abastecimiento de las poblaciones, así como los regadíos. Para ello, se ha construido un acueducto que tiene partes de canal abierto sobre el terreno elevadas para cruzar caminos y valles y otras, en túnel. El acueducto se inicia en la Presa de Bolar que está en la confluencia del Tajo y el Guadiela, aguas abajo de los embalses de Entrepeñas y Buendía. Por medio de una central reversible de 203.000 kilowatios de potencia; con 4 grupos turbino-bombas se eleva el agua al embalse de La Bujeda; después por medio de un canal abierto y dos acueductos llega el agua al embalse de Alarcón. Desde aquí el agua discurre por unos 100 kilómetros de canal hasta que atraviesa la sierra de Hellín por medio del túnel de Talave; a la salida del túnel y en canal, el agua va al embalse de Talave que está en el río Mundo, afluente del Segura, y donde comienza el postravase con la distribución del agua entre abastecimientos y regadíos.

Los datos generales de este acueducto son los siguientes: Recorrido total de las aguas 292 kilómetros. Longitud de las obras 242 kilómetros de los cuales 172 kilómetros son en canal a cielo abierto, 58 en túnel, 11 en acueducto y 1 por tuberías. Aún siendo toda la obra del mayor interés técnico, las dificultades más importantes se han presentado al construir los 32 kilómetros que tiene el túnel de Talave, con 4,20 metros de diámetro interior y que va a profundidades com

prendidas entre los 200 y 300 metros, en una zona con geología muy difícil y con caudales subterráneos de suficiente importancia como para complicar muchísimo su construcción.

Pasaremos ahora a las presas. Como es sabido, las presas de embalse se construyen para cerrar valles con el fin de almacenar el agua que se piensa utilizar principalmente para el abastecimiento de poblaciones, para el riego o para generar energía eléctrica, aunque es frecuente que una sola presa cumpla dos o los tres fines citados. Las 57 presas que había en 1900, aumentaron hasta 157 en 1930, 260 en 1950 y 620 en 1970. El fuerte incremento en estos últimos veinte años en que se construyeron 360 presas, se debe al gran esfuerzo económico realizado por las empresas hidroeléctricas, con el fin de atender al aumento del consumo en un período de gran expansión industrial. En la actualidad hay terminadas y en explotación 889 presas y otras 80 están en construcción.

Como muestra de la evolución experimentada en España en el proyecto y construcción de presas de embalse, mencionamos a continuación las mayores de los diversos tipos utilizados, que son las siguientes:

La Presa de Salime en el río Navia, (4) con 135 metros de altura máxima es del tipo de "gravedad". Estas presas corresponden a las que normalmente se realizan en valles amplios con terrenos de cimentación sanos y en las que el peso del hormigón que constituye la presa, es suficiente para transmitir el empuje del agua al terreno de cimentación.

La de Alcántara (5) con la misma altura que la anterior, que está en la confluencia del Tajo con el Alagón y que es la mayor de España de las presas de contrafuertes; esta clase es

la apropiada para valles amplios cuando el terreno de cimentación es una roca sana que puede resistir grandes presiones.

De mayor altura, casi 140 metros, es la Presa de Aldeadávila (6) en el río Duero y que corresponde al grupo de arco-gravedad. En estas presas se confía en la resistencia de la presión del agua, no sólo al peso del hormigón de la presa sino también a que su forma curva permite transmitir una parte de estos empujes a las laderas del valle.

La de mayor altura de España es la Presa de Almendra, en el río Tormes (6) con 202 metros de altura máxima y del tipo bóveda, que es el indicado en valles estrechos con laderas muy sanas.

Por último, merece citarse otro grupo, que es el de las presas de materiales sueltos y que pueden estar formadas por escollera o por tierra; son muy apropiadas para valles en los que hay que prever posibles movimientos en la cimentación de la presa. De esta clase es la de Arenós en el río Mijares de 108 metros de altura y que en fecha próxima será superada por la de Canales en el río Genil, que está en construcción y que alcanzará los 156 metros de altura.

La altura máxima de una presa es un dato que puede servir para valorar su importancia como consecuencia de las dificultades que pueden presentarse en su proyecto o en la construcción; otro factor que da idea de la importancia de los aprovechamientos hidráulicos, es valorar la capacidad de los embalses creados. La capacidad de los embalses en explotación en la actualidad supera los 43.000 millones de metros cúbicos. Estamos padeciendo unos años especialmente se

cos y la mayoría de nuestros embalses tienen poca agua. Cuando esta sequía pase, que pasará, se volverán a llenar los embalses y entonces, la superficie del agua de todos juntos, tendrá una extensión parecida a la provincia de Guipúzcoa.

Como indicábamos anteriormente, muchas presas de embalse fueron construidas para la producción de energía eléctrica. Esta, ha pasado de los 240 millones de kilowatios hora en 1905 a los 114.000 millones en 1982, lo que supone un crecimiento de cerca de quinientas veces en setenta y siete años. Si en 1900, el 61% de la producción eléctrica era de origen térmico y sólo el 39% era hidráulica, los términos se invierten muy pronto a favor de esta última que pasa a ser el 81% del total en 1929 y sólo el 19% restante era de origen térmico. A pesar del rápido crecimiento del número de presas dedicadas a la producción hidroeléctrica y ante la dificultad de encontrar emplazamientos para las presas, que resultaran económicamente rentables, la situación volvió a cambiar a favor de la energía de origen térmico. Este proceso empezó a producirse cuando en 1952 el Instituto Nacional de Industria puso en servicio la térmica de Ponferrada alimentada por carbón y poco después la de Puentes de García Rodríguez en la que se utiliza lignito; paralelamente la Empresa Nacional Calvo Sotelo montó una térmica en Escatrón alimentada también por lignito y otra en Puertollano que en principio utilizó carbón. Como consecuencia, en 1981 la energía hidroeléctrica sólo suponía el 21% de la producción total mientras que la térmica clásica llegaba al 70% y la térmica de origen nuclear, que había empezado a usarse pocos años antes, alcanzaba el 9%.

Conviene mencionar las instalaciones auxiliares de las centrales térmicas porque también en este sector se han realizado construcciones de verdadera resonancia internacional y que pueden servirnos una vez más como muestra de los niveles alcanzados por la tecnología española en diversos tipos de obras. La central térmica, tanto si es de tipo clásico como si es de origen nuclear, tiene unos problemas de consumo de agua tan importantes que justifican la construcción de grandes torres de hormigón que permiten recuperar una gran parte del agua utilizada en la refrigeración de los condensadores. Torres de este tipo, con forma de hiperboloide de revolución, pueden alcanzar los 150 metros de altura y los 100 metros o más de diámetro en la base, con espesores que no superan los 20 centímetros, excepto en la base y en la boca superior en que llegan a los 80 centímetros.

Otro problema originado en las centrales térmicas clásicas alimentadas por carbón o lignito, es la contaminación debida al óxido de azufre y partículas originadas en la combustión del carbón. Para eliminar esta contaminación se construyen chimeneas con la altura necesaria para que dichos gases se mezclen con el aire en capas altas de la atmósfera y de esta manera no se produzcan efectos nocivos sobre los seres humanos, animales y plantas. En la central de Puentes de García Rodríguez (7) la chimenea tiene 356 metros de altura, es más alta que la Torre Eiffel de París y más que el triple de la altura del edificio España, de Madrid. Su base mide 36 metros de diámetro y no cabría en el ruedo de muchas plazas de toros. Es la chimenea más alta de Europa. Otra semejante, de 343 metros de altura ha sido construída en la Central Térmica de Andorra, Teruel (8).

Al hacer referencia a las centrales térmicas productoras de energía eléctrica hemos distinguido las clásicas de las nucleares. Las primeras son las alimentadas por carbón, con productos derivados del petróleo o con gas natural. Si se utiliza como energía primaria el carbón nacional, la central se localiza en la proximidad de las minas o yacimientos y si el carbón es importado, la central se sitúa en la costa con lo que se sustituye el transporte de carbón por el de energía eléctrica. El problema se simplifica en las térmicas que utilizan petróleo o gas porque estos productos pueden ser transportados fácilmente por tuberías. Este sistema exige la construcción de una planta de recepción, unos depósitos, estaciones de bombeo y una red de tuberías de acero de grandes diámetros; en oleoductos se llegan a diámetros de 120 centímetros y en gasoductos hasta los 140 centímetros. En estas obras, con las tuberías pasa lo mismo que con las líneas de transporte de viajeros en los metropolitanos de las grandes ciudades, como van enterradas, no se aprecia fácilmente su importancia.

En España tenemos en explotación los oleoductos siguientes: Málaga-Puertollano de 267 kilómetros de longitud; Rota-Sevilla-Madrid-Zaragoza-Lérida-Tarragona con una longitud de 1.304 kilómetros a los que hay que sumar 112 kilómetros de derivaciones y el Bilbao-Valladolid con 305 kilómetros.

El gasoducto más importante es el que va desde la planta de recepción de buques metaneros y regasificación situada en el puerto de Barcelona hasta Tivisa, en Tarragona; de aquí salen dos ramales, uno que llega a Valencia y el otro que, por el valle del Ebro y pasando por Zaragoza llega has

ta Vitoria, Vergara y Bilbao. En la actualidad, la longitud puesta en explotación es de unos 800 kilómetros.

Para terminar con esta parte dedicada a la construcción de instalaciones generadoras de energía eléctrica (8) conviene destacar de entre los edificios de una central nuclear, el destinado a contener el reactor y que en algunos tipos exige la construcción de un cilindro de unos 50 metros de diámetro por 20 metros de altura, cubierto por una gran cúpula semiesférica, todo ello realizado en hormigón armado. Con esto damos por terminadas las grandes realizaciones en Obras Hidráulicas, térmicas y nucleares y podemos pasar a los puertos.

Los ingresos que genera un puerto, como consecuencia del cobro de unas tarifas que no pueden ser muy altas porque tienen que ser competitivas con las de los puertos de los países vecinos, no eran ni son suficientes para poder pagar las cuantiosas inversiones necesarias para conservar y ampliar sus instalaciones y financiar las grandes obras de fábrica de su infraestructura. Por este motivo, el desarrollo de los puertos españoles fue muy escaso durante el primer cuarto de siglo, hasta que a comienzos de 1928 se promulga una Ley de Puertos por la que el Estado se hace cargo de su administración y se compromete a subvencionarlos con las cantidades necesarias para realizar las obras y adquisiciones que figuraban en sus presupuestos anuales. En 1930 al 35 se hacen fuertes inversiones en elementos auxiliares, especialmente en grúas. Por último en 1963 y como consecuencia del grado de desarrollo alcanzado por la industria española, comienza un crecimiento acelerado en los medios de transporte que se refleja en la modernización y ampliación de las instalaciones portuarias de acuerdo con nuevos criterios que veremos después.

Dado el poco tiempo de que disponemos para esta charla y para describir el desarrollo de los puertos en estos 83 años del siglo actual y su influencia sobre la evolución de la construcción, vamos a referirnos a un caso concreto, que será el de Bilbao. En una primera época que podemos fijar hasta 1900, en los márgenes de la ría del Nervión ya había muelles para el atraque de los barcos que servían de enlace a esta zona fabril, de gran importancia económica, con el resto de España y países del extranjero. Como es lógico, este movimiento industrial y naval llevaba aparejado la existencia de factorías, almacenes, talleres y astilleros necesarios para la construcción y reparación de barcos. El comienzo del presente siglo es de gran importancia en la historia del Puerto de Bilbao. Gracias a la competencia y tesón de su Director, el eminente Ingeniero Evaristo Churrua, se proyectaron y construyeron los diques de abrigo del que durante muchos años se denominó Puerto Exterior del Abra y en cuya dársena, al correr de los años se localizaron nuevas factorías navales y muelles pesqueros y de mercancías. A pesar de esta notable ampliación de principios de siglo, el aprovechamiento de las márgenes de la ría, continuó con la realización de la corta de Deusto y creación de nuevas dársenas como por ejemplo la de Lamiaco terminada en 1953. La ineludible necesidad de disponer de grandes superficies de muelles y dársenas para el atraque de los grandes barcos con calados muy superiores de los que disponía el puerto hasta los años 50, obligó al proyecto de los nuevos diques de Punta Lucero y Punta Galea, de los cuales está construido el que parte de Punta Lucero y que ya está en servicio para los barcos petroleros que surten de crudo a la refinería de Petronor.

¿Qué ha ocurrido en los últimos 20 años para que haga falta más superficie de muelles y más calado en algunos puertos?. Conviene dejar claro que el precio de estadía de los bar

cos en puerto es elevado e incide, como es lógico en el del transporte de las mercancías. Existía la experiencia de que determinados materiales, por ejemplo el carbón o los minerales a granel se transportaban en cantidades tan importantes que resultaba económicamente rentable construir barcos especiales, e idear instalaciones de carga y descarga para que estas operaciones fueran lo más rápidas posible. Por ejemplo, el Puerto del Musel en Asturias ha sido un caso típico de puerto especializado en la carga de barcos carboneros. Por otra parte y dentro de ciertos límites, cuanto mayor es el barco, más barata resulta la tonelada transportada. Generalizadas estas ideas, había que adecuar los puertos en cuanto a calado e instalaciones, a los nuevos barcos de transporte de determinados materiales que constituyen lo que se conoce en el "argot" portuario como graneles sólidos o líquidos y que justifica la construcción, en algunos casos, de instalaciones muy importantes. Por ejemplo, la construída en el puerto de Valencia para la carga de cemento que suele dedicarse a la exportación, o las de carga de mineral del Puerto de Huelva. Los cargueros para transportes de graneles sólidos, que en un principio eran de 10.000 a 15.000 toneladas de peso muerto y cuyo calado no llegaba a los 8 metros, en pocos años llegaron a construirse de 200.000 toneladas con calados entre los 14 y 20 metros.

Esta misma idea ha llevado a crear parques de almacenamiento para diversos tipos de mercancías. En una zona del puerto de Valencia hay un inmenso aparcamiento dedicado a la carga de automóviles para la exportación. En estos casos los coches llegan por ferrocarril en vagones especiales y después de almacenados en el puerto son cargados en barcos del tipo "ro-ro", que es una variante de los que se conocen más corrientemente como barcos "canguro".

Podría parecer poco conveniente generalizar el sistema de carga especializada para las mercancías transportadas en bultos de diferentes tamaños y pesos. Esto se hizo a escala industrial en los Estados Unidos con motivo de las guerras de Corea y Vietnam, allí se inició el transporte de parte del material bélico dentro de grandes cajas metálicas que conocemos con el nombre de contenedores. Estos contenedores son subidos a los barcos o descargados en una sola maniobra con elementos de elevación especiales y pueden transportarse por mar o por tierra como una unidad de carga. Una vez unificadas sus dimensiones, en la actualidad se utilizan principalmente dos tipos; de 6 por 2,40 por 2,40 metros y de 12 por 2,40 por 2,40 metros. Su adopción ha supuesto algunas ventajas importantes: favorecen la coordinación del transporte terrestre con el marítimo y a la inversa, evitan pérdidas, robos y deterioros lo que redunda en la reducción de las primas de seguros y sobre todo reducen los tiempos de carga y descarga. Bien es verdad que su manejo exige grandes superficies de almacenamiento, un servicio de "grúas pórtico" de 20 o de 40 toneladas según los casos y barcos porta-contenedores construídos especialmente para ello.

La evolución de los barcos petroleros fue algo más laboriosa, pues si bien fueron paulatinamente aumentando de tamaño hasta llegar a las 20 o 30 mil toneladas, las dos crisis del Canal de Suez complicaron notablemente **este proceso**. El primer cierre del canal, aunque fue de corta duración sirvió para alarmar a las compañías petrolíferas y como consecuencia estudiaron las posibles soluciones por si se repetía durante un tiempo más largo. Cuando se produjo en 1967 el segundo cierre del Canal, ya estaba navegando un tanque bajo pabellón norteamericano de 115.000 toneladas de registro bruto y poco después

fue botado el barco japonés Idamitsu Maru que con sus 210.000 toneladas de registro bruto fue el mayor del mundo en aquellos años.

El segundo cierre del Canal activó la construcción de petroleros de 300.000 toneladas y se llegó a botar en el Japón uno de 477.000 toneladas. Para no perder puestos en esta carrera, era necesario, por una parte, poder contar con puertos en los que hubiera zonas de atraque para los futuros super-petroleros que exigirían calados de 30 metros o más, y por otra, adecuar las instalaciones para la fabricación y reparación de barcos de tan gran tamaño. En España, en aquella época y en los Astilleros de ASTANO de El Ferrol se construyeron los petroleros Arteaga y Butrón de 325.000 toneladas; mientras, se preparaban factorías para barcos mayores. En 1975, se terminaron las obras del Nuevo Astillero de Puerto Real (9) en las marismas inmediatas a la antigua factoría de Matagorda, para la construcción de petroleros de hasta un millón de toneladas y simultáneamente se preparó un dique de reparaciones para petroleros de 350.000 toneladas, situado también dentro de la bahía de Cádiz.

La necesidad de disponer de puertos con calados adecuados a los petroleros que ya estaban en funcionamiento y a los que se preveía podrían llegar en un futuro próximo, fue lo que justificó las grandes obras que fueron necesarias para la realización del dique de Punta Lucero del superpuerto de Bilbao al que antes hemos hecho alusión y al dique del Este del Puerto de Tenerife. Este último fue construido sobre fondos que están de 50 a 65 metros por debajo de la bajamar, lo que constituye un "récord", al menos en España. En este puerto, el dique tiene 25 metros de altura y se apoya sobre grandes mantos de escollera. Los barcos quedan atracados a unos muros cuya altura es aproxima-

madamente igual a la de una casa de ocho pisos. Al abrigo de este dique pueden fondearse barcos de hasta 35 metros de calado.

Para terminar con la evolución del tamaño de los petroleros, conviene destacar que muy pocos países han creído conveniente realizar las obras necesarias para dar abrigo a estos grandes barcos. Las dificultades que han encontrado estos gigantes del mar para su atraque y la constatación de los desastrosos efectos ecológicos que se han producido en algunos desgraciados casos de hundimiento, han frenado esta carrera hacia el gigantismo y parece que en un futuro próximo no se construirán ya barcos mayores de 200.000 toneladas. Es más, ya está anunciada la venta para desguace del petrolero francés "Pierre Guillaumat" de 550.000 toneladas de peso muerto, con sólo 6 años de uso, lo que supone una vida muy corta.

Sólo nos queda comentar la evolución de los ferrocarriles y las carreteras. El desarrollo del ferrocarril en lo que va de siglo corresponde más a la ingeniería mecánica y eléctrica que a la ingeniería civil. Es verdad que el establecimiento de la subestructura requiere la realización de un gran número de obras civiles: terraplenes, puentes, túneles, etc., pero salvando las diferencias, son técnicas análogas a las que vamos a exponer para las carreteras. Por otra parte, y como hemos mencionado anteriormente, las Compañías concesionarias de las diversas líneas ya habían construido, en la segunda mitad del siglo pasado, la mayoría de las explanaciones para dos circulaciones, de forma que la implantación de la vía doble no ofreció grandes dificultades en muchos recorridos.

A lo largo de este siglo, se construyeron nuevas líneas, que a partir de 1920 fueron financiadas por el Estado. En algu

nas, como en la de Zamora a Vigo, hubo que construir puentes muy importantes como el que sirve para pasar sobre el embalse del Esla, que fue proyectado por Torroja y del que ya hemos hablado. La tracción eléctrica se utilizó en la rampa de Pajares en 1924 y se generalizó a otros itinerarios a partir de 1942. En 1930 entraron en explotación las grandes locomotoras de carbón y bastantes años después, en 1953, empezó la tracción con locomotoras Diesel.

El aumento en el peso de las locomotoras y vagones obligó a un estudio detallado de la capacidad resistente de los puentes, que en algunas líneas, por ejemplo en la de Madrid a Córdoba, en la de León a Gijón o en la de Barcelona a Mataró, debieron ser reforzados, mientras que en la línea de Linares-Almería los antiguos puentes construidos con acero pudelado, tuvieron que ser sustituidos. Se modernizaron los vagones, la señalización, las instalaciones y como consecuencia se mejoró la velocidad media de la red, que en algunos tramos como el de Córdoba-Sevilla, ha alcanzado los 110 kilómetros por hora.

Terminada la parte dedicada a los ferrocarriles, vamos a pasar por último a ocuparnos de las carreteras; en ellas me limitaré a marcar unas pocas etapas en las que veremos como van variando las características principales de los trazados (anchura de la carretera, radio de las curvas y pendientes), y los tipos de pavimentos utilizados y, como consecuencia, los incrementos de las velocidades admisibles para el tráfico.

En 1916 se aprueba una Real Orden en la que se establece que las explanaciones no se proyectarán en lo sucesivo con ancho inferior a 6 metros, que es el mínimo necesario para efectuar los adelantamientos y para circular en dos direcciones;

los radios de las curvas que no podían ser inferiores a 8 metros, se elevan en su límite inferior hasta 30 metros y las pendientes máximas quedan en el 7% en alineaciones rectas y se reducen al 4% cuando el trazado obliga a radios más pequeños de los anteriormente fijados. En 1920 se aprueba un Reglamento de Policía y Conservación de Carreteras en el que las velocidades máximas quedaron fijadas en 40 kilómetros por hora para el transporte de personas y mercancías en vehículos de peso total hasta 4 toneladas y media y de 35 kilómetros por hora en los vehículos de peso total hasta 8 toneladas. El constante incremento del tráfico automovilístico tanto de viajeros como de mercancías originó que, en 9 de febrero de 1926, el Gobierno creara el Circuito Nacional de Firmes Especiales, con el que se dotaron 7.000 kilómetros de carreteras con unos firmes tratados con productos bituminosos aplicados en caliente y que fueron considerados entonces entre los mejores de Europa. En años posteriores se suceden disposiciones que aprueban diversos planes y nuestras carreteras van aumentando en calidad de manera apreciable hasta 1936.

Terminada nuestra guerra civil en 1939, es necesario acometer una labor urgente en la reconstrucción de puentes, en la reparación de pavimentos y en la mejora (en lo posible) de los trazados y obras de acondicionamiento; todo ello partiendo de los pobres medios económicos de que se disponía entonces. Después, y como ya hemos indicado, cambió la situación económica del país por lo que, se aprobaron sucesivos planes de modernización de las carreteras. Durante este largo período se viene repitiendo un hecho que va a producir cambios importantes en el trazado de las carreteras: Como regla general, en el desarrollo de las poblaciones, los nuevos núcleos urbanos se forman en las inmediaciones de aquéllas, lo que las convierte en calles de tráfico urbano, que impide la circulación rápida del transporte. La

solución de este problema se consigue mediante la realización de obras costosas; es necesario construir nuevas carreteras que se salgan de la población y que llamamos variantes o que la rodeen, por medio de vías de ronda, y preparar nuevos accesos. Estos costos elevados quedan inutilizados en un corto período de tiempo si no se toman las precauciones oportunas para contener y ordenar el desarrollo de las edificaciones. Lo que se pretende es separar el tráfico local del de la carretera, dándoles cauces distintos que deben confluir en lugares donde pueden establecerse los cruces en condiciones de seguridad. Estas precauciones fueron objeto de una Ley aparecida en 1952. En ella y como novedad, se crea una zona de servidumbre que llega hasta 50 metros del eje de la carretera y se define como distancia mínima la de 8 metros desde el borde exterior de la carretera hasta las edificaciones contiguas.

El aumento importante en muchos países del parque de vehículos y la necesidad de alcanzar velocidades mayores ha hecho nacer un nuevo concepto de carreteras de tráfico rápido: las autopistas. En España y en 1928 se había aprobado un Decreto Ley sobre autopistas de peaje en el que se introducían estímulos para que los particulares y en régimen de concesión, pudieran construirlas mediante una subvención del Estado y al amparo de las Leyes de expropiación forzosa. Este primer intento de creación de autopistas no pasó de las letras de la Gaceta Oficial, pues aunque se solicitaron cenciones de muchas autopistas con recorridos tremendamente ambiciosos como el de Madrid-Irún, Madrid-Cádiz por Sevilla, Madrid-Santander, etc. la realidad es que ninguna de estas peticiones tuvo repercusión práctica alguna. De todas formas, esta Ley del 28 es el antecedente de la de 1953 en que se autoriza la construcción de carreteras de peaje. ¿Qué diferencia fundamental existe entre la carretera y la autopista?. La carretera, como sabemos, está cons

tituida por una sola calzada para la circulación en dos direcciones y en la que los cruces con otras carreteras se producen al mismo nivel, sin dispositivos especiales. La autopista debe tener dos calzadas separadas con amplias medianas entre ellas o con barreras, para aumentar la seguridad del tráfico en las dos direcciones y además un control absoluto de sus accesos, disponiendo los enlaces correspondientes con las vías con que se cruce, lo que harán a distinto nivel. Como consecuencia la velocidad, la capacidad de tráfico y la seguridad de los vehículos que circulan por las autopistas es mucho mayor que en las carreteras clásicas.

Los grandes avances de la técnica de la Construcción Civil en los últimos 20 años, y que ya hemos mencionado anteriormente, han permitido desarrollar rápidamente en España un amplio plan de autopistas que comprende cerca de 1.700 kilómetros en explotación y cuyas características nada tienen que envidiar a las mejores extranjeras. Simultáneamente, el Estado ha llevado a cabo diversos planes sectoriales, por ejemplo, el Plan de Accesos a Galicia, con los cuales se ha conseguido una mejora muy importante en los trazados, lo que conlleva un aumento considerable de la velocidad permitida a los vehículos.

Es lógico que el enunciado esquemático de estas ideas no haya servido para mostrar la evolución de la Construcción Civil en España como consecuencia del desarrollo de las carreteras y autopistas; a fin de aclarar esta duda, a continuación vamos a comentar algunas obras proyectadas y realizadas por empresas españolas.

Los enormes progresos alcanzados en el conocimiento teórico y experimental del comportamiento de los suelos por una parte y por otra, la utilización de grandes máquinas para la

excavación, transporte y compactación de terrenos, ha permitido construir caminos soportados en parte por terraplenes de gran altura. En el Plan de Acceso a Galicia y en el tramo La Retuerta-San Ramón de Bembibre, para que la carretera salvase el valle del Tremor, fue preciso construir un terraplén de 400 metros de largo, 160 metros de anchura en la base y 55 metros de altura máxima, con un movimiento de tierras de 740.000 metros cúbicos.

En otros casos, el trazado obliga a realizar desmontes, que por su altura necesitan una construcción muy cuidada y dejar previstas las medidas adecuadas para su conservación. En la Autopista Barcelona-Valencia y en el tramo Martorell-Villafranca, hay un desmante con un volumen de excavación de medio millón de metros cúbicos de tierra. En este tramo y a lo largo de sólo 5 kilómetros de obra, se movieron más de 2 millones de metros cúbicos de tierra.

Hay ocasiones en que ni los desmontes ni los terraplenes, ni su combinación ofrecen soluciones a determinados trazados; la posibilidad del túnel o del viaducto puede ser la económica. Los túneles de Guadarrama, en la Autopista Villalba-Villacastín son un buen ejemplo de la primera. En el paso de Subijana (4) entre Bilbao y Miranda en la Autopista Vasco-Aragonesa, se ha utilizado la otra solución, la del viaducto. Aquí, el viaducto sirve para adosar la calzada a una ladera rocosa casi vertical.

Algunas veces, el trazado de la carretera o de la autopista atraviesa una población, y con el fin de que no se mezclen el tráfico urbano con el interurbano, se eleva éste, a veces hasta por encima de las casas. En la Autopista Bilbao-Behovia

a su paso a través de Eibar, se ha producido uno de estos casos. En este viaducto (10) el tramo central salva un vano de 95 metros. Menos frecuente es que una gran autopista con tres o cuatro carriles en cada sentido, cruce durante más de 15 kilómetros a través de una gran capital. La Municipalidad de la ciudad de Buenos Aires abordó la realización de un Plan de Autopistas Urbanas en régimen de peaje como consecuencia del grave problema de infraestructura vial en la zona del gran Buenos Aires donde habitan nueve millones de personas y existe un parque de vehículos en rápido crecimiento. Después de un concurso internacional, se adjudicó la construcción y explotación de esta gran obra a un consorcio integrado por empresas nacionales y extranjeras. El proyecto y construcción de esta importante obra fue encargado a empresas españolas (11 y 12).

Sin llegar a estos extremos, es frecuente que el acceso de las autopistas a las poblaciones produzca enlaces importantes que pueden resolverse en formas muy variadas. Por ejemplo, en Madrid, el cruce de la M-30 con las carreteras radiales da origen a nudos como el que está próximo al antiguo Puente de Toledo (12) o el del Puente del Rey (13). Estos nudos o enlaces, en cuanto se separan del núcleo de la población pueden proyectarse con curvas más abiertas, de radios mayores, así el de la Glorieta de Eisenhower, a la salida de Madrid, que canaliza la circulación hacia el Aeropuerto de Barajas, pasando sobre la carretera de Madrid a Barcelona.

Si consideramos que en el proyecto o construcción de una autopista hay que realizar muchos cruces de caminos, es fácil prever que también el número de puentes será muy elevado. Por ejemplo, en la Autopista de Tarragona-Alicante, en

386 kilómetros, hay 701 puentes y en la de Navarra, en sólo 100 kilómetros, hay 236 puentes; en ellas, cada dos kilómetros de autopista hay que construir un puente por término medio. Dado que la autopista tiene una anchura sensiblemente constante, no es de extrañar que muchos cruces de caminos puedan resolverse con puentes cuya estructura sea idéntica y como consecuencia, su construcción queda resuelta con mayor economía si se hace una instalación para la prefabricación de vigas de hormigón de unos cuantos tipos, generalmente pocos, que son trasladadas por carretera hasta el lugar en que se construye el nudo y luego, con medios auxiliares de elevación más o menos potentes, según los casos, son colocadas en su emplazamiento definitivo. En la actualidad estas vigas pueden llegar a tener hasta 50 metros de largo y pesar 50 toneladas. Conviene recordar que para su colocación puede contarse con grúas móviles capaces de elevar pesos de hasta 100 toneladas.

Antes de abandonar el tema de los cruces para ocuparnos de otras estructuras exigidas por la construcción de las carreteras, vamos a recordar algunos casos curiosos. Si una autopista pasa por una población, para facilitar el tránsito dentro de ésta, habrá que prever unos pasos para que los peatones puedan cruzarla por encima. Como ejemplos interesantes pueden citarse la pasarela que cruza la M-30 de Madrid sin apoyos intermedios y que sirve para unir el Parque de la Fuente del Berro con el Barrio de la Elipa y la colgada en la plaza de las Glorias Catalanas en Barcelona (12).

Otro paso singular por infrecuente, es aquél en que una calzada de una autopista, por necesidades de construcción, se cruza con la otra calzada de la misma autopista. Yo sólo conozco en España el que se ha producido en la Autopista Villalba-

Villacastín, en los accesos a los túneles del Guadarrama. Al construir un segundo túnel independiente del primero y por exigencias del terreno, la calzada de subida desde Guadarrama al túnel y que iba por la derecha tuvo que cruzar por encima de la calzada de bajada de la misma autopista (14). Esto se resolvió con una bóveda delgada y aligerada de hormigón.

Para terminar con las realizaciones españolas en la construcción de carreteras, vamos a tratar aunque de manera muy resumida, como se han resuelto los problemas planteados al pasar una carretera o una autopista, sobre un barranco profundo o sobre un curso de agua. En estos casos, la solución ingenieril conduce a puentes que incluyen unos soportes muy altos o muy separados o las dos cosas. Unos pocos ejemplos aclararán estas ideas. En la costa Norte de la isla de Gran Canaria fue necesario construir dos grandes viaductos conocidos como la Variante de La Cuesta de Silva. Situada en una de las zonas más accidentadas de la isla y con un terreno basáltico de una geología muy difícil, para atravesar los barrancos de Moya y Del Calabozo, se construyeron dos viaductos. Al no entrar, por falta de tiempo, en las características de la estructura del puente, sólo destacaremos que en este viaducto y en su zona central, sus pilares o soportes están separados 120 metros y su altura oscila entre los 90 y 110 metros. Las dimensiones del hueco central son mayores que las de un campo de fútbol.

Al atravesar las carreteras por encima de cursos de agua, bien sea de grandes ríos, bahías o embalses y por las dificultades en la cimentación de soportes intermedios o por la necesidad de dejar alturas libres para la navegación, se llegan a soluciones de las cuales sólo vamos a presentar cuatro casos, muy importantes todos ellos en cuanto a sus características.

En 1969 y para cruzar la bahía de Cádiz, con el fin de evitar que la carretera que une la Tacita de Plata con Jerez, siguiera dando un rodeo que llegaba hasta San Fernando, se construyó el Puente León de Carranza (15) en el que el tramo central, de 90 metros era levadizo para dejar paso a los barcos.

En Paraguay, naturalmente me refiero al Paraguay sudamericano, una Empresa española (16) en 1975, ganó el concurso para el proyecto y realización de un gran puente sobre el río Paraguay en el que la situación de los soportes de apoyo fue consecuencia de un cuidadoso estudio geológico. Su luz central es de 170 metros, con el fin de respetar un ancho de navegación de 150 metros fijado como premisa.

La Autopista del Atlántico que une Vigo con Santiago, cruza la bahía de Rande sobre un estrecho de 700 metros de anchura. Para proyectar este puente, el Ministerio de Obras Públicas señaló un gálibo horizontal libre de 350 metros como mínimo y otro vertical de 45 metros sobre la marea viva equinoccial. Su calzada estaría dimensionada para cuatro circulaciones. El puente construido consta de un tramo central de 400 metros de luz entre los ejes de las dos pilas principales que va acompañado de otros dos laterales de unos 147 metros de longitud (17). Las pilas centrales tienen 128 metros de altura y el tablero queda a 50 metros sobre el nivel del mar. Es una estructura colgada, con tirantes rectos y tablero metálico. A este puente (13) se le concedió el premio internacional de la Convención Europea de Construcciones Metálicas correspondiente a 1979.

Y para terminar con las grandes obras necesarias para el tráfico en carreteras o autopistas, citaremos el puente de Carlos Fernández Casado (18) que cruza el embalse de Barrios de Luna, en la Autopista de Campomanes a León, que ha sido inaugurado en la segunda quincena del pasado mes de agosto. El tipo estructural corresponde también a un puente colgado, con tirantes rectos y tablero de hormigón; sus pilas miden 104 y 118 metros de altura. La longitud total es de 637 metros y el vano central, de 440 metros que es el mayor del mundo en su clase.

A lo largo de esta exposición y en esta última parte dedicada a las carreteras, he mencionado la actuación de dos importantes empresas españolas en Hispanoamérica, en la autopista elevada de Buenos Aires y en el puente sobre el río Paraguay; al no haber citado más realizaciones por falta de tiempo, podría parecer que no se habían hecho más obras y que éstas eran las únicas, lo que no es cierto. Por otra parte, y para acabar esta charla, me parece que una buena forma de mostrarles el desarrollo alcanzado por nuestras empresas en el extranjero, dentro del campo de la Ingeniería Civil, sería de tallar las características de las construcciones más importantes. Esto resultaría tan largo y fatigoso para ustedes que me he limitado a recoger en un cuadro los países y el tipo de obras que se han construido en cada uno. En este cuadro, cada símbolo corresponde a una o más obras realizadas por una sola Empresa o por varias que actuarían independientemente; son trabajos conseguidos por concurso en competencia con empresas de reconocido prestigio internacional. Su contratación ascendió a 100 millones de dólares en 1974 y ha llegado a 1.200 millones en 1980. En total, en estos siete años se ha contratado obra por 3.900 millones de dólares.

A lo largo de esta exposición he intentado mostrar la evolución durante el siglo actual, de la Construcción Civil en España y espero y deseo se hayan formado una idea clara del alto nivel alcanzado por nuestros técnicos y de la importante labor realizada por nuestras empresas; si no lo he conseguido; la culpa es mía no de ellos.

PROYECTOS Y OBRAS REALIZADOS POR EMPRESAS ESPAÑOLAS EN OTROS PAISES	Canales	Presas	Tratamiento Aguas	Centrales Hidroeléctricas	Centrales Térmicas	Carreteras y Autopistas	Ferrocarriles	Puentes	Túneles	Aeropuertos	Factorías, Silos, etc.	Puertos, Diques, etc.	Astilleros
<u>EUROPA</u>													
Francia.....	.	.	.	.	.	.	.	X	X	.	X	.	.
Portugal.....	.	.	.	.	.	X	.	X	X	.	X	.	.
Andorra.....	.	.	.	.	.	X	.	X	X	X	X	.	.
<u>AMÉRICA</u>													
Méjico.....	.	.	X	.	.	.	X	X	.	.	.	X	X
Guatemala.....	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.
Costa Rica.....	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.
Cuba.....	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.	X	.	.
Rep. Dominicana..	.	X	.	X	X	X	.	X	X	.	X	.	.
Colombia.....	.	X	.	.	X	.	.	.	X	X	.	.	.
Venezuela.....	.	X	X	.	X	.	X	X	X	X	X	.	.
Ecuador.....	.	X	.	X	.	.	.	X	X	X	.	.	.
Perú.....	X	X	.	.	.	.	.	X	X	.	.	.	.
Paraguay.....	.	.	.	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.
Uruguay.....	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.
Argentina.....	X	X	.	X	X	X	.	X	.	.	X	X	.
<u>AFRICA</u>													
Marruecos.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X	.
Argelia.....	.	X	X	.	.	.	.	X	.	.	X	X	.
Túnez.....	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.
Libia.....	.	.	X	.	.	X	.	X	.	.	.	.	.
Egipto.....	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.
Senegal.....	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Nigeria.....	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.
Camerún.....	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.
Guinea.....	.	.	.	.	X	X	.	X	.	X	.	.	.
Madagascar.....	.	.	.	.	.	.	.	X	.	.	X	.	.
<u>ORIENTE MEDIO</u>													
Turquía.....	.	X	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.
Irak.....	X	.	X	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Irán.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X	X
Kuwait.....	.	.	.	.	.	X	.	.	.	.	.	.	.

B I B L I O G R A F I A

1. Alzola, Pablo: Las Obras Públicas en España. Estudio histórico. Biblioteca de la Revista de Obras Públicas, 1899.
2. Turia Sur. CUBIERTAS Y TEJADOS, S.A. y COMPAÑIA DE LOS FERROCARRILES DE MEDINA DEL CAMPO A ZAMORA Y DE ORENSE A VIAGO.
3. Acueducto Tajo-Segura. DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO, 1982.
4. Obras Públicas. AGROMAN EMPRESA CONSTRUCTORA, 1983.
5. Salto "José María de Oriol". HIDROELECTRICA ESPAÑOLA, S.A., 1970.
6. Grandes Presas. IBERDUERO, S.A., 1973.
7. Cubierta del Parque de Carbones de la Central Térmica de Puentes de García Rodríguez. ENTRECANALES Y TAVORA, S.A., 1981.
8. Realizaciones Industriales. AGROMAN EMPRESA CONSTRUCTORA, 1983.
9. Nuevo Astillero en la Bahía de Cádiz. Factoría de Puerto Real. ENTRECANALES Y TAVORA, S.A., 1975.
10. 30 Años de Proyectos y Obras. FERROVIAL, 1983.
11. Obras. HUARTE Y CIA, S.A.

12. Proyectos. Oficina de Proyectos CARLOS FERNANDEZ CASADO, S.A., 1980.
13. Actividades de DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A., 1980.
14. "Autopista Villalba-Villacastín", en Revista de Obras Públicas, Abril de 1972.
15. Estructuras y Prefabricados. DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A., 1975.
16. International Division. ENTRECANALES Y TAVORA, S.A., 1983.
17. Puente de Rande en la Autopista del Atlántico. CUBIERTAS Y TEJADOS, S.A. y COMPAÑIA DE LOS FERROCARRILES DE MEDINA DEL CAMPO A ZAMORA Y DE ORENSE A VIGO, 1977.
18. Autopista Campomanes-León. AUTOPISTA CONCESIONARIA ASTUR-LEONESA, S.A., 1983.

LA INGENIERIA AERONAUTICA: JUAN DE LA CIERVA

Por José Warleta Carrillo

## I

ANTES DE LA CIERVA

Hablar de la ingeniería aeronáutica en el siglo XX supone una limitación muy ligera, ya que el primer vuelo de un aeroplano tuvo lugar en 1.903 y los primeros dirigibles relativamente maduros aparecieron en el primer decenio de este siglo. No obstante, la aerostación había aparecido ya en el siglo de las luces. Dentro de cuatros días se cumple el bicentenario de la primera ascensión libre de un globo de aire caliente (tipo Montgolfier, 21 de noviembre de 1.783) y el primero de diciembre el de la misma hazaña realizada por un aerostato de hidrógeno (tipo Charles).

Nueve años después de aquellos históricos eventos, aparece el primer globo construido en España de que tengamos noticias. En noviembre de 1.792 se realizaron en Segovia las primeras experiencias de un globo cautivo específicamente destinado a la observación militar. Los constructores y experimentadores de este aerostato fueron los oficiales del Real Colegio de Artillería bajo la dirección del capitán don Luis Proust, profesor en dicho centro. Se trataba del eminente químico francés Joseph Louis Proust, autor de la ley de las proporciones constantes, que, durante el tiempo en que residió en España fue también director del laboratorio del rey Carlos IV.

A los pocos días de las experiencias realizadas en Segovia, el globo fue llevado a El Escorial, donde efectuó con éxito una ascensión ante los reyes. Aunque, tras estos ensayos, no se tiene noticia de que continuara el desarrollo en nuestro país de los globos de observación, debe hacerse notar que el primer empleo real de un aerostato cautivo en operaciones de guerra no se efectuaría en el mundo hasta casi dos años después (por los franceses en la batalla de Fleurus, junio de 1.794) y que aun pasaría casi un siglo antes de que los países más adelantados establecieran servicios permanentes de aerostación militar.

#### El dirigible Torres Quevedo

Aunque la idea de dotar a los aerostatos de medios de propulsión y de mando para poder desplazarse con ellos a voluntad del aeronauta, librándose de la esclavitud del viento, estuvo presente desde la invención del globo, su realización presentaba problemas importantes. En 1.884, los franceses Renard y Krebs consiguieron realizar un vuelo con regreso a punto de partida (demostración de cierto grado de dirigibilidad) con su aerostato La France de envuelta fusiforme dotado de un motor eléctrico y una hélice. Para que la alargada envuelta no se deformara al colgar de ella la barquilla, ésta tenía más de 30 metros de longitud, lo que permitía una suspensión distribuida.

En 1.897 apareció en Alemania el primer dirigible de envuelta rígida (Schwarz), cuya forma exterior no dependía de la presión del gas sustentador. El conde Ferdinand von Zeppelin hizo volar en 1.900 su primer modelo rígido; que suponía un enorme avance. Por su parte, los franceses comenzaron, a par-

tir de 1.902, a lanzar diferentes tipos de dirigibles semirrígidos (Lebaudy) o flexibles (Astra y otros) con ciertos visos, ya, de aplicación práctica.

Los dirigibles rígidos requerían el cobijo de un hangar para protegerlos de los vientos fuertes cuando estaban en tierra. Los flexibles podían plegarse una vez desinflados, pero la exigencia de una barquilla larga suponía un peso muerto y un estorbo indeseables. En esta situación irrumpió en el campo aeronáutico el genio del ingeniero español don Leonardo Torres Quevedo. No seré yo quien presente en este ciclo la gran figura de don Leonardo, que ya se había distinguido como inventor en diversas áreas. La intención de Torres, en aquel entonces, era aplicar a un dirigible sus sistemas de mando a distancia. En el proceso, concibió un sistema original de envuelta flexible que no requería una barquilla larga. El estudio del dirigible de "armadura funicular" data de 1.902 y, presentado en las Academias de Ciencias de España y Francia, recibió calurosos elogios de eminentes personalidades científicas. La idea consistía en una suspensión interior a base de tres cordones longitudinales que determinaban la forma trilobulada de la envuelta una vez inflada.

La construcción del primer dirigible sistema Torres se inició a mediados de 1.905 en los talleres del Parque de Aerostación de Guadalajara, siendo el inventor ayudado por el capitán de Ingenieros don Alfredo Kindelán, uno de los distinguidos aerosteros del teniente coronel don Pedro Vives, jefe del Servicio. Se importó de Francia la tela cauchotada para la envuelta y dos motores Antoinette de unos 25 CV cada uno. A causa de un proceso de autovulcanización, la envuelta original de 950 metros cúbicos perdió estanqueidad, siendo necesario importar nuevas telas. En esta reconstrucción se aumentó

la capacidad del globo hasta 1.050 metros cúbicos.

Vencidos éste y otros problemas, se pudo ensayar el dirigible en 1.908, realizándose algunas ascensiones experimentales en Guadalajara. Los resultados, aunque no concluyentes en cuanto a la estabilidad y el mando de la aeronave, pusieron claramente de relieve que la armadura funicular cumplía eficazmente su función de conservación de la forma.

Torres Quevedo vio la necesidad del apoyo de unas instalaciones especializadas, con medios más completos que el Parque de Aerostación, para poder desarrollar su invento a un ritmo adecuado, introduciendo sin demora las modificaciones oportunas. Apartado Kindelán del proyecto, el inventor marchó a Francia acompañado del capitán de Ingenieros Samaniego y llevándose el prototipo hecho en Guadalajara. En Sartrouville, cerca de París, alquiló un hangar a la sociedad Astra y comenzó la modificación de su dirigible. En octubre de 1.909, la aeronave fue inflada y realizó una ascensión tripulada por el francés Cormier y Samaniego. De nuevo, la envuelta con armadura funicular demostró su efectividad, pero el mando se reveló insuficiente (el empenaje no estaba terminado), de manera que fue necesario efectuar un descenso que terminó con el dirigible enganchado en una haz de líneas telegráficas. Las averías no fueron demasiado importantes, pero la interrupción de los ensayos se alargó por una inoportuna avería de los motores en tierra. La sociedad Astra, no obstante, había visto lo suficiente y ofreció entonces a Torres comprarle la exclusiva de sus patentes para el mundo excepto España. Vuelto a Madrid, el inventor presentó esta propuesta al Ministerio de Fomento. Habiendo recibido subvención oficial para sus trabajos, Torres solicitó el permiso del Gobierno español para aceptar la ofer

ta de Astra. Una real orden de 31 de diciembre de 1.909 le autorizó a contratar con Astra la construcción y ensayo de un globo dirigible de su sistema, así como la cesión de sus patentes extranjeras.

En 1.910, Samaniego trabajó con Astra en el proyecto del segundo dirigible Torres, llamado Astra-Torres No. 1, que tenía una capacidad de 1.600 metros cúbicos e iba propulsado por un motor Chenu de 55 CV. En los primeros meses de 1.911, la aeronave fue ensayada con gran éxito. Poco después ganó la Copa Deperdussin y el 14 de julio de aquel año participó en la revista militar Longchamp.

En España jamás se volvería a construir un dirigible del sistema Torres Quevedo. Por el contrario, las marinas de guerra de Francia y Gran Bretaña utilizaron durante la Primera Guerra Mundial gran cantidad de ellos (unos veinte los franceses y más de cincuenta los británicos) en servicios de patrulla sobre el mar, acompañamiento de convoyes y lucha antisubmarina. El 17 de noviembre de 1.917, un Astra-Torres de la marina francesa, el A.T.6, realizó la primera travesía del Mediterráneo por dirigible. Con capacidades comprendidas entre 4.000 y 11.000 metros cúbicos, los dirigibles sistema Torres fueron casi con toda seguridad los mejores flexibles de su época. Es muy satisfactorio, y al mismo tiempo triste, ver que en la edición de 1.919 del anuario Jane's All the Whorld's Aircraft figuran ilustrados no menos de cinco tipos Astra-Torres franceses y británicos, fácilmente identificables por su envuelta trilobulada, y ningún dirigible Torres español.

## II

LA CIERVA Y EL AEROPLANOEl alba de las aeronaves más pesadas que el aire

En el último decenio del siglo XIX, el alemán Otto Lilienthal logró realizar vuelos en forma sistemática con sus planeadores. Muerto en accidente en 1.896, su obra fue continuada por el británico Pilcher (que también se mató) y el franco-norteamericano Chanute. Entre 1.900 y 1.902, los hermanos norteamericanos Wilbur y Orville Wright ensayaron planeadores a los que genialmente dotaron de mando lateral por alabeo de las alas. Este fue el camino hacia los históricos vuelos del 17 de diciembre de 1.903 con el primer aeroplano con motor que fue realmente controlable.

En Europa, Ferber, Voisin y otros construyeron planeadores. En 1.908, Heraclio Alfaro, un alavés de 15 años, ensayó el suyo propio. Luego vendría el capitán de Ingenieros Cañellas (1.909) y, en 1.910, tres jovenzuelos residentes en Madrid que se identificaban con las siglas B.C.D. y de los que habremos de hablar más extensamente, sobre todo de uno de ellos.

Mientras tanto, la aviación con motor había hecho progresos considerables y era sensación mundial. Los hermanos Wright conservaron su delantera hasta fines de 1.908 por lo menos. En 1.909 fueron ya alcanzados y superados. En julio, Blériot cruzó en vuelo el Canal de la Mancha y, en agosto, los aparatos concurrentes a la Semana de Aviación de Reims lograron marcas relevantes en velocidad (77 km/h), altura (155 m), duración (3 horas 5 minutos) y distancia (180 km en circuito cerrado). Los aparatos que establecieron estos récords eran to

dos europeos.

Este año voló el primer aeroplano proyectado y construído por un español, aunque no en España. Antonio Fernández, natural de Aranjuez, de 33 años, no era un científico ni un ingeniero, sino un creador de moda femenina bien establecido en Niza cuando sintió la llamada de la aviación. Su biplano, presentado en agosto en Reims, probablemente ni logró despegar, pero él no desmayó. En septiembre se inauguró el primer Salón Aeronáutico en el Grand Palais parisiense, disponiendo Fernández de stand propio en el que exhibió su biplano, que seguía sin volar. A pesar de esto, Fernández vendió la licencia de fabricación al que más adelante sería famoso constructor de aviones, Pierre Levasseur.

Fernández logró su primer vuelo en circuito cerrado el 5 de noviembre en Antibes. Al día siguiente, en otro vuelo, se produjo una rotura en el mando de altura, estrellándose el aparato y pereciendo el esforzado constructor y piloto. La bondad del biplano Fernández se demostraría poco después por el rendimiento que proporcionaron los dos ejemplares construídos por Levasseur y empleados como aparatos de escuela.

### Juan de la Cierva

Juan de la Cierva Codorníu nació en Murcia el 21 de septiembre de 1.895. Su padre, don Juan de la Cierva Peñafiel, era abogado y miembro destacado del Partido Conservador y su madre, doña María Codorníu Bosch, era hija del eminente ingeniero de montes don Ricardo Codorníu Stárico. Dos años después, el matrimonio la Cierva tuvo su segundo y último hijo, Ricardo. Teniendo el pequeño Juan nueve años, su padre fijó su residencia en

Madrid, habiendo sido nombrado ministro de Instrucción Pública. Cuando no ocupaba cargos públicos, don Juan ejercía la abogacía con gran éxito y provecho económico. Juanito estudiaba el bachillerato en casa, con profesores particulares. Su interés por la técnica fue estimulado por su abuelo materno y por su amigo José Barcala, hijo de un ingeniero de caminos. Con un chico un poco mayor que ellos, Pablo Díaz, cuyo padre tenía un taller de carpintería mecánica, Juan y José formaron el ya mencionado trío B.C.D. que construyó un planeador en 1.910. Tal vez no fuera un diseño muy bueno, pero permitió a los chicos gustar, en saltos de pocos segundos de duración, la inigualable sensación del vuelo.

En el año 1.911 comenzó a funcionar el Aeródromo militar de Cuatro Vientos, inicialmente sólo una escuela de pilotos donde se deberían experimentar los aeroplanos para evaluar su utilidad militar, aún muy discutida en todo el mundo. Este año, Juan de la Cierva terminó el bachillerato y comenzó la preparación para la Escuela de Caminos. Aunque su vocación era ya firmemente aeronáutica, la inexistencia de una carrera técnica de esta especialidad le hizo elegir la misma profesión que Barcala, pensando (correctamente) que ello le aseguraba una formación sólida en matemáticas y mecánica, imprescindible para el tipo de actividad que deseaba seguir.

#### Los primeros aeroplanos de la Cierva

Juanito tardó dos cursos en ingresar en Caminos. Durante el primero (1.911-1.912) construyó con Barcala y Díaz, en la carpintería de este último, un biplano con motor Gnome de 50 CV que denominaron BCD.1, aunque con frecuencia era llamado Can grejo por su color rojo. El aparato fue volado en Cuatro Vien-

tos en el verano de 1.912 por el francés Jean Mauvais, propietario del motor. Parece que fue el primer aeroplano proyectado y construido por españoles en España que voló bien durante un período sustancial.

Durante su segundo curso de preparación, la Cierva realizó con sus compañeros un monoplano llamado BCD.2. Escaso de potencia y sobrado de peso, este aparato no tuvo mucho éxito. Su desarrollo debió verse interrumpido por dos razones: los padres de la Cierva y Barcala dejaron de aportar fondos para las experiencias de los muchachos y, además, los estudios reclamaban su tiempo. La retirada del campo aeronáutico fue definitiva para Barcala, pero no así para la Cierva y Pablo Díaz.

#### Comienzos de la construcción aeronáutica en España

Al estallar la Primera Guerra Mundial, se cortó el suministro de aviones y motores a España. El coronel Vives, director de Aeronáutica Militar, puso en movimiento a sus ingenieros para producir células de aeroplano, y a la prestigiosa fábrica de automóviles La Hispano-Suiza, de Barcelona, para crear un motor de aviación nacional. El capitán Barrón proyectó el biplano Flecha, copia del Lohner austríaco con algunas aportaciones originales, y, seguidamente, otros tipos propios. En julio de 1.915, fue una célula de Flecha la que voló por primera vez con el nuevo y revolucionario motor Hispano-Suiza.

Es bien conocido el éxito que tuvo este motor en Francia y, en general, entre los aliados, que lo fabricaron a millares.

Además de los talleres de Aviación Militar, fabricaron pequeñas series durante el conflicto fábricas civiles en Barcelona, Zaragoza y Santander.

El bombardero de la Cierva

En septiembre de 1.918, Aeronáutica Militar convocó un concurso de prototipos nacionales en las especialidades de caza, reconocimiento y bombardeo. Las pruebas de los contendientes en las dos primeras categorías se celebraron en Cuatro Vientos en marzo-abril de 1.919. Los dos aparatos que más se destacaron fueron el monoplaza de caza y el biplaza de reconocimiento proyectado por Barrón en la nueva sociedad La Hispano de Guadalajara, filial de La Hispano-Suiza.

En la categoría de bombardeo sólo se presentó un notable trimotor proyectado por Juan de la Cierva, que estudiaba el último curso de Caminos, con ayuda financiera del conde de los Mores. El aparato no estuvo listo para el vuelo hasta principios de julio. El día 8, poco después de despegar por primera vez, se estrelló por haber entrado en pérdida de velocidad a baja altura. El piloto resultó casi ileso, pero el trimotor resultó convertido en un montón de astillas. El joven la Cierva quedó profundamente afectado, pero, de una forma que luego se revelaría característica en él, comenzó a pensar inmediatamente en una solución general al problema de la pérdida de velocidad.

## III

LA INVENCION DEL AUTOGIROHacia una nueva manera de volar

Al terminar el año 1.919 encontramos a Juan de la Cierva y su circunstancia en una nueva configuración. Ahora es ingeniero de Caminos (aunque nunca ejercerá como tal) y diputado a Cor

tes por Murcia (impelido por su padre, pero sin entusiasmo político). Está casado desde el 10 de diciembre con María Luisa Gómez-Acebo Varona (será hasta su muerte un ejemplar hombre de familia) y ha sufrido un golpe muy duro con la pérdida de su trimotor (lo que determinará la orientación de su vida de inventor desde este momento).

La Cierva ha decidido buscar una forma de eliminar el peligro de la pérdida de velocidad que es propio de los aeroplanos. De manera radical, opta por abandonar el ala fija como célula sustentadora e investigar por caminos diferentes. Desde hace siglos, la humanidad ha conocido los conceptos ornitóptero y helicóptero, aunque nadie ha construido una máquina práctica según estos principios. En el ornitóptero, la fuerza sustentadora debe obtenerse mediante alas batientes. En el helicóptero, mediante una o más hélices de eje vertical accionadas por algún tipo de motor. El juguete oriental llamado "trompo chino" data de antes de Jesucristo y es bien conocido por Juan de la Cierva desde su niñez. Algunos modelos reducidos de helicópteros han volado en occidente, aunque carentes de los mandos que requiere una aeronave tripulada. En 1.907, dos helicópteros distintos han conseguido en Francia sostenerse precariamente en el aire con un hombre a bordo: el de Breguet y Richet y el de Cornu. Otros inventores se han puesto al trabajo en este problema.

En 1.919, un argentino de origen italiano, Raul Pateras Pescara, inició una teoría de la autorrotación de las alas giratorias pensando en el problema del fallo de motor en un helicóptero. Para conseguir que el rotor siguiera girando y frenara la caída, Pescara ideó invertir el paso de las palas de positivo (hélice) a negativo (molinete). Además, para mandar el

helicóptero a través del rotor, Pescara adoptó el llamado paso cíclico que hoy emplean todos los helicópteros. Pescara llegó a Barcelona hacia 1.919 o 1.920, trabajando en su invento con la ayuda de Heraclio Alfaro (sobre estabilidad y mando) y los Talleres Hereter (fabricación de un prototipo).

La Cierva rechazó las posibles soluciones que pudieran ofrecer el ornitóptero y el helicóptero, por considerarlas excesivamente complicadas aerodinámica y mecánicamente. En vista de ello comenzó a investigar la posibilidad de obtener un sistema de alas que se movieran en relación a la estructura de la aeronave y mantuvieran este movimiento sin necesidad de recibir energía del motor, que sólo serviría para propulsar el aparato horizontalmente mediante una hélice, como en un aeroplano. El problema consistía en conseguir que las fuerzas aerodinámicas operando sobre cada ala, además de producir la necesaria sustentación, impulsaran dicha ala en su movimiento respecto a la estructura del aparato. Después de estudiar varias posibles disposiciones, la Cierva optó por un sistema de alas que constitufan un rotor de eje casi vertical. Genialmente había descubierto la autorrotación de un rotor cuyas palas presentan un pequeño paso positivo. Es decir, para conseguir la autorrotación no era necesario, como había creído Pescara, invertir el paso de las palas. El flujo de aire que atraviesa el disco del rotor penetrando por la cara inferior (sea porque el aparato desciende, sea por la pequeña inclinación hacia atrás del eje en vuelo horizontal) mantiene la rotación del rotor de pequeño paso positivo siempre que dicha rotación se haya iniciado preciamente en el sentido correcto, y la fuerza sustentadora es, por supuesto, mucho mayor que con paso negativo.

### Los primeros Autogiros

La idea básica del Autogiro (nombre ideado por la Cierva, que lo registrará en 1.923) estaba lograda. El 1 de julio de 1.920 (una semana antes del aniversario de la destrucción del trimotor), el inventor solicitó una patente para un "Nuevo aparato de aviación". La configuración de la aeronave propuesta comprendía un sistema de rotores coaxiales que giraban en sentidos opuestos para eliminar el desplazamiento lateral de la resultante de un rotor único en vuelo horizontal (en el que la pala que avanza contra el viento relativo de la marcha sustenta más que la que retrocede). Esta patente, la No. 74.322, fue extendida por el Registro de la Propiedad Industrial y Comercial de España con fecha 27 de agosto del mismo año.

El primer Autogiro, que sería conocido como C.1, fue ensayado en Getafe en octubre de 1.920, rodando por el campo. Se vio que la autorrotación se producía como la Cierva había previsto (y muy probablemente ensayado mediante un modelo de rotor sujeto a un automóvil). No obstante, el rotor inferior giraba más lentamente que el superior, a causa de la interacción aerodinámica, de manera que el C.1 tendía a volcarse a la derecha (el rotor superior, dominante, giraba a derechas visto desde arriba).

Buscando otra solución a la asimetría de sustentación, la Cierva observó que la pala que retrocede ofrece mayor ángulo de ataque al viento relativo que la que avanza. Sobre esta base, intentó diseñar un rotor en el que este mayor ángulo de ataque compensara la menor velocidad aerodinámica, introduciendo este rotor "compensado" en su proyecto C.2. En marzo de 1.921, cuando ya habían comenzado en Barcelona los ensayos del helicóptero Pescara y el Autogiro C.2 estaba en construcción, la

Cierva demostró en la Chopera del Retiro, ante la Comisión Técnica del Real Aero Club de España (incluyendo al comandante don Emilio Herrera) y estando también presente el académico de Ciencias don Juan Zafra, un modelo de Autogiro con motor de gomas que volaba perfectamente. Este pequeño aparato, construído bajo la dirección de la Cierva por su primo don Antonio Hernández-Ros Codorníu, tendría gran importancia en la futura historia del vuelo con alas giratorias.

Un problema de importación de material retrasó la construcción del C.2, y la Cierva improvisó, para aprovechar el tiempo, el C.3, que también disponía de un rotor teóricamente "compensado", Tanto el C.3 como el C.2 (ensayados sucesivamente desde mediados de 1.921 a principios de 1.922) fracasaron, volcándose a la derecha como el C.1. Pero para el final de estas experiencias con rotores "compensados", la Cierva tenía ya en la mente su segundo gran hallazgo.

#### La articulación de batimiento

¿En qué consistía la diferencia entre el modelo reducido de 1.921, que volaba bien, y los Autogiros de tamaño natural?. La Cierva, tras atenta consideración, decidió que lo esencial era la flexibilidad de las palas de junco del modelo. Si las palas grandes se articularan al buje de manera que pudieran batir libremente arriba y abajo, la fuerza centrífuga las mantendría horizontales, sin transmitir al eje del rotor ningún momento de vuelco.

Un rotor cuyas palas estaban articuladas al buje mediante charnelas de eje horizontal fue el adelanto fundamental introducido en el Autogiro C.4, que apareció en la primavera de

1.922. Diversas causas ajenas al problema ya resuelto del momento de vuelco impidieron que los ensayos realizados en 1.922 con el C.4 tuvieran éxito. El mando lateral por inclinación del rotor completo era demasiado duro para las fuerzas de un piloto normal, por lo que fue finalmente sustituido por un par de alerones de aeroplano articulados a una viga transversal. El C.4 así modificado despegó por primera vez el 10 de enero de 1.923 pilotado por el teniente de Caballería, piloto militar, don Alejandro Gómez Spencer; pero en el breve salto que dio manifestó tendencia, ¡oh sorpresa!, a caer a la izquierda. La causa era ahora simplemente el par motor y la Cierva corrigió el defecto rápidamente. El 17 de enero, Gómez Spencer efectuó varias rectas en Getafe a unos dos metros de altura. Esta fecha quedará para la historia como la del primer vuelo de una aeronave de alas giratorias totalmente controlable.

La breve pero fundamental vida de servicios del C.4 culminó el 31 de enero en Cuatro Vientos, donde Gómez Spencer efectuó un vuelo de tres minutos y medio en circuito cerrado de unos cuatro kilómetros, alcanzando una altura de más de 25 metros sobre el terreno. Este vuelo fue oficialmente observado y certificado por el comandante Herrera, jefe del Laboratorio de Aviación Militar y comisario deportivo de la Federación Aero-náutica Internacional.

La noticia del éxito del Autogiro fue difundida por la prensa española y algunas publicaciones aeronáuticas extranjeras, pero no tuvo repercusión por lo pronto. La Cierva construyó seguidamente el C.5, último Autogiro financiado por él mismo y que no aportó ningún adelanto importante. Entonces, Aviación Militar acudió en ayuda del inventor. Un rotor a escala 1:10 fue ensayado en el túnel aerodinámico de Herrera y en fe-

brero de 1.924 comenzó sus ensayos el Autogiro C.6, construido en los talleres de Cuatro Vientos. Este aparato fue inicialmente pilotado por el capitán Ureta, demostrando unas posibilidades muy superiores a las de los anteriores tipos. En diciembre, el capitán de Artillería don Joaquín Loriga Taboada realizó con él tres vuelos decisivos, siendo el tercero de ellos el viaje Cuatro Vientos-Getafe. Este mismo mes, Loriga exhibió en el Salón Aeronáutico de París películas cinematográficas de los ensayos, lo que comenzó a despertar el interés del mundo aeronáutico internacional por el Autogiro.

#### El Autogiro sale de España

Los talleres de Cuatro Vientos terminaron en junio de 1.925 el C.6bis, Autogiro que representaba una mejora del C.6, especialmente en lo referente a las palas del rotor. El día 24 de aquel mes, Loriga exhibió brillantemente el nuevo aparato en Cuatro Vientos ante S.M. el rey D. Alfonso XIII. Con permiso de Aviación Militar y a petición del gobierno británico, el piloto Courtney (contratado por el inventor por enfermedad de Loriga) ensayó el Autogiro en Farnborough y un grupo de hombres de negocios británicos ofrecieron a la Cierva el apoyo que los financieros españoles, al parecer, ni se habían molestado en considerar. El resultado fue la fundación, en marzo de 1.926, de la Cierva Autogiro Company, con sede en Londres, bajo la presidencia de James G. Weir, siendo Juan de la Cierva miembro del consejo de administración y director técnico. En enero y febrero, el C.6bis había sido también ensayado en Francia, pero sin consecuencia inmediata.

La Cierva Autogiro Co. sería siempre únicamente una oficina de estudios y proyectos, encomendándose la fabricación de

los Autogiros británicos a la industria aeronáutica de ese país, particularmente a la firma A.V. Roe & Co. (Avro). El inventor conservó la propiedad de sus patentes españolas.

#### La articulación de arrastre

Los primeros Autogiros hechos en Inglaterra, ambos en 1.926, fueron el C.6c para el Air Ministry y el C.6d para uso experimental por la Cierva Autogiro Co. En los muñones de las palas del C.6d apareció una deformación causada por los esfuerzos cíclicos en el plano de rotación. En febrero de 1.927, cuando Frank Courtney realizaba un ensayo con el C.6c, una pala se desprendió hallándose el Autogiro a 20 o 30 metros del suelo. El rotor, aunque incompleto, limitó la velocidad de descenso y, aunque otra pala se desprendió a 6 metros del terreno, Courtney salió de los restos solamente magullado, principalmente por las trepidaciones. Una vez repuesto, el piloto británico abandonó la empresa. Previsoramente, Juan de la Cierva se había hecho piloto privado en enero.

La Cierva tenía ya una solución ideada: añadir a la articulación de batimiento una segunda, de eje vertical ahora, que permitiera a las palas oscilar dentro del plano de rotación. Pero así como el movimiento de batimiento se amortiguaba naturalmente, la nueva articulación (llamada de arrastre o de resistencia) presentaba un problema dinámico delicado. Un rotor con las dos articulaciones fue montado en una torre de ensayo en Hamble para ser movido por el viento. Las palas, pese a estar enlazadas entre sí mediante cordones elásticos, experimentaban fuerte trepidación. Mientras tanto, los Autogiros británicos tenían prohibido volar.

En abril, la Cierva llegó a Madrid para ensayar el C.7, un Autogiro construido por la casa Loring de Carabanchel Alto el año anterior y que ahora había sido muy modificado. El inventor hizo instalarse inmediatamente articulaciones de arrastre. Tras casi 50 horas de ensayo en punto fijo, con el motor movido por el viento, la Cierva creyó haber encontrado unos enlaces elásticos entre palas que amortiguaban bien las grandes oscilaciones de éstas en su plano de rotación. Grande fue su sorpresa cuando Reginaldo Truelove, pilote de Loring, comenzó a rodar el aparato por el campo. Con gran violencia se manifestó el fenómeno ahora bien conocido como "resonancia de suelo". La Cierva, sin desfallecer, modificó numerosas veces los enlaces entre palas y, finalmente, el C.7 pudo hacer el 19 de mayo el primer vuelo de la historia con un rotor doblemente articulado. Hasta hace poco se había ignorado, por el poco cuidado que los españoles ponemos en estas cosas, que esta conquista la realizó la Cierva en España con un aparato español, siendo atribuída a un Autogiro británico.

A partir del verano de 1.927, la labor de la Cierva en Inglaterra tomó un ímpetu especial. El inventor comenzó a actuar como piloto de ensayos, cometido que realizaba admirablemente, según el testimonio de sus colaboradores. En septiembre de 1.928, pilotando el C.8 Mk.II, cruzó el Canal de la Mancha, hazaña a la que nunca dio importancia técnica, pero que fue un impulso importante para conseguir el reconocimiento mundial.

#### El lanzamiento del rotor

Un obstáculo para la comercialización del Autogiro era lo laborioso de su despegue. Tras iniciar la rotación del rotor mediante una cuerda o a mano, el piloto comenzaba a rodar

por el aeródromo hasta que las palas, aceleradas por el viento de la marcha, alcanzaban el régimen de vuelo. El Autogiro, capaz de volar con seguridad a muy bajas velocidades y de aterrizar en muy poco terreno, necesitaba un dispositivo eficaz para lanzar el rotor en punto fijo hasta una velocidad angular que acortase drásticamente la carrera de despegue.

La Cierva tenía patentados lanzadores mecánicos (por aplicación al rotor de un par extraído del motor del Autogiro o de una instalación en tierra) y lanzadores aerodinámicos (por deflexión hacia arriba del chorro de la hélice para acelerar las palas). El primer Autogiro que tuvo un lanzador de rotor eficaz fue, de nuevo, un aparato español, el Loring C.12 de 1929, tras ser modificado para dotarlo de la llamada "cola de escorpión". Esta cola biplana podía adoptar en tierra una configuración deflectora que enviaba el chorro de la hélice hacia arriba mientras el Autogiro se mantenía en punto fijo gracias a los frenos que equipaban sus ruedas, cosa poco frecuente en los aeroplanos de entonces. En junio, los ensayos del C.12 conformaron el éxito de la cola de escorpión, que fue usada seguidamente en los pequeños C.19 (hasta el Mk.III inclusive) fabricados en cierta cantidad en Inglaterra.

Aquel verano, la Cierva visitó por primera vez los Estados Unidos, donde Mr. Harold F. Pitcairn había adquirido los derechos del Autogiro para América. En su estancia en Filadelfia, en casa de su acaudalado socio y devoto admirador, radactó un manual, Engineering Theory of the Autogiro, que contenía datos de proyecto para uso de Pitcairn y de las firmas que adquiriesen licencias para construir Autogiros de propio proyecto. Además, la Cierva probó personalmente los primeros Autogiros americanos, algunos de los cuales utilizaban cola de escorpión.

Pitcairn era adverso al lanzador por deflexión de chorro de la hélice, que consideraba poco adecuado para un Autogiro práctico como el que quería poner en venta. Sin dudarlo, encargó a la firma Machine and Tool Designing Co. un lanzador mecánico (transmisión y embrague entre motor y rotor) que resultó un éxito. No obstante, antes de que el lanzador de la M&T funcionara en el Autogiro Pitcairn PCA-2, Heraclio Alfaro, que ahora tenía una oficina de proyectos en Cleveland, Ohio, proyectó y ensayó su propio lanzador mecánico, más pequeño, en el Autogiro PC-2-30, diseñado también por él para Harold Pitcairn. El hecho es que ambos lanzadores fueron satisfactorios.

En 1.931, Pitcairn comenzó a vender sus PCA-2 con lanzador automático, a pesar de la depresión económica. La Cierva Autogiro Co. británica adoptó también aquel año el nuevo dispositivo, presentando en noviembre dos modelos con él dotados: el C.19 MkIV y C.24 que, además, suponía un enorme paso adelante respecto de los anteriores, disponiendo de nuevos rotores de sólo tres palas montadas en voladizo. Un Autogiro del primer tipo de los dos tipos mencionados puede verse en el Museo de Aeronáutica y Astronáutica de Cuatro Vientos.

Así pues, en 1.931-1.932 nos encontramos con el Autogiro en un grado de madurez tal que permite su fabricación en series moderadas y su venta al público. Se trata de Autogiros con mandos de vuelo de aeroplano: timones de altura y dirección en la cola y alerones en unas cortas alas fijas. Los rotores de los americanos siguen siendo de cuatro palas con cables de suspensión (actuando como topes inferiores de batimiento) y cables entre palas con amortiguadores para las oscilaciones de arrastre. Como hemos dicho, los últimos modelos británicos tienen rotores de tres palas en voladizo, con topes de batimien-

to y amortiguadores de arrastre elegantemente incluidos en las mismas articulaciones. Todos ellos han adoptado el lanzador mecánico del rotor. En esta etapa, los Autogiros pueden ya despegar en distancias muy cortas (el C.19 Mk.IV lo hace en 27 metros), volar a velocidades máximas razonables (el C.24 de cabina alcanzaba 185 km/h, más que algunas avionetas de su tiempo) y a velocidades mínimas muy pequeñas (unos 40 km/h para el C.19 Mk.IV). En cuanto a la carrera de aterrizaje, ésta era nula: el Autogiro podía "colocarse" en el suelo sin rodar en absoluto. Los Autogiros eran de fácil pilotaje y, por supuesto, ignoraban el fenómeno de la caída brusca de sustentación por pérdida de velocidad de vuelo.

#### IV

#### EL DESARROLLO DEL AUTOGIRO

##### El autogiro de mando directo

Características notables en la corta vida de Juan de la Cierva fueron su continuidad de acción en el proceso de desarrollo del Autogiro y su fidelidad a un plan preconcebido de metas a lograr. Si en algún momento uno de sus objetivos se manifestaba errado o momentáneamente inalcanzable, se concentraba sin pausa en el siguiente. En cuanto a la preconcepción de metas, sirva de ejemplo mencionar que en la conferencia que el inventor pronunciara en Roma en enero de 1.929 ya expuso el principio del despegue por salto, que será su último logro. Al mismo tiempo, la humildad de la Cierva en su madurez nos es expuesta por Harol Pitcairn en una simple anécdota. En cierta ocasión, un ingeniero un tanto seguro de sí mismo vino a decir al inventor, en una discusión técnica, algo así como que él no solía equivocarse en aquella clase de problemas. "Querido señor",

contestó la Cierva, "yo, en cambio, me he equivocado infinitas veces".

Con el rotor tripala en voladizo, la Cierva consideró llegado el momento de dar un paso fundamental hacia el Autogiro puro: desprenderse del timón de altura y los alerones tomados del aeroplano y efectuar el mando longitudinal y lateral a través del rotor. Así nació, en pocas semanas, el prototipo C.19 Mk.V, que la Cierva ensayó en marzo de 1.932. Se trataba de un viejo C.19 despojado de sus alas fijas y alerones y dotado de un rotor de cabeza inclinable mandado por la palanca del piloto. Se intentó mantener en secreto los ensayos para no perjudicar las ventas de los modelos corrientes, pero pronto hubo filtraciones de prensa.

El C.19 Mk.V continuó en ensayos todo el año. El primer Autogiro de mando directo destinado a la producción en serie fue entonces proyectado por Georges Lepère para la casa Lioré-Olivier de París, bajo la designación CL.10 (Cierva-Lepère 10). Lepère era un distinguido ingeniero francés que ya había proyectado previamente otros Autogiros con licencia Cierva. A fines de 1.932, la Cierva efectuó los primeros vuelos del nuevo Autogiro en Villacoublay, dejando el resto de los ensayos a un piloto francés tras varios vuelos de instrucción con éste. Entonces ocurrió el primer accidente mortal de Autogiro. El piloto francés resultó muerto por despegar sin quitar previamente el bloqueo del mando longitudinal. El CL.10 no sería nunca fabricado en cantidad.

En los primeros meses de 1.933 estaba listo en Hanworth (que ahora era el campo de ensayos y escuela de la Cierva Autogiro Co.) el Autogiro C.30, resultando de un total refinamien-

to del C.19 Mk.V. El nuevo rotor inclinable era movido por una palanca colgante, eliminando las bielas de su antecesor. Este ingenioso dispositivo de mando fue ideado por Otto Reder, joven ingeniero alemán que trabajaba en la oficina de proyectos de la Cierva. El C.30 (matrícula británica G-ACFI) quedará para la historia como uno de los prototipos realmente importantes en el desarrollo de las aeronaves de alas giratorias. Era ya un Autogiro puro, que ni siquiera conservaba el timón de dirección de aeroplano. Despegaba en cortísima distancia, volaba más lentamente que un hombre a la carrera y aterrizaba sin rodar con mayor perfección que los Autogiros precedentes gracias al preciso control del mando directo. Las demostraciones de la Cierva con el C.30 fueron memorables.

De este prototipo emergió primero una preserie C.30P con uno de cuyos ejemplares visitó la Cierva España en 1.934, aterrizando y despegando en la breve cubierta del buque nodriza de hidros Dédalo en Valencia. Seguidamente, A. V. Roe, en Manchester, puso en fabricación una serie y, poco después, Lioré-et-Olivier comenzó también a producir el C.30 en Francia, totalizando más de 150 ejemplares entre ambos países. España adquirió cuatro C.30 hechos por Avro, dos para Aeronáutica Naval y dos para el Arma de Aviación. Uno de los Autogiros navales fue el primer aparato de alas giratorias empleado en operaciones militares reales (en Asturias, octubre de 1.934, para reconocimiento y enlace con puntos inaccesibles a los aeroplanos).

#### El Autogiro de despegue directo

El siguiente objetivo de la Cierva era el despegue por salto que ya describiera en Roma en 1.929. El procedimiento previsto consistía en embalar el rotor con el Autogiro en punto

fijo hasta que las palas alcanzaran un régimen superior al de vuelo, pero con paso de sustentación nula; entonces se desembragaría el lanzador y se aumentaría el paso de las palas hasta su posición en vuelo. De esta manera, el Autogiro, convertido en un "helicóptero movido por inercia", se elevaría de un salto, pasando seguidamente al vuelo de avance por la tracción de la hélice. La realización de esta idea ocuparía los tres últimos años de la vida del inventor. Este esfuerzo final de Juan de la Cierva, creemos, constituye una de las más ingeniosas y elegantes hazañas de la historia de la ingeniería. Los espectaculares resultados conseguidos por la Cierva en el despegue directo se basaban en el cambio automático de paso de las palas al desembragar el lanzador, automatismo logrado mediante curiosas combinaciones de ángulos de las articulaciones.

En otoño de 1.934, el fiel prototipo C.30 G-ACFI se hallaba en Hanworth dotado de una cabeza de rotor especial con la articulación de arrastre (normalmente vertical) inclinada a sólo 25 grados de la horizontal. Mientras actuaba el lanzador, las palas, arrastradas por el motor, se apoyaban en el tope posterior de arrastre, con paso nulo. Al desembragar el lanzador, las palas se adelantaban hasta el tope anterior, tomando el paso positivo de vuelo normal.

La Cierva realizó con el C.30 pacientes y sistemáticos ensayos de despegue con saltos cada vez más elevados (y con algún incidente intercalado). Finalmente, el 28 de octubre el Autogiro realizó el primer salto seguido de vuelo, con el piloto de ensayos Alan Marsh (menos pesado que el inventor) a los mandos. Este fue un vuelo rectilíneo y corto, pero fundamental en la historia del Autogiro.

Recientemente, la última cartilla de vuelos personal de la Cierva, abierta el 8 de enero de 1.934, ha sido adquirida para España por cortesía del antiguo jefe de pilotos de la Cierva Autogiro Co., Mr. Reginald Brie. En ella se consignan vuelos del propio inventor con el C.30 G-ACFI en los días 21, 22, 23, 28 y 29 de octubre y 2, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 16, 17 y 26 de noviembre. El vuelo del 2 de noviembre, de ensayo, lleva la anotación "1<sup>st</sup> vert. takeoff" (primer despegue vertical), y el del 14 de noviembre, de exhibición, "1<sup>st</sup> real vert.", tal vez indicando que fue seguido de vuelo. Quizá era demasiado pedirle al prototipo de sólo 100 CV la hazaña de despegar de un salto con su robusto inventor, pero el pequeño C.30 al parecer lo hizo.

La cabeza del rotor de despegue directo del C.30 G-ACFI tenía empero, inconvenientes que era preciso eliminar. Durante todo el año 1.935, la Cierva y sus colaboradores se esforzaron en este sentido, consiguiendo una cabeza de dos palas, llamada autodinámica, que eliminaba la resonancia de suelo sin necesidad de amortiguadores de arrastre (indeseables para el cambio automático de paso). Este rotor fue instalado en el prototipo C.30 Mk.III que fue objeto de una laboriosa puesta a punto durante la primera mitad de 1.936.

Entre marzo y junio de este su último año de vida, Juan de la Cierva realizó en su piso londinense, velando hasta altas horas de la noche, su último trabajo teórico, la Theory of Stresses on Autogiro Rotor Blades. Este voluminoso libro, propiedad de la Cierva Autogiro Co., influiría positivamente en la seguridad de los rotores de los futuros helicópteros.

El 23 de julio de 1.936, apenas comenzada la tragedia española, el C.30 Mk.III y otro Autogiro autodinámico más pequeño, el W.3 construido en la fábrica escocesa de James Weir, fueron brillantemente presentados por el piloto Alan Marsh en Hounslow Heath. La Cierva estuvo presente, pero no voló. La demostración del C.30 Mk.III fue la más impresionante. Los espectadores quedaron atónitos ante el despegue directo, que era seguido de un vuelo particularmente sereno a pesar del viento racheado. En el aterrizaje, la aplicación del freno al rotor provocaba automáticamente la adopción de paso nulo por las palas, suprimiendo la sustentación. Este efecto era muy útil, pues los Autogiros adolecían de tendencia a volcar por causa del viento tras el aterrizaje, lo que exigía especial atención por parte del piloto.

Aquel día fue el último de triunfo público de la Cierva. El ritmo de innovación que desde su origen imprimiera a su creación había sido impresionante. El sabía que el rotor autodinámico de dos palas no era más que una etapa, y confiaba obtener de sus articulaciones inclinadas resultados más importantes y definitivos. Cuando el 9 de diciembre de aquel año perdió la vida en un accidente de línea aérea, sus leales colaboradores en la Cierva Autogiro Company sintieron un vacío tremendo, expresado, por ejemplo, en una carta de G.B.Ellis a Otto Reder: "Creo que la compañía continuará y trabajará en las ideas que él trazó .... Nunca será sustituido y su pérdida es la mayor que la aviación podría sufrir".

Se criticó a la Cierva en vida y tras su muerte por no haber querido dedicar su talento al helicóptero, que todavía no estaba conseguido (el primer helicóptero con soluciones prácticas, el Fw 61 de Henrich Focke, aunque había hecho un vuelo

de segundos de duración en junio de 1.936, no se revelaría hasta 1.937). La causa de tal abstención podría haber sido una excesiva fidelidad a su propio invento, del que parecía conseguir caso todo lo que se proponía. En todo caso, Focke (que había construído anteriormente Autogiros con licencia Cierva) y el creador del helicóptero monorrotor, Igor Sikorsky (que hizo uso de las patentes sobre rotores de la Autogiro Company of America, de Pitcairn) reconocerían sin ambages la herencia de la Cierva.

## V

TRAYECTORIA DE LA INGENIERIA AERONAUTICA ESPAÑOLA

En el rapidísimo vistazo que a continuación dirigiremos a las actividades españolas de ingeniería aeronáutica desde el fin de la Primera Guerra Mundial hasta el presente, nos limitaremos al campo de las aeronaves, sin incluir los de los aeropuertos y las ayudas a la navegación, especialidades que en España corresponden también a la carrera de ingeniero aeronáutico.

Estudios, ensayos e investigación

El primer establecimiento español dedicado a estudios y experimentación en el campo aeronáutico fue el Laboratorio Aerodinámico de Aviación Militar en Cuatro Vientos. A fines de 1.918, el comandante de Ingenieros, piloto militar, don Emilio Herrera Linares, distinguido hombre de ciencia, recibió del general Rodríguez Mourelo el encargo de crearlo. Herrera proyectó personalmente la pieza maestra del Laboratorio: un túnel aerodinámico de circuito cerrado con una sección de ensayos de 3 metros de diámetro (entonces, la mayor de Europa). El túnel se terminó hacia 1.921.

Al correr el tiempo, el Laboratorio contó también con un túnel de 4 metros de diámetro para hélices, un laboratorio de ensayos de resistencia de materiales, un laboratorio metalográfico y otras dependencias. Del Laboratorio dependieron cierto tiempo las actividades de experimentación en vuelo del Servicio de Aviación, creándose la Escuadrilla de Experimentación.

En 1.928, el Laboratorio quedó encuadrado en los Servicios Técnicos, que también comprendían una Oficina de Estudios y Ensayos y Recepción (con la Escuadrilla de Experimentación). En 1.932, los Servicios Técnicos, hasta entonces incluidos en los de Material, se independizaron de éstos, que quedaron reducidos a parques y talleres. Los ingenieros de Servicios Técnicos fueron responsables del establecimiento de condiciones técnicas y ejecución de ensayos, debiendo destacarse su labor en el concurso de aviones de escuela elemental convocado en 1.934.

Terminada la contienda civil, se crearon en 1.939 el Ministerio y el Ejército del Aire. Dentro de éste, la Dirección General de Material (cuyo nombre se cambió muy pronto por el de Dirección General de Industria y Material) tenía a su cargo inicialmente todas las funciones técnicas tocantes a material de vuelo, contando con una Sección de Estudios y Experiencias. Para dotar de personal los destinos técnicos de la Dirección General de Industria y Material, de la de Infraestructura y (poco después) de la de Protección de Vuelo, se estableció el Cuerpo de Ingenieros Aeronáuticos del Ejército del Aire con su Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos y Escuela de Ayudantes.

En 1.942, el ministro del Aire, general don Juan Vigón Suerodíaz, creó el Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica (INTA) como organismo autónomo de su Ministerio. El INTA debía reunir todas las funciones de estudios, ensayos e investigación desarrolladas por el Estado en el dominio de la aeronáutica y la idea de su creación se debía a don Felipe Lafita Babio, antiguo ingeniero de la Armada que había obtenido el título de ingeniero aeronáutico en la Escuela Superior Aerotécnica en 1.932. La presidencia del Patronato del Instituto se encomendó al eminente ingeniero y científico don Esteban Terradas Illa.

En 1.943, la Sección de Estudios y Experiencias de Industria y Material pasó a constituir el Departamento de Aeronaves (poco después rebautizado de Aerodinámica) del INTA. Entre 1.944 y 1.945 se crearon los Departamentos de Equipo y Armamento, Materiales y Motopropulsión. El INTA debería reunir los laboratorios necesarios para los ensayos de homologación y recepción de aviones y motores, y servir de centro de apoyo técnico al Ejército del Aire (del que había absorbido los antiguos servicios técnicos) y a la industria aeronáutica nacional. La instalación del Instituto en su sede de Torrejon de Ardoz, con aeródromo propio (luego absorbido por la Base Aérea, pero que el INTA continúa usando) se terminó hacia 1.946. Para actuar como pilotos de ensayos pasaron al INTA algunos pilotos militares, constituyéndose también en 1.946 el Grupo de Experimentación (actualmente 406 escuadrón).

En 1.963 se creó la Comisión Nacional de Investigación del Espacio (CONIE), y el INTA (que fue nombrado su órgano tecnológico) pasó a llamarse Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

Además de los trabajos de homologación de material aeronáutico, e INTA ha realizado proyectos (particularmente en armamento aeronáutico y programas espaciales) y sus publicaciones, en especial en el campo de los materiales, son muy estimadas en la industria. Numerosos han sido los trabajos de investigación y desarrollo del INTA en campos tales como la combustión, propulsores para cohetes, fatiga de materiales, corrosión, desgasificación de materiales en el espacio, adhesivos, tratamientos superficiales, ensayos no destructivos, materiales compuestos, etc. Hoy día destacan los trabajos del INTA en el desarrollo de antenas para vehículos espaciales.

No se limita el INTA al campo aeroespacial. Cuando la capacitación de su personal y sus medios de ensayo lo han hecho posible, los laboratorios del Instituto han cooperado con otras industrias (construcción civil, naval, de motocicletas) y han realizado y realizan programas de investigación y desarrollo en áreas tan diferentes como las de la energía solar y la aerodinámica de los automóviles.

#### La formación de los ingenieros aeronáuticos

Los primeros ingenieros aeronáuticos españoles obtuvieron su título en la Ecole Supérieure Aéronautique de París.

Por real decreto de 29 de septiembre de 1.928 se creó en España la Escuela Superior Aerotécnica. Creado el título español, se revalidaron en 1.929 trece títulos extranjeros y se concedió con carácter excepcional el título honorario de ingeniero de construcciones aeronáuticas a los eminentes inventores Torres Quevedo y la Cierva. La nueva Escuela comenzó a funcionar en 1.930 en Cuatro Vientos, en un edificio proyectado

por su director, don Emilio Herrera. En dos años podían obtener el título de ingeniero aeronáutico los que ya poseían una formación de ingeniería sustancial; desde 1.931 se abrió la posibilidad de obtener el título en cuatro cursos a los bachilleres. En ambas modalidades, las pruebas de ingreso eran severas.

Cuando estalló la Guerra Civil, la quinta promoción de la Escuela Superior Aerotécnica estaba a punto de recibir sus títulos.

La Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos, ya mencionada, fue creada en 1.939, utilizando el edificio de la antigua Escuela Superior Aerotécnica (que siguió existiendo sobre el papel). En 1.949 comenzó a funcionar (en un ala de la Escuela Especial de Ingenieros Navales) la Escuela Especial de Ingenieros Aeronáuticos, perdiendo la Academia Militar su facultad para otorgar el título y desapareciendo algunos años después.

### La industria aeronáutica

El concurso militar de 1.919 no dio lugar a la fabricación de aviones españoles, pues Aviación Militar, apremiada por la campaña de Marruecos, adquirió aparatos del abundante y barato stock de guerra aliado. Fue otro concurso militar, esta vez dirigido también a los constructores extranjeros, en 1.923, el que dio por resultado el nacimiento de dos empresas aeronáuticas españolas que aun existen: Jorge Loring (posteriormente llamada Aeronáutica Industrial o AISA) y Construcciones Aeronáuticas, S.A. (CASA). Las dos comenzaron haciendo series de aviones de proyecto extranjero, aunque Loring, con Barrón como director técnico, pasó muy pronto a los diseños propios. La Hispano de Guadalajara, existente desde 1.917, se había dedicado

pronto a fabricar aviones de Havilland.

La Hispano-Suiza reanudó su producción de motores de aviación interrumpida con el fin de la Primera Guerra Mundial, siendo ahora su filial francesa la que llevaba la voz cantante en materia de proyectos. El concurso de 1.923 introdujo en el campo aeronáutico otra fábrica de automóviles de Barcelona: Elizalde, que se encargaría de producir motores Lorraine para Aviación Militar.

Por su parte, los talleres militares de Cuatro Vientos y Sevilla fabricaron células completas de avión, pero sólo hasta 1.928. Durante los años 1.926 a 1.930, la industria aeronáutica nacional tuvo un período de bonanza y apareció un germen de industria auxiliar. CASA y Loring lanzaron prototipos originales de avionetas de turismo y la Hispano produjo un biplaza de transformación.

En la época de la República, no sólo la Hispano y Loring, sino varios constructores independientes, crearon una serie muy interesante de tipos de aviones ligeros, para escuela o turismo, que podrían ser promesa de un futuro que la guerra quebró.

Durante la Guerra Civil, el esfuerzo industrial aeronáutico fue importante en la zona gubernamental, en la que geográficamente se encontraban inicialmente todas las fábricas de aviones y motores menos la de CASA en Cádiz. La producción más importante fue la de tres centenares de aviones de caza del tipo soviético Polikarpov I-15. En la zona nacional no se fabricaron aviones.

La industrial aeronáutica inició sus actividades de postguerra con un programa de fabricación de aviones militares de origen alemán por CASA y La Hispano-Suiza (ahora en Sevilla y pronto llamada La Hispano-Aviación). AISA se dedicó principalmente a fabricar aviones de escuela de proyecto nacional y veleros y planeadores de origen alemán. La fabricación de motores de aviación por La Hispano-Suiza de Barcelona se extinguió pronto, pero la otra fábrica de motores, Elizalde, S.A. (más tarde Empresa Nacional de Motores de Aviación o ENMASA) contribuyó decisivamente a mantener en vuelo al Ejército del Aire durante los difíciles años de la Segunda Guerra Mundial y su postguerra, junto con los fabricantes de células.

Durante aquellos años, desde 1.939 a 1.953, no cesó la creación de prototipos nacionales, algunos de los cuales se fabricaron en serie (Hispano HS-42, AISA HM-1, HM-9, I-11B e I-115, y CASA C.201).

En el lapso 1.953-1.960, la industria comenzó a realizar importantes trabajos de mantenimiento para la USAF en Europa, así como para el Ejército del Aire (material americano). Si bien no se trataba de un trabajo creador, lo cierto es que era una utilísima toma de contacto con las tecnologías de postguerra.

Desde 1,953 comienzan a volar los prototipos de una nueva generación de aviones nacionales, tres de los cuales darían lugar a series para el Ejército del Aire (Dornier Do 25/27, CASA C.207 Azor e Hispano HA-200 Saeta). Este último fue el primer avión a reacción proyectado y construido en España, uno de los mejores del mundo en su clase y el primer tipo español exportado y construido con licencia en el extranjero (Egipto).

El HA-300, un caza supersónico, fue vendido a Egipto en estado de proyecto, siendo allí terminado y volado.

Un interesantísimo esfuerzo para crear una industria del helicóptero nacional, a cargo de Aerotécnica, S.A., no tuvo fortuna... en el país que había producido, más de treinta años antes, la primera aeronave de alas giratorias que realmente volaba.

El decenio de los sesenta, a pesar del boom económico mundial, no produjo en España ningún prototipo básicamente nuevo de avión. Continuó el desarrollo del Saeta, eso sí, con notables mejoras. Pero tal vez lo más importante fue la profunda renovación tecnológica de CASA en fabricación (caza supersónica Northrop F-5) y el comienzo de las colaboraciones de esta empresa con constructores extranjeros (reactor de negocios Hansa de HFB, Mercure de Marcel Dassault).

Otra novedad de los años sesenta es la iniciación de la participación del INTA y la industria en los programas espaciales europeos.

#### Los últimos catorce años

En los últimos sesenta y lo que va de los ochenta se han seguido, con mayor intensidad, las tendencias a la cooperación internacional en proyecto y fabricación de aeronaves. CASA participa en el Airbus y fabrica (como retornos de adquisiciones españolas) partes de varios aviones Dassault, Douglas y Boeing. Pero, además, produce un pequeño avión de transporte movido por turbuhélices que se vende en las cinco partes del mundo: el C.212 Aviocar, cuyo primer prototipo hizo su vuelo inaugural en mar-

zo de 1.971. Objeto inicialmente de un pedido del Ministerio del Aire (por el proyecto y dos prototipos) para mantener viva la oficina de proyectos de CASA, el "doce" fue revelando progresivamente su verdadero tamaño. Porque el C.212 ha sido el primer avión español que ha penetrado en el mercado internacional para venderse en número considerable durante nueve años (y los que puedan quedarle). Además, su fabricación en serie con licencia en Indonesia abrió una colaboración entre los dos países enormemente prometedora.

En 1.972 se fusionaron CASA y La Hispano-Aviación (bajó el nombre de CASA) y el año siguiente se integró también en CASA la empresa de motores ENMASA (que hacía años que no fabricaba motores completos). De esta manera, fuera de CASA sólo queda AISA, que se mantiene valientemente en el terreno aeronáutico con trabajos de mantenimiento y fabricando elementos estructurales e hidráulicos para otros constructores de España y el extranjero. En 1.972, AISA inició el proyecto de un Autogiro cuádrilaza capaz de despeque por salto. Era el intento más serio de actualizar el invento de la Cierva en un plano de utilidad funcional, pues los numerosos autogiros que hoy vuelan por el mundo son aparatos minúsculos, a menudo de construcción casera. Por constantes dificultades financieras, el proyecto de Autogiro AISA GN sufrió numerosas interrupciones y progresó muy despacio. Finalmente, el año pasado se dispuso de un prototipo listo para el vuelo. Desgraciadamente, el GN sufrió un accidente, quedando destruido el aparato y prácticamente indemne el piloto. No siendo atribuible el accidente a defectos de proyecto, confiemos en que este autogiro vuelva al aire pronto con felicidad.

En el campo espacial, continúa la participación del INTA y la industria en los programas europeos. Por su parte, el INTA ha realizado además proyectos propios, como los cohetes de sondeo INTA 255 e INTA 300, ensayados con éxito en el campo de lanzamiento de Arenosillo. Otra creación original fue el satélite artificial INTASAT, para la Comisión Nacional de Investigación del Espacio (CONIE), proyecto dirigido por el INTA en el que participó la industria. El INTASAT, de sólo 20 kilogramos de masa, fue puesto en órbita polar el 15 de noviembre de 1.974 por un cohete americano Delta desde California. Su funcionamiento en órbita fue perfecto. INTA y la industria participan también en el Spacelab de la European Space Agency.

El primer proyecto original de CASA tras la fusión con La Hispano-Aviación fue el biplaza de entrenamiento básico-avanzado C.101 con motor turbofan, desarrollado para el Ejército del Aire. El primer prototipo voló en junio de 1.977 y hoy día los C.101 Mirlo prestan servicio en la Academia General del Aire y en el 41 Grupo de Entrenamiento. Además de los 92 pedidos por el Ejército del Aire, algunos ejemplares se han exportado.

Como colofón a esta comprimida e incompleta exposición de las actividades más recientes de la ingeniería aeronáutica española, me complace mencionar que el pasado viernes pudimos presenciar los primeros vuelos del prototipo CN.235 P1 en Getafe. Fruto de la colaboración de CASA con la empresa nacional indonesia P.T. Nurtanio, el nuevo bimotor con turbohélices es uno de los competidores que están apareciendo para disputarse el mercado de los aviones de línea commuter. La colaboración tecnológica con una nación situada casi en nuestras antípodas y que por primera vez se lanza a un proyecto de esta categoría

es un desafío apasionante en el que la ingeniería aeronáutica española, anteriormente beneficiada por sus contactos con las tecnologías de países más avanzados, pasa a transferir ahora su propio know-how desde el mismo comienzo de la fase de proyecto de una aeronave.

BIBLIOGRAFIA

Bennett, James A.J.: "The Era of the Autogiro", en The Royal of Aeronautical Society, octubre de 1.961.

Blanco Pedraza, Pedro: "Juan de la Cierva y su contribución al desarrollo de las aeronaves de alas giratorias", en Ingeniería Aeronáutica, septiembre-octubre de 1.958.

Cierva Cordornú, Juan de la: "Un nuevo sistema de aviación", Comunicación a la Real Academia de Ciencias, Madrid, 5-3-1.921, y "Nota ampliatoria" a la misma, 29-3-1.921.

Cierva Codornú, Juan de la: Comunicación a la Real Academia de Ciencias, Madrid 15-2-1.923.

Gomá Orduña, José: Historia de la Aeronáutica española, Tomo I, Madrid, 1.946.

Salas Larrazábal, Jesús: De la tela al titanio, Espasa-Calpe, Madrid, 1.983.

Werleta Carrillo, José: Autogiro. Juan de la Cierva y su obra, Instituto de España, Madrid, 1.977.

Werleta Carrillo, José: "Siete etapas en la historia del Autogiro", en Ingeniería Aeronáutica, octubre de 1.979.

LA INGENIERIA MINERA Y GEOLOGICA: LUCAS MALLADA

Por Eduardo Alastrué y Castillo

## I

INTRODUCCION

Al enfrentarme con un tema tan amplio como el que da título a mi conferencia no puedo soslayar el recuerdo de un organismo al que me honré en pertenecer y que con ese tema estuvo relacionado estrechamente. Me refiero a un Tribunal o Jurado insólito, que se denominó "Junta General Calificadora para la obtención del título de Doctor-Ingeniero y Doctor-Arquitecto" que desapareció hace años y que no se repetirá, es de suponer, en mucho tiempo. Aquel Tribunal tenía por misión conceder el Título de Doctor, con el cumplimiento de ciertos requisitos, a los ingenieros y arquitectos que habían cursado sus estudios con arreglo a planes anteriores al plan ministerial de 1.957. Como quizá recordarán bastantes ingenieros, el Decreto reorganizador de ese año 1.957 marcó un punto de inflexión en las enseñanzas técnicas al suprimir el ingreso en las entonces llamadas Escuelas Especiales. Los ingenieros de planes antiguos que al entrar en vigencia la nueva regulación desearan optar al título de Doctor, debían presentar ante aquel Jurado, entre otros documentos, un historial de sus actuaciones profesionales. En las largas sesiones que la Junta celebraba para acoger las solicitudes presentadas, se iban leyendo, una tras otra, estas referencias de servicios de Arquitectos e Ingenieros de distintas especialidades. En ellas se informaba de actividades que cubrían más de medio siglo, desarrolladas en toda España y también en países extranjeros, próximos y remotos. Las materias a

las que se referían eran variadas y numerosas: las obras públicas, la Administración del Estado, la gestión y dirección de empresas privadas, la construcción de edificios, la investigación científica, etc. Toda la trama de la vida civil, todo el dinamismo de nuestro progreso se hacían presentes en aquellas noticias escuetas, exentas de toda presunción, redactadas casi siempre en un estilo rutinario. Los miembros de la Junta contemplábamos con admiración la inmensa y oscura labor que reflejaban, una labor que había creado la infraestructura de la vida material de nuestra sociedad, que la sostenía y mejoraba continuamente y que, sin embargo, era desconocida. Casi todo lo que constituía nuestra riqueza, o contribuía a nuestro sustento o bienestar, dependía de ese trabajo perseverante e ignorado: los medios de transporte, las comunicaciones, el aprovechamiento de nuestras minas y nuestros campos, la producción y distribución de energía, las nuevas y antiguas industrias y tantas otras actividades vitales. A los ingenieros había correspondido, casi totalmente, crearlas y llevarlas adelante, según se veía, de modo palpable, en aquellas lecturas; y en esa enorme tarea, a lo largo de muchos años, habían derrochado ingenio, inteligencia y trabajo. Resultaba, pues, una extraña paradoja que labor de tal significación, con frutos tan evidentes, fuese ignorada y que sus ejecutores quedasen en el anonimato. Este hecho sorprendía y apenaba a la vez; probablemente, todos pensábamos en aquella Junta que era necesario dar a conocer tantos esfuerzos y, también, tantas metas alcanzadas. La colectividad tenía el derecho -y en ciertas esferas- el deber de conocerlas.

Es sorprendente que, al cabo de tanto tiempo, un ciclo de conferencias como el presente, venga a dar respuesta satisfactoria a aquella aspiración. Por fin en estas reuniones,

se va mostrando al público la labor de los ingenieros al menos en algunas de sus ramas y, además, de una manera completa y sistemática, en una panorámica ordenada. Y es un gran acierto, asimismo, que la aportación de cada rama de la Ingeniería venga a cifrarse en la obra de una personalidad ejemplar, en la que encuentra su modelo y su culminación.

A mí me cabe la responsabilidad de informarles sólo de una parcela de ese inmenso acervo de realizaciones de la ingeniería: de las que se deben a los ingenieros de Minas en los campos de la Geología y la Minería. Ante esta tarea debo confesarles que me sitúo como uno de tantos profesionales del Cuerpo de Minas y, seguramente, de los que tienen menos títulos especiales para acometerla. Me considero un simple espectador interesado en el tema, pero de ningún modo una voz autorizada o un depositario de noticias nuevas e importantes. No deban V.V. esperar, por tanto, anuncios o interpretaciones inéditas, propias de quien tiene o ha tenido una documentación especial o reservada. Únicamente está en mi mano ofrecerles la relación lisa y llana de lo que los Ingenieros de Minas han representado y representan en los dominios de la Geología y la Minería, tal como puede obtenerse en documentos fidedignos, al alcance de cualquiera.

## II

### LA LABOR GEOLOGICA DE LOS INGENIEROS DE MINAS

A los Ingenieros de Minas les correspondió, por disposición de los Gobiernos de una época que casi coincide con la fundación de su carrera, hacerse cargo de una actividad que, ya entonces, se apuntaba como fundamental: la investigación geológica. En España, como en otras naciones, a todo lo largo del siglo XVIII y, sobre todo, en el periodo de la Ilustración, se

habían dado precursores de las ciencias geológicas, tales como Bowles, el P. Torrubia, Feijóo, Cavanilles; eran principalmente, naturalistas, en cuyas obras se recogen observaciones y datos de interés geológico. Pero sus aportaciones no constituían un cuerpo de doctrina, ni definían una trayectoria científica determinada; a lo sumo, podían considerarse como avances o preludios de una disciplina aún no establecida, como era entonces la Geología. Esta, a partir de 1.830, alcanza personalidad de ciencia independiente, al publicarse los "Principios de geología" de Lyell. Pues bien, por esa misma época ya aparecen en España intentos definidos de organizar los estudios e investigaciones geológicas. Una personalidad clarividente, el ilustre D. Fausto de Elhúyar, comprendió, en el primer cuarto del siglo pasado, el papel básico de la Geología en la formación de los Ingenieros de Minas. De acuerdo con esta idea envió, como pensionados, a Alemania, en 1.828 y 1.829, a cinco Ingenieros de Minas para que estudiaran con el famoso profesor Werner, uno de los fundadores de la Geología, en la Escuela de Minas de Freiberg. Nuestros Ingenieros -entre los que se contaban Ezquerro del Bayo, Bauzá, Gómez Pardo y Amador de la Torre, que tanto prestigio alcanzarían después- aprovecharon plenamente aquella oportunidad. Al regresar a España, difundieron las enseñanzas recibidas, como excelentes maestros de la nueva Escuela de Minas de Madrid, que había iniciado sus funciones en 1.836.

Como puede apreciarse, la enseñanza de disciplinas geológicas se estableció muy prontamente entre los Ingenieros de Minas, bastante antes de que el Estado regulase las investigaciones geológicas en nuestro territorio. Sin embargo, no puede acusarse a nuestros gobiernos de aquel tiempo de tomar tardíamente cartas en el asunto. Hacia la misma época en que los Estados europeos más adelantados comprenden la necesidad

de iniciar su cartografía geológica, en España se piensa en acometerla con la creación de un Servicio Geológico Nacional. Y, efectivamente, por un Decreto del 11 de julio de 1849, firmado por Bravo Murillo, se crea la "Comisión para formar la Carta Geológica del terreno de Madrid y reunir y coordinar los datos para la general del Reino". Este largo y extraño título se substituyó al año siguiente por el más adecuado de "Comisión del Mapa Geológico de España", que perduró hasta que en 1.910 se adoptó la denominación de Instituto Geológico de España.

Como es habitual entre nosotros, al nuevo organismo se le dotó pobremente de recursos de tal modo que la actividad de la Comisión del Mapa Geológico debía haber sido, lógicamente, muy limitada. Pero el entusiasmo y la abnegación de los ingenieros que se incorporan a la Comisión superan muchas dificultades y el balance de este organismo, en sus primeros veinte años de vida, resulta francamente positivo. Es la época del "Mapa Geológico de la Provincia de Madrid" a escala 1:200.000 de D. Casiano del Prado (1.863), y el de la "Descripción geológica de Asturias" de Schulz (1.858), por citar sólo dos títulos famosos entre los geólogos. Es también el tiempo, en que inexplicablemente, dada la carencia de medios, se forma una brillante pléyade de geólogos, en la que destacan los nombres de Prado, Maestre, Pellico, Schulz, Naranjo, Botella, que toma el relevo de la anteriormente citada de Ezquerria del Bayo, Amar de la Torre y Bauzá.

La Comisión pasó por varias vicisitudes, según las situaciones políticas, pero siempre arrastrando una vida económica precaria: llegó incluso a desaparecer al decretarse en 1.863 la extinción de la Junta Nacional de Estadística en la que, circunstancialmente, estaba absorbida. Pero renace con

nuevos bríos poco después, en 1.870, aun cuando continúa coar<sup>u</sup>tada por una dotación mezquina. Es en este año, como preludio de tiempos mejores, cuando recibe a dos jóvenes ingenieros que en el futuro la levantarán a gran altura; D. Daniel de Cortázar y D. Lucas Mallada.

Esa vida difícil y lánguida de la Comisión va a cambiar radicalmente al hacerse cargo de su dirección en 1.873 D. Manuel Fernández de Castro, un eminente Ingeniero de Minas que había regresado poco antes de Cuba, donde dejó magnífica huella de su estancia. Don Manuel era una de esas raras personalidades que tienen el don de vitalizar cualquier empresa bajo su mando. Fácilmente logró la adhesión leal de sus subordinados, que enseguida reconocieron y aceptaron su indiscutible y beneficiosa autoridad. Entre esos subordinados figuraba Mallada, en el que Fernández de Castro percibe inmediatamente su excepcional talento para la investigación geológica. Se inicia entonces una estrecha colaboración entre el ilustre Director y el futuro gran geólogo, que durará hasta la muerte de Castro, en la que hemos de ver una de las causas principales del magnífico florecimiento de la geología española en el último cuarto del siglo pasado.

Bajo el mando del nuevo Director, la Comisión se pone en pié vigorosamente con una serie de actividades que se van cumpliendo rigurosa y ordenadamente. Por ~~de~~ pronto, Castro reorganiza la Comisión mediante el Decreto de 29 de marzo de 1.873, precisando exactamente sus objetivos y sus medios. En el mismo año se reanuda la publicación de las Memorias geol<sup>o</sup>gicas provinciales, que aun cuando había sido inaugurada en 1.854 había sufrido una larga interrupción. Esta serie va a dar a la luz pública, con ritmo anual y con una regularidad

admirable estudios extensos de territorios provinciales, que, a lo largo de más de treinta años, van a formar la base del conocimiento geológico de nuestro país. Pero, casi al mismo tiempo, en 1.874, inicia Castro la publicación del "Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España", una revista magnífica por su presentación y su contenido, que ha perdurado hasta nuestros días, con ligeros cambios de título, (el actual es el de "Boletín Geológico y Minero"). Acogió esta publicación numerosísimos informes, notas y monografías, de los ingenieros de la Comisión, de los geólogos que fueron apareciendo en el ámbito de la Universidad y de eminentes colaboradores extranjeros. Con ella se daba difusión pronta y frecuente a la producción científica de los Ingenieros dedicados a la geología, cumpliéndose así un principio fundamental de Castro, el de que los servicios de la Comisión no tendrían utilidad si no se les daba a conocer.

En España habían salido a la luz, con anterioridad, diversas revistas, atendidas por los Ingenieros de Minas, en las que se habían publicado numerosos e interesantes trabajos de carácter geológico: tales fueron los Anales de Minas, que se publicó en 1.838 a 1.848 y la Revista Minera que, en su primera etapa, vio la luz entre 1.850 y 1.882. Pero las Memorias y el Boletín de la Comisión tenían un carácter completamente distinto: eran publicaciones exclusivamente científicas, destinadas principalmente a difundir las investigaciones geológicas de los ingenieros de la Comisión. Sus páginas rendían cuenta de un trabajo ordenado, tenaz e intensísimo que con rapidez increíble, iba cubriendo extensas áreas inexploradas de España.

Este incansable esfuerzo fue de tal entidad que, en un periodo de quince años, prácticamente todas las regiones espa

folias, sobre muchas de las cuales no habían recaído estudios previos, habían sido reconocidas. La acumulación de resultados fue tal que en 1.889 Fernández de Castro pudo ver realizado su primer objetivo: la publicación del Mapa Geológico de España a escala 1:400.000.

El alcance de esta meta no hubiera sido posible, naturalmente, si en torno a Fernández de Castro no se hubiera ido formando un equipo de geólogos expertos y entusiastas. Ya sea por el atractivo de su personalidad, por la firmeza y sabiduría de su mando o por el entusiasta espíritu de servicio que sabía despertar en sus subordinados, lo cierto es que logró congregarse un magnífico grupo de adictos y leales colaboradores. Quizá hay que ver en esta feliz conjunción, uno de esos raros azares históricos que consiguen, sin que se sepa cómo, la combinación de muchos signos y datos favorables. Hoy, nos parece casi milagroso, que en aquel último cuarto de siglo, en una generación de Ingenieros, coincidieran hombres de la altura intelectual, de la fuerza creadora, de Lucas Mallada, Daniel de Cortázar, Luis Mariano Vidal, Joaquín Gonzalo y Tarín, Pedro Palacios, Ramón Adán de Yarza, Luis de Adaro, Rafael Sánchez Lozano y otros. Y que al propio tiempo, en otros ámbitos científicos, se dieran maestros de la talla de Macpherson, Vilanova, Calderán y Almera que, por cierto, acogidos a las invitaciones de Castro colaboran en las publicaciones de la Comisión.

Esta reunión de esfuerzos, este feliz entusiasmo creador, promovidos y alentados, como hemos visto, por Fernández de Castro, llevan a nuestra Geología, en breve tiempo, a un alto nivel, comparable al de las naciones más adelantadas. Puede llamarse sin hipérbole, a la época que va de 1.873 a la muerte de

Castro, en 1.895, una edad de oro de la Geología española. Nadie la ha definido y exaltado mejor que el que fue su máximo protagonista, Don Lucas Mallada; en su magnífico discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias, que versó sobre "Progresos de la Geología española en el siglo XIX", después de evocar elocuentemente el ardoroso esfuerzo de los geólogos colaboradores de Castro, concluye: "... La copia de datos acumulados para el conocimiento de nuestro suelo se hizo de tal entidad, agrandó tanto, que pocas naciones civilizadas nos habrán aventajado proporcionalmente en el progreso de nuestra ciencia durante estos últimos veinticinco años. Otro periodo de igual intensidad, si fuera posible, nos colocaría entre los países que más adelantada tuviesen su Geología. ¿Cabe mayor elogio a la memoria de Fernández de Castro? ¿Hay otro ramo del saber humano que en tan corto tiempo haya progresado tanto en España?."

Al morir Fernández de Castro, se habían publicado por la Comisión dieciséis Memorias geológicas provinciales y veinte tomos del Boletín, en los que se contenían también otras reseñas geológicas provinciales más breves. Estos volúmenes recogían, asimismo, numerosísimos estudios paleontológicos, hidrogeológicos y mineros. Don Lucas Mallada había iniciado, por estas fechas, su monumental "Explicación del Mapa Geológico de España", en siete tomos, cuya publicación se alargaría hasta 1.911. Se había formado, pues, en la Comisión una escuela de investigadores, una tradición de riguroso trabajo y unos recursos materiales suficientes que seguirían rindiendo sus frutos más allá de la muerte de Fernández de Castro. Y, efectivamente, la generación que sucede a la de los grandes maestros antes citados - la generación de Gavala, Carbonell, Novo, Marín, García Sñeriz, Hernández Sampelayo, Valle de Lersundi, Dupuy de Lôme y tantos otros - continúa

con brillantez, en las series de Memorias y Boletines, que siguen saliendo con toda regularidad, la obra de sus predecesores.

En 1.910 la Comisión cambia su nombre, según hemos dicho, por el de "Instituto Geológico de España", bajo la dirección de D. Luis de Adaro, e inicia una etapa de intensa dedicación a la minería, que traerá como consecuencia importantes descubrimientos, de gran repercusión en la industria nacional: criaderos de hierro y carbón de Asturias, yacimientos potásicos de Cataluña, criaderos de minerales complejos de plomo y zinc de la Sierra de Cartagena, prospecciones hidrogeológicas en Almería y en la cuenca del Llobregat, etc. No por eso se abandonan los estudios geológicos, sino que, por el contrario, hacia 1.914, se intensifican las campañas para la cartografía geológica a 1:100.000 y 1:200.000. Una prueba sobresaliente de esta actividad geológica es la publicación del histórico "Mapa de la Cuenca Hullera Central Asturiana" de D. Luis de Adaro, en 1.926. Y otra manifestación del prestigio y la vitalidad de la geología española en este periodo, así como de la excelente labor de los Ingenieros del Instituto Geológico, es la celebración en Madrid en 1.926, con enorme éxito, del XIV Congreso Geológico Internacional.

El Instituto Geológico que, desde 1.927, pasa a llamarse "Instituto Geológico y Minero de España", bajo el mando de otro gran Director, D. Luis de la Peña, continúa ampliando sus actividades con la instalación de nuevos Laboratorios (de Petrografía, de Espectroscopia), con la inauguración de una nueva revista, "Notas y Comunicaciones", y con la iniciación del Mapa Geológico a escala 1:50.000.

Después del paréntesis impuesto por nuestra guerra civil el Instituto Geológico se reorganiza rápidamente con la instalación de nuevos y numerosos laboratorios, con la creación de nuevos servicios, y con la reanudación de sus trabajos cartográficos y sus investigaciones mineras. Sin embargo, nuestra difícil situación económica en la post-guerra y la escasa atención del Estado hacia las investigaciones geológicas y mineras hasta mediada la década de los 60, trajeron como consecuencia una cierta crisis de sus actividades, que pronto se vio corregida, a partir del Primer Plan de Desarrollo Económico y Social de 1.964. Pasó entonces el presupuesto del Instituto, de una cifra francamente insuficiente, a 256 millones para el cuatrienio 1.964-67, que representaban ya el 22% de la inversión realizada en investigación minera en España. Con el II Plan de Desarrollo de 1.968, se afirma esta política de ayuda a la investigación geológica y minera y la inversión del Instituto en el periodo 1.968-1.971 asciende a 932 millones, que equivalen al 40% del total invertido en todo el país por este concepto.

Pero el II Plan de Desarrollo ordenaba en uno de sus artículos la formación de un "Programa Nacional de Investigación Minera", que se encomienda al Instituto Geológico; éste, en estrecha cooperación con la Empresa Nacional ADARO, del INI, que había sido creada en 1942, procede a su elaboración, incluyéndolo en un plan más amplio, el llamado "Plan Nacional de la Minería", que abarcaba otras importantes actividades relacionadas con el sector minero. Este "Plan Nacional", coordinado por el Ministerio de Industria, es presentado al Gobierno en 1970, quien lo aprueba y lo incorpora al III Plan de Desarrollo Económico y Social.

La realización del "Programa Nacional de Investigación Minera" es confiada al Instituto Geológico, con una consigna



ción presupuestaria de 3.519 millones de pesetas para el periodo 1.972- 1.975. Entre los años 1.970 y 1.971, este Programa - dividido en otros planes sectoriales referentes a la infraestructura geológica, recursos minerales, aguas subterráneas, etc. - es confeccionado y ultimado por el Instituto. Inmediatamente es puesto en práctica, con frutos espectaculares, que confirman la alta capacidad de nuestros ingenieros y técnicos y su dominio de nuevas técnicas de investigación.

No vamos a comentar aquí los resultados que se alcanzan en el campo de la minería, de las aguas subterráneas y de otros recursos, porque queremos reducirnos a lo que ese "Programa Nacional de Investigación Minera" significó para el progreso de nuestra Geología. Pero antes hay que observar que el enorme aumento de actividades que el cumplimiento de ese Programa suponía para el Instituto, forzosamente tenía que acarrear el cambio de su estructura y de sus métodos de trabajo. Se hace necesario recurrir, entonces, a la colaboración de Empresas públicas o privadas, dedicadas a trabajos de geología práctica y se busca, asimismo, la cooperación de Departamentos universitarios y centros de investigación.

Contando con estas aportaciones, que el Instituto coordina y supervisa, la labor que en el campo de la Geología se lleva a cabo, en estos últimos años, es asombrosa. En 1.971 se inicia el nuevo Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, que corresponde al proyecto MAGNA, incluido como plan sectorial en el Programa Nacional de Investigación Minera, y en doce años se cubre el 60% del territorio nacional. Previamente, había sido realizado el Mapa a 1:200.000 de toda el área nacional, reuniendo y coordinando los datos cartográficos.

gráficos hasta entonces existentes. Asimismo, se edita una nueva versión del Mapa Geológico de España a 1:1000.000 que supone un gran adelanto sobre la anterior. Y a esta cartografía geológica tradicional se añade ya, la representativa de nuestros fondos marinos, iniciada en 1979, de la que se han publicado los mapas de la plataforma continental de la Provincia de Almería. Esta cartografía, de ejecución muy costosa por las campañas marinas de prospección geofísica y de recogida de muestras que exige, se realiza a escala 1:200.000 y 1:400.000.

A estos trabajos cartográficos se añaden estudios regionales, previos a la confección de las Hojas a 1:50.000, o emprendidos, a veces, como consecuencia de ellos y estudios geológicos de infraestructura en cuencas carboníferas. Otra actividad reciente es la de catalogar puntos singulares de interés geológico o minero, bien para protegerlos de cualquier depredación, o para darlos a conocer con una finalidad cultural.

Y con esta referencia de algunas realizaciones recientes, debemos terminar el resumen, forzosamente incompleto, de las actividades de los Ingenieros de Minas en el ámbito de la Geología. Vamos a ver ahora, también en breve síntesis, algunos aspectos de su labor en el campo de la minería.

### III

#### LA MINERÍA ESPAÑOLA Y LOS INGENIEROS DE MINAS: ALGUNOS ASPECTOS PRINCIPALES

La minería española tiene sus orígenes en tiempos muy remotos, anteriores a la denominación romana. Esa antigüedad basta para confirmar que nuestro país era considerado, desde

siempre, como muy rico en sustancias minerales. No es extraño, pues, que con esa antigüedad en sus explotaciones mineras y con ese renombre de su gran riqueza, el Estado, al alcanzarse una época de suficiente madurez científica, como es el siglo XVIII, procurase organizar los estudios relativos a la minería. En 1.777 se crea la Escuela de Minería de Almadén, considerada como la predecesora de la Escuela de Ingenieros de Madrid y, por tanto, como el centro en el que tienen su comienzo los estudios de la carrera de Ingeniero de Minas. Sin embargo, hasta 1.825, en que aparece el proyecto de ley de minería, debido a Fausto de Elhúyar, que promueve la investigación y aprovechamiento de nuestros criaderos y da normas para su explotación, no se puede decir que la profesión de Ingeniero de Minas tenga una realidad bien definida. Cuando esta profesión adquiere consistencia legal es al fundarse el "Real Cuerpo Facultativo de Minas", ocho años más tarde, en 1.833, por la última Real Orden que firmó Fernando VII, con fecha del 21 de septiembre de ese año. El establecimiento de la Escuela de Minas de Madrid, por Real Orden de 23 de abril de 1.835, como sucesora de la de Almadén, que queda reservada para enseñanzas prácticas y la organización de la Ingeniería Civil en cuatro inspecciones -Minas, Caminos, Geógrafos y Bosques- por Real Orden de 30 de abril de 1.836, son medidas que contribuyen a afirmar la personalidad profesional de los Ingenieros de Minas.

Hacia el primer tercio del pasado siglo comienzan a producirse descubrimientos de nuevos criaderos en España, que atraen poderosamente la atención de mineros y especuladores, pero que parecen dejar indiferentes a los poderes públicos relacionados con la actividad minera; tales fueron los de los ricos criaderos de plomo de la Sierra de Gádor,

en 1825, los de los yacimientos plumboargentíferos de la Sierra Almagrera en 1.838 y los de los filones de mineral de plata de Hiendelancina en 1.840. Estos hallazgos dieron lugar a una verdadera "fiebre minera", a una afanosa rebusca de nuevos criaderos, que en gran parte, trajo grandes daños a los recién descubiertos: por ejemplo, en la Sierra de Gádor, las concesiones otorgadas a particulares quedaron acribilladas de socavones y pozos, que hicieron muy penoso el ulterior laboreo en las minas; y los criaderos de la Sierra Almagrera quedaron anegados por inundaciones, que no fueron capaces de dominar las modestas empresas explotadoras. La única contrapartida a este "furor minero", fue la multitud de informes y notas que dedicaron nuestros Ingenieros de Minas de la época, a los yacimientos descubiertos, y a otros ya conocidos, arrastrados, en parte, por el apasionado interés general hacia aquellas riquezas desconocidas. Sería imposible dar siquiera una ligera noticia de los numerosos trabajos que ingenieros como Ezquerro del Bayo, Maestre, Prado, Naranjo, Escosura, Amar de la Torre y otros varios, publicaron por esta época acerca de criaderos minerales en las regiones más diversas.

Hemos referido los hechos anteriores porque creemos que son significativos, del ambiente que toca vivir a nuestros ingenieros de Minas durante buena parte del siglo XIX. Se caracteriza ese tiempo por una desordenada y destructora labor de rapiña en pequeñas minas por aventureros o por minúsculas empresas; por una inexplicable inhibición de las autoridades, que consienten tales desmanes o se limitan a dictar prescripciones que no se cumplen; y por el trabajo obstinado y patriótico de unos pocos mineros e ingenieros que, al mismo tiempo, contemplan con angustia como se malbarata o se degrada una gran riqueza nacional.

Las disposiciones legales sobre la materia se promulgan con profusión, pero con escaso tino, como inspiradas por políticos incompetentes en cuestiones mineras y poco penetrados de su importancia. Contra ellas lanza Don Lucas Mallada, en su famoso libro "Los males de la Patria", las más feroces críticas, a las que, aunque recargadas por el amargo pesimismo del autor, hay que reconocer un fondo de razón. La ley de Minas de 1.849, sustituida por otra nueva diez años más tarde, modificada ésta por disposiciones aclaratorias en 1.863 y reemplazada, finalmente, por unas bases promulgadas en 1.863 que tienen una larga vigencia, incurren, según el gran geólogo, en los mismos errores básicos. Uno de los principales consistió, en aquella época de la minería, en permitir concesiones de un tamaño mínimo de cinco hectáreas, que naturalmente, se podían agrupar y orientar de cualquier manera. Favoreció esta medida no sólo la aparición de registros minúsculos en los que era imposible una explotación seria, sino el negocio de especuladores avisados que intercalaban sus denuncias, en zonas productivas, entre concesiones de Empresas importantes. Estas, para no interrumpir sus explotaciones, se veían obligadas a adquirir los derechos sobre estos pequeños e irregulares espacios -a los que con nombre adecuado se llamaban "demasías"- pagándolos, a veces, a precios exorbitantes.

Pero hay otro rasgo característico del panorama minero de este tiempo, que es menester tener muy en cuenta al lado de los anteriores: la adquisición por parte de extranjeros de nuestros mejores cotos mineros. Si la legislación existente favorecía la formación de concesiones minúsculas, de las que se hacían cargo especuladores o pequeñas empresas sin recursos, en cuanto se confirmaba la importancia de un criadero, en el que se podía montar una instalación a gran escala, éste pa

saba a poder de una empresa extranjera. Así sucedió con nuestros yacimientos de Río Tinto, con los criaderos de hierro de Somorrostro, con las minas de Reocín y con tantos otros ejemplos. Para estas enajenaciones no había obstáculos legales y esto fue, evidentemente, una de las principales causas de su proliferación. Otro motivo hay que buscarlo en la falta de visión del capital privado español que, salvo raras excepciones, no se sintió atraído a invertir en el sector minero. El hecho es que, desde este último cuarto del siglo pasado hasta bien entrado el nuestro, nuestra riqueza minera es, en parte, investigada, y en gran proporción, explotada por empresas extranjeras. No quiere decir esto que nuestros Ingenieros de Minas no se afanen por estudiar nuestros criaderos conocidos y por descubrir nuevos recursos: precisamente, el primer tercio del siglo actual es una época de grandes estudios y descubrimientos de nuevos criaderos, como los de hierro de Galicia por Hernández Sampelayo, los de hierro de Asturias por Adaro, los de la cuenca potásica catalana por Marín y los de la cuenca potásica navarra por Valle de Lersundi.

La escasa preocupación del Estado por administrar y aprovechar debidamente nuestro patrimonio minero se debió indudablemente, en buena parte, al hecho de que éste hubiera pasado a manos extranjeras. Pero también influyó en esa política la situación positiva o equilibrada de la balanza de nuestro comercio de minerales. En la época en que Mallada escribió "Los males de la Patria" hace notar el gran geólogo, con diversos cuadros, como esa balanza tiene sus altibajos pero, en general, su signo es positivo. Esta situación se mantiene hasta los años 60, en que nuestro desarrollo industrial ocasiona el desfase entre nuestra producción y nuestro consumo de materias primas minerales. De una situación equilibrada en la balanza comercial en 1.960, se pasa en 1.970 a un

saldo negativo de 10.000 MP y en 1.973 de 25.000 MP. La participación en esa década 1.960-70 de la minería en el PIB se reduce a un 0,8% y mientras el producto interior bruto crece, en términos reales, más del 100% en el periodo 1.965-1.975, el producto minero bruto lo hace sólo en un 22%. A partir de 1.975 cambió el signo de la situación, pues mientras la economía nacional se estanca, el sector minero accede a una expansión, principalmente debida al incremento de la producción de carbón.

Ya hemos visto antes, cómo el Estado, ante la necesidad de fuertes y crecientes importaciones de minerales, cambia de política y en 1.970 aprueba un Plan Nacional de la Minería, integrado en el III Plan de Desarrollo, que tratará de poner remedio a esa situación. Dentro de ese Plan figuraba, según antes hemos indicado, el Programa Nacional de Investigación Minera, encomendado al Instituto Geológico y Minero, una parte del cual, la referente a la infraestructura geológica, hemos comentado anteriormente. Pero otra parte fundamental de ese Programa versaba sobre investigación minera y en cumplimiento de lo dispuesto para este sector, se procedió a elaborar el Mapa Metalogenético de España, a escala 1:200.000 que catalogaba y localizaba todos los indicios minerales conocidos. Asimismo se hizo el análisis de todos los permisos de investigación, concesiones de explotación y reservas a favor del Estado, así como mapas previsores de mineralizaciones a escala 1:1.500.000, referidas a las 19 sustancias de mayor interés.

Otro plan sectorial, dentro del Programa Nacional citado, estaba constituido por el llamado "Programa de Investigación Geotécnica Nacional"; el desarrollo de una de sus par

tes exigió la elaboración de un Mapa de Rocas Industriales, a 1:200.000, que cubre todo el territorio nacional, el cual se inició en 1.972 y se terminó en breve tiempo.

No cesó la preocupación y la actividad del Estado en lo que concernía a recursos minerales, con los Programas antedichos, todos los cuales se iban cumpliendo puntualmente. Y, así, en 1.975, el Ministerio de Industria y Energía promueve un "Plan Nacional de Abastecimiento de materias primas minerales no energéticas" (PNAMPM) cuya ejecución se encarga también al Instituto Geológico, dotándolo para el cuatrienio 1.976-1.979 con un presupuesto de 4.087 M.P. Entre sus objetivos principales estaban el de reducir nuestra dependencia del exterior en el suministro de materias primas mineras y el de promover nuestro desarrollo científico y técnico en el campo de la geología y la minería. Su cumplimiento se ha traducido en estos años últimos en descubrimientos y evaluaciones de nuevos recursos y reservas minerales de sustancias de primordial interés: entre ellos habría que señalar la ampliación de los recursos conocidos de carbón en Asturias, Palencia, León, Puertollano y otras zonas carboníferas; de uranio en Salamanca y Extremadura; de sulfuros polimetálicos en Córdoba, de caolín, en Guadalajara y de rocas ornamentales en el Oeste español, en Andalucía y en Canarias.

Estos trabajos de investigación y explotación mineras se amplían en estos últimos años al extranjero, en el marco de acuerdos concertados con los Gobiernos de Perú, Colombia, Méjico y Guinea Ecuatorial; las investigaciones se refieren principalmente a minerales metálicos como plomo, cobre, hierro, cromo y níquel.

Como consecuencia de esa vigorosa acción del Estado, a la que acabamos de referirnos, y del esfuerzo de Empresas privadas, la situación de la minería española, tiende a mejorar desde 1.975. De acuerdo con los últimos datos de que disponemos, en el año pasado ha continuado su expansión, y la producción minera de 1.981 ha alcanzado un valor de 219.000 MP, un 104% más que en 1.978. Las inversiones en minería ascendieron en ese año a 39.874 MP, superando a las realizadas en el año anterior en un 11%. En esa cifra, el Estado participó con 7.176 MP, bien en inversiones estatales para la investigación o en subvenciones a diversas inversiones.

No hay que olvidar, sin embargo, que con todos estos resultados, aparentemente halagüeños, el saldo de la balanza de pagos de la minería española es fuertemente negativo; en 1.982, ha sobrepasado los 100.000 millones de pesetas. Influyen en esta situación los grandes aumentos del valor de las importaciones de diversos metales como el hierro, cobre, zinc plomo y estaño. En cuanto a los minerales energéticos hemos tenido que importar 50.000 MP en hullas para producción de cok, cifra que acaso podría haberse reducido si nos esforzásemos en mejorar la calidad de nuestros carbones; porque es lo cierto que la producción de carbón nacional ha alcanzado en 1.982 la elevada cifra de 39 millones de toneladas ( en 1.978 fue de 20 millones de toneladas) pero su calidad ha bajado notablemente.

En lo que se refiere a los minerales metálicos, la situación es difícilmente justificable, porque, a la vez que exportamos concentrados sucios de cobre, plomo y zinc, llevamos a cabo fuertes importaciones de concentrados que podríamos llamar limpios. Esto significa que nuestros productos, co

mo en el caso de los carbones, son de baja calidad, por falta de plantas de tratamiento y de beneficio. Y esto plantea una cuestión, que constituye un problema antiguo de nuestra industria minera y, también, de la profesión de Ingeniero de Minas: nuestro atraso en los tratamientos metalúrgicos y mineralúrgicos, que habría que corregir con una política firme. Actualmente no sólo hay escasez de plantas mineralúrgicas de cierta categoría sino que la investigación en esta fase y en la siguiente, es decir, la metalúrgica, es notablemente insuficiente. Y no hay más que mirar la diferencia entre los precios de nuestros minerales y los de importación de derivados para comprender el daño que a nuestra economía causa esta situación.

Ya Don Lucas Mallada en su obra "Los males de la Patria" se lamentaba amargamente de que nuestra minería se organizase sobre la exportación de materias primas al extranjero, cuando teníamos que importar productos elaborados a un alto coste. Y terminaba con reflexiones como las siguientes, que mantienen, desgraciadamente, su actualidad: "Aunque únicamente se limitara nuestra industria metalúrgica a convertir los minerales de hierro, de cobre, de zinc y de plomo en barras y lingotes, destinados, a su vez, como primeras materias, a otras industrias derivadas, donde aquéllos doblan, triplican y cuadruplican sus respectivos valores con las elaboraciones sucesivas, España podría reportar de 350 a 360 millones de utilidades, en vez de los 87 escasos que sólo aprovecha por la exportación de las menas de nuestras sustancias metálicas. Mas si una vez convertidos en barras y en lingotes los minerales metálicos exportados como materia bruta, se sujetasen en la Península a sucesivas elaboraciones de las industrias y artes derivadas del reino inorgánico ¿quién habría capaz de calcular hasta donde serían susceptibles nuestras minas de multiplicar

la riqueza pública?". Años más tarde, una personalidad tan sobresaliente en el Cuerpo de Minas como D. Agustín Marín, en un trabajo suyo titulado "Recursos minerales de España", se lamentaba del atraso de nuestra industria minera y ponderaba lo mucho que había que adelantar en metalurgia y en preparación de minerales. Hoy día, la opinión de nuestros expertos más calificados, coincidiendo con la de Mallada y Marín, es clara y unánime acerca de esta cuestión: España necesita más tecnología en la fase de tratamiento y beneficio de minerales, tecnología que, en muchos casos, por ser muy específica, no hay más remedio que producir, o lo que es lo mismo, investigar. Y mientras esto no se consiga, nuestra minería seguirá estando colonizada.

Si ésta es, desde hace mucho tiempo, la opinión de nuestros ingenieros ¿cómo no se han producido esos adelantos y mejoras, tan sumamente necesarios, en nuestra industria minera?. En la primera conferencia de este ciclo se preguntaba Carlos Sánchez del Río: "si nuestros Ingenieros son buenos ¿cómo España no es un país industrial?. La respuesta que se daba era la justa: porque eso no depende principalmente de los ingenieros, sino de los empresarios que, con frecuencia, no buscan o no siguen el consejo de los técnicos. En las deficiencias de nuestra mineralurgia y nuestra metalurgia, tantos años persistentes a pesar de la opinión claramente expuesta por nuestros Ingenieros de Minas, tenemos un ejemplo elocuente de esta con tumaz cerrazón.

## IV

ALGUNOS RASGOS DE LA VIDA Y LA OBRA DE DON LUCAS MALLADA

Pero es el momento ya, después de esta rápida impresión de la presencia en la minería y en la geología de los Ingenieros de Minas, de que nos fijemos en uno de sus mejores representantes, al que se puede considerar compendio y modelo de todos sus valores profesionales: Don Lucas Mallada.

Don Lucas Mallada nació en Huesca, en octubre de 1.841. Cuando contaba siete años de edad, su familia se traslada a Zaragoza, y en esta ciudad inició sus estudios de Bachillerato, que terminó en Madrid, donde sus padres se afincan en un año anterior a 1.859. Ingresa en la Escuela de Ingenieros de Minas en 1.860 y acaba su carrera de Ingeniero en 1.866. Tanto en sus estudios de enseñanza media como en los superiores, no destaca por sus calificaciones brillantes; la puntuación media final de su carrera excede ligeramente la nota de aprobado, sin alcanzar la de notable, y el lugar que ocupa en su promoción, de sólo 10 compañeros, cuando sale de la Escuela, es el penúltimo.

Es evidente pues, que ni durante su carrera, ni en sus años de Bachillerato, tuvieron ocasión de brillar las excepcionales dotes del futuro gran geólogo. Tampoco sus primeros destinos profesionales en Almadén, Oviedo y Teruel, dejan prever las altas metas que alcanzará después. Un cambio importante en su vida, sin embargo, va a iniciarse al ser destinado a Madrid en 1.870, cuando no llevaba más que seis meses en Teruel. En la capital se incorpora a la Comisión del Mapa Geológico, casi al mismo tiempo que su amigo Daniel de Cortázar. Ya hemos visto que la Comisión, fundada en 1.849, llevaba por ese año

de 1.870, una vida difícil y lánguida, falta de medios económicos y quizá, también, de un impulso director. Este le llega al asumir el mando de la Comisión, en 1.873, D. Manuel Fernández de Castro, de cuyas excepcionales cualidades como jefe y organizador ya hemos dado referencia antes. Castro y Mallada, dos grandes personalidades, afines en muchos rasgos y complementarios en otros, se compenetran estrechamente. Entre los dos se establece una honda amistad, marcada por el respeto reverencial de Mallada hacia su jefe, al mismo tiempo que una perfecta colaboración profesional, que durarán hasta la muerte de Don Manuel en 1.895. Castro proporcionará a Mallada medios materiales para su actividad, guiará y ordenará su trabajo y, sobre todo, le estimulará con su apoyo moral. Mallada, por su parte, va a responder con el espléndido despliegue de sus altas cualidades, hasta entonces ocultas: de su lúcida inteligencia, de su inmensa capacidad de trabajo, de su inigualable talento de naturalista y de la magnánima fuerza de su carácter, que le lleva a concebir y desarrollar grandes planes.

Ya hemos visto cómo, con la dirección de Fernández de Castro, la Comisión del Mapa Geológico se levanta vigorosamente, e inicia y sigue, con seguro paso, un vasto programa de actividades. Mallada participa muy intensamente en ellas, desde el primer momento, con sus investigaciones y publicaciones iniciales. Consisten éstas, principalmente, en Memorias geológicas provinciales, a través de las cuales procura la Comisión un primer reconocimiento del territorio de la Península; el objetivo final que cumple Castro, como sabemos, en 1.889 es la formación del Mapa nacional a escala 1:400.000.

Mallada aporta a esta empresa las memorias provinciales de Cáceres, Huesca, Córdoba, Navarra, Jaén y Tarragona;

es una espléndida contribución, que revela ya, y confirma, su talento y a la vez, sus incalculables energías. Y no sólo por la calidad y el volumen de estas obras -sobre todo, la Memoria de Huesca, una de las mejores publicadas por la Comisión- sino porque, al mismo tiempo, inicia y casi termina su gran "Sinopsis de las especies fósiles que se han encontrado en España" uno de sus textos más notables, al que después nos referiremos.

Con estas Memorias provinciales inicia el ilustre Ingeniero de Minas una etapa fecundísima de su vida, que va de 1.880 a 1.890, aproximadamente, en la que da la plena medida de sus posibilidades. Es un tiempo de plenitud, de desbordamiento de facultades y energías, en el que lleva a cabo su magno empeño de la "Sinopsis", en el que inicia sus estudios de cuencas carboníferas -las de Cibera y Matallana, las de Valderrueda y Guardo- y en el que ejerce la docencia desde la Cátedra de Paleontología de la Escuela de Minas, que desempeñó desde 1.880 a 1.892. Y, por si fuera poco, ésta es también la época en que con tremendo vigor, irrumpe en el campo socio-político con un conjunto de polémicos escritos que culmina en su famosa obra "Los males de la Patria", publicada en 1.890.

Esta producción no científica de Mallada merece un breve comentario aparte. En primer lugar, compone una bibliografía más varia y extensa de lo que se cree, pues no se limita a "Los males de la Patria", que es, de todos modos, un amplio texto de 359 páginas. Abarca, primeramente, un "Proyecto de una nueva división territorial de España", una monografía de criterios y conclusiones muy discutibles que, en general, se encontró con un decidido rechazo; una publicación, sobre "Causas de la pobreza de nuestro suelo", basada en dos conferencias dadas por el geólogo aragonés en la Real Sociedad Geográfica

fica, en la que suscitó apasionadas controversias: una formidable serie de 90 artículos publicados en un diario radical y progresista de la época, "El Progreso", con el título genérico de "La riqueza mineral de España"; una serie de cinco trabajos sobre temas urbanísticos, que proponían diversas reformas urbanas en Madrid; el citado y célebre libro "Los males de la Patria", del cual se publicaron avances en varias revistas, antes de ser editado en un solo volumen en 1.890: una segunda parte de "Los males de la Patria", con el título "La futura revolución española", escrito totalmente ignorado, dado por todos como inexistente y que descubrí en los olvidados volúmenes de la "Revista Contemporánea": y finalmente, una briosa y franca exposición de la situación política de España, hecha al Rey entonces recién ascendido al trono, titulada "Cartas aragonesas dedicadas a S.M. el Rey D. Alfonso XIII".

Se manifiesta en todos estos escritos -y, sobre todo, en "Los males de la Patria" y en "La futura revolución española"- una negra visión de nuestras instituciones, de nuestra política pasada y presente, de los rasgos de nuestro carácter y de la realidad física de nuestro país. Es indudable que el sombrío cuadro que nos presentan tiene sus tintas recargadas por el exacerbado pesimismo de Don Lucas, pesimismo del que él era bien consciente, como un lastre de su espíritu, pero al que dejaba campaar libremente en sus escritos políticos. Es curioso, sin embargo, comprobar que este pesimismo no le conduce al desaliento y así ocurre que, después de sus amargas críticas, después de presentar desastres que parecen irremediables, siempre termina ofreciendo un programa de soluciones. Al lado del crítico implacable había, pues, en Mallada, un arbitrista nato que se complace en idear remedios en forma de planes económicos y administrativos.

Este afán de indagar nuestra real situación social y política, sin eludir sus aspectos negativos, y al mismo tiempo, de buscar remedios para nuestra postración, encuadran a Mallada en la tendencia llamada regeneracionista. Es más, varios historiadores y críticos literarios sostienen que "Los males de la Patria" es la obra que inicia esa corriente o escuela del regeneracionismo en la que luego descollarán Macías Picavea, Costa, Isern y otros pensadores. Es muy probable, sobre todo, que entre Costa y Mallada, coetáneos, afines en ideas, del mismo origen aragonés, hubiese una asidua amistad -aunque no quedan testimonios escritos de ella- que determinaría una mutua influencia en su pensamiento.

Al mismo tiempo que Mallada lleva adelante, a lo largo de veinticinco años, esta intervención en la palestra política y termina su serie de Memorias geológicas provinciales, se lanza a concebir y desarrollar las dos obras de mayor empeño en su vida: la "Sinopsis de las especies fósiles encontradas en España" y la "Explicación del Mapa Geológico de España". La primera es una relación de las formas fósiles localizadas en España, con descripciones detalladas de cada especie, que se ordena por sistemas geológicos. A las descripciones acompañaban, siempre que era posible, magníficos dibujos hechos por artistas especializados. Se fue publicando, en diversas entregas, a lo largo de doce años, en cinco tomos del Boletín de la Comisión, hasta alcanzar y completar la fauna del Cretáceo superior. Se vió entonces la imposibilidad de continuarla, por el enorme coste de la edición y, ante este hecho, Don Lucas decidió cancelar su obra paleontológica publicando el "Catálogo general de las especies fósiles encontradas en España". Es una extensísima recopilación de 4.058 especies, agrupadas por sistemas geológicos, para cada una de las cuales se señala la localidad de origen y las citas bibliográficas correspondientes.

Tanto la "Sinopsis" como el "Catálogo" fueron utilísimos para varias generaciones de geólogos y paleontólogos y, como obras únicas en su género, persistieron durante muchos años. Este carácter de obra inicial y fundamental en una rama de las ciencias naturales, hasta entonces escasamente cultivada en España, ha hecho que Mallada sea considerado, con justicia, como fundador de la Paleontología española.

La "Explicación del Mapa Geológico de España" tiene, más aún que la "Sinopsis", el carácter de obra monumental, por la amplitud y dificultad de su tema y por sus ingentes proporciones. Consta de siete grandes volúmenes, publicados desde 1.895 a 1.911, que suman 3.740 páginas; supuso, pues, un esfuerzo titánico prolongado a lo largo de dieciséis años.

El genio inspirador de esta obra fue, como en otras de Mallada, D. Manuel Fernández de Castro, que aspiraba, como complemento natural del nuevo Mapa geológico nacional a 1:400.000, a disponer de una explicación detallada del mismo. No puedo imaginar, sin embargo, las colosales proporciones que daría a esta obra el geólogo aragonés, puesto que murió al publicarse el primer volumen. Y es que Mallada no se limitó a una explicación de los terrenos geológicos de España, compendiada en un solo volumen, sino que para cada sistema geológico exponía, primeramente, sus características petrológicas, estratigráficas y paleontológicas generales; describía después con gran abundancia de datos locales, sus afloramientos en todo el territorio español y, finalmente, enumeraba los yacimientos de minerales útiles y los manantiales mineromedicinales ubicados en sus terrenos. En consecuencia, la gigantesca obra de Mallada no sólo comprendía una descripción muy pormenorizada de las formaciones geológicas peninsulares, sino un catálogo detallado de sus criaderos minerales, al mismo tiempo que

un tratado teórico sobre generalidades de los sistemas geológicos.

Por toda la producción científica mencionada hasta ahora es considerado Mallada como un eximio geólogo, o más aún, como el patriarca de la Geología española. Pero es, además, y en tanta proporción como geólogo, Ingeniero de Minas. Desde los comienzos de su carrera, esa mentalidad práctica, esa preocupación por el trabajo técnico y sus beneficios económicos, que son esenciales en el Ingeniero, se manifiestan claramente en él. Es más, hacia el final de su vida, en sus últimos veinte años de actividad, se consagra exclusivamente a estudios de Geología minera o, en general, aplicada. Publicó en esta época extensos y notables informes sobre cuencas hulleras, continuando la línea de investigación que había iniciado en 1.887 con su Memoria de la cuenca de Cifera y Matallana. Ahora los criaderos estudiados son los de Valderrueda (León), Guardo (Palencia), así como las cuencas de Bélmez, Sabero y Guadalbarbo. A estos informes se unen otros muchos, publicados algunos en el Boletín de la Comisión, y otros inéditos, como encargos de Empresas, que versan sobre yacimientos de los minerales más diversos y sobre captaciones de aguas subterráneas. En suma, que, como dijo su amigo Cortázar, fue Mallada un habilísimo Ingeniero, cuya capacidad y asiduidad en trabajos técnicos y de Geología aplicada se manifestó con muy notables realizaciones a lo largo de toda su vida.

Los méritos de una carrera tan sobresaliente a pesar de la exagerada y casi huraña modestia de Mallada, tuvieron que ser reconocidos y admirados en su tiempo: y así, el gran geólogo fue llamado a un sillón de la Academia de Ciencias, fue Presidente de la Real Sociedad de Historia Natural y fue dis

tinguido por el Monarca reinante con las grandes cruces de Isabel la Católica y Alfonso XII.

Esta es, esbozada a grandes rasgos, la personalidad singular de un gran Ingeniero, autor de una obra científica gigantesca, que fue, al mismo tiempo, profesor riguroso, viajero infatigable, escritor socio-político, e investigador activísimo. Para el público general puede ser una figura desconocida; para los Ingenieros de Minas debe ser un dechado de valores profesionales y un modelo en el que podemos mirarnos con orgullo.

BIBLIOGRAFIA

ALASTRUE, E.: La vida fecunda de Don Lucas Mallada, 1.983.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA: Situación actual y planteamiento de futuro, 1980

LOPEZ DE AZCONA, J.M. y HERNANDEZ SAMPELAYO, J.: La Geología y Minería españolas, 1974

MALLADA, L.: Progresos de la geología en España durante el siglo XIX, 1897.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA: La minería en España, hoy, 1982.



LA INGENIERIA HIDRAULICA: MANUEL LORENZO PARDO

Por Rodolfo Urbistondo

El primer principio de la Carta Europea del Agua, adoptado por el Consejo de Europa en el año 1.968, dice: "NO HAY VIDA SIN AGUA". Se quiso que el aldabonazo a la conciencia europea y mundial que pretendía ser la Carta, se apoyase en el recuerdo de este primer principio, nunca discutido tal vez, pero olvidado de hecho, del que habían de derivarse los postulados de aquella Carta, encaminada a alertar sobre la necesidad urgente de una política de protección y explotación racional de los recursos hidráulicos.

Efectivamente, no hay vida sin agua, y quizás por ello la gran mayoría de las civilizaciones históricas han florecido, cabe, a caudalosos ríos o reservas de agua dulce y en climas de pluviosidad suficiente para asegurar la respuesta generosa de la tierra a los trabajos agrícolas. En países o zonas de esas características no puede decirse que hasta ya muy entrado este siglo el agua haya podido constituir un elemento limitativo de su desarrollo urbano, agrícola o industrial. Unicamente al crecer extraordinariamente la demanda en consonancia con un desarrollo, asimismo, extraordinario en cualquiera de aquellos tres aspectos y, a veces, simultáneamente, en todos ellos, y al acrecerse la agresión que contra la calidad de los recursos hidráulicos lleva potencialmente aparejado todo desarrollo de nuestra civilización, ha sido necesario plantearse programas de conservación y mejor explotación de las aguas.

En España la situación ha sido y es muy otra. Son adversas las características geográficas y climáticas de la mayor parte del territorio peninsular, desnudo absolutamente de tierra vegetal en proporción muy importante, con suelos someros, pobres y con inequívoca vocación de baldíos, asimismo en gran proporción, desprovisto prácticamente de bosques el territorio, y con precipitaciones de lluvia irregulares, estacional e interanualmente, y muchas veces escasas. Eso sí, con una integral térmica comparable o superior a la de la mayor parte de los países europeos, potencial de pingües aprovechamientos agrícolas allí donde ha podido conjugarse con suelo fecundo y agua abundante, como es asimismo potencial permanente de atracción turística, que, afortunadamente para nuestro país, se ha actualizado en los últimos años en creciente afluencia de visitantes.

Salvo en la orla verde del Norte, España es un país seco, tanto por la clara insuficiencia de la cuantía media de las precipitaciones en algunas regiones, como por la irregularidad, anual e interanual, de las lluvias, en zonas en las que la precipitación anual media no puede considerarse, en valor absoluto, insuficiente, o, cuanto menos, notoriamente insuficiente. La notable diferencia en los rendimientos agrícolas que para cualquier tipo de cultivo se obtiene, si se dispone del agua necesaria al crecimiento de las plantas, llevó históricamente a la utilización agrícola exhaustiva de las vegas, en la extensión que permitían los escasos recursos de agua que ofrecían los estiajes, justamente en la época en que mayor resulta la avidez de agua en algunos cultivos. Pero es especialmente en las zonas del Levante español en las que la conjunción de suelo y clima, a que aludía antes, con caudales suficientes de agua, produce ubérrimos resultados en la agricultura

ra de huerta y plantaciones arbóreas, donde la dinámica interna de expansión queda contenida o anulada durante siglos por la dificultad o imposibilidad de ampliar los caudales disponibles. El grado de eficacia en la utilización de aguas en regadíos en el Levante español ha alcanzado a lo largo de los siglos cotas, a mi juicio, difícilmente superables. Se producen, en consecuencia, históricamente, repetidos esfuerzos por incrementar los caudales disponibles, almacenando aguas invernales para su utilización en verano, mediante pequeños diques o presas, de las que muchas han desaparecido arrasadas por las propias aguas que pretendían conservar, aunque perduran otras con varios siglos de existencia, como las de Almansa, Tibi, Relleu, Elche o la Granjilla, sin olvidar las que, como Cornalbo o Preserpina, integran el legado de la época romana.

Al entrar España en la Edad Moderna, aparecen mentes preclaras que tratan de buscar remedios al ya patente retraso con que se está produciendo la evolución de nuestro país en relación con la de nuestros vecinos europeos. Pero fue, quizás, Joaquín Costa, el primero en postular con claridad la necesidad de una decidida acción estatal que mediante la construcción de presas y grandes canales de riego, permitiese promocionar el campo y devolver a nuestra agricultura niveles competitivos de rendimiento en los productos, para no solamente terminar con las importaciones de alimentos, sino, además, contribuir a enriquecer el país, por la exportación de los que se preveía podían ser importantes excedentes agrícolas. A esta política, que evidentemente propugnaba un claro intervencionismo estatal, que se compadecía mal con las llamadas doctrinas liberales de gobierno por aquella época de finales del siglo XIX, dio en llamar con original sinécdoque "política hidráulica", nombre que encontró general aceptación y que ha conser

vado su vigencia hasta nuestros días, si bien con una ampliación de su original contenido y pérdida de su sentido trópico. Transcribo textualmente de su mensaje a la Cámara Agrícola del Alto Aragón, en Noviembre de 1.898: "De hoy en adelante debe ser el primer cuidado y la principal preocupación de los hombres de gobierno, lo que se ha llamado con cierta relativa exactitud "política hidráulica". Quedan a la agricultura española dos minas por explotar que valen por algunos miles de millones: Una, el agua de nieve y lluvia que cae en el territorio, la cual hay que retener en él, defendiéndola contra el plano inclinado por los embalses y las sangrías y contra la evaporación de por labor de desfonde, etc.". "Regar la tierra es elevarla casi a la condición de valores del Estado, porque así como éstos maduran sus cupones trimestralmente, aquélla rinde todos los años tres cosechas". "Tradúcese esto en el programa siguiente: Sistema de riegos acomodado a las condiciones hidrológicas de nuestros ríos. Canales para el cultivo cereal y de prado de primavera ... Pantanos anejos a ellos para reforzar el escaso caudal de verano; reparto entre los pueblos de la zona regable, proporcionalmente a su población, para cultivo de tantas parcelas de huerto como familias. Plan general de canales: Su construcción por el Estado y cambio del derecho perpetuo al agua por una parte alícuota al suelo regable". Pero sobre todo vivir, alumbrar esa riqueza que nos falta, porque "no puede ser libre quien tiene el estómago pendiente de ajenas despensas", de tal modo que "en comarcas castigadas por la sequía un canal de riego proporciona al pueblo mayor suma de libertad que una Constitución, por muy democrática que se titule".

Como ven Vds. una definición precisa en cuanto a su objetivo último habría de desarrollarse, en su caso, en planes o programas concretos: "Aprovechar hasta la última gota de

agua". Este fue el reto que se lanzó a la sociedad española por hombres clarividentes, que me consta comprendieron la dura realidad de la dura circunstancia de nuestro país y la necesidad de enfrentarse con ella y tratar de modificarla, en lo posible, si queríamos asegurar nuestras posibilidades de futuro. Este fue, asimismo, de rechazo, el gran reto a la ingeniería hidráulica española, y, concretamente, al Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, al que me honro en pertenecer.

No debe, naturalmente, confundirse de modo estrictamente literal el comienzo de este siglo con el arranque de la moderna ingeniería hidráulica española, ya que, de modo esporádico, habían surgido algunas obras extraordinarias, como la del abastecimiento de aguas a Madrid por el Canal de Isabel II, cuyo primer canal entró en servicio en el año 1.858, derivado del Pontón de la Oliva, bellísima obra de ingeniería, que sustituyó, en 1.882, la Presa El Villar, de 50 m. de altura, importante para aquella fecha, 23.000.000 m<sup>3</sup>. de capacidad, o, como el Canal de Aragón y Cataluña y el Canal de Urgel, cuyas construcciones se iniciaron en 1.866 y 1.829, por no remontarnos a la secular Acequia Real del Júcar o al Canal de Castilla o a los interesantes restos de las primeras obras de trasvase de las que tenemos noticias, que fueron las del Castril y Guardal, afluentes de cabecera del Guadalquivir, hacia Levante, obra iniciada en el Siglo XVIII, que se abandonó sin concluir y que ha sido reivindicada durante siglos, por sus supuestos potenciales beneficiarios de las provincias de Almería y Murcia.

El Plan de Canales y Pantanos del año 1.902, constituye un intento de respuesta por parte del Gobierno a la demanda generalizada por una política hidráulica. Su orientación es marcadamente agrícola, de conformidad con la concepción original de la política así denominada, y constituye, en realidad,

más que un Plan, un catálogo de pantanos y canales que, de algún modo, respondían a las aspiraciones regionales de las grandes cuencas hidrológicas o agrupaciones de cuencas del país. Los de 1.909, 1.916 y 1.919 introdujeron modificaciones en los objetivos propuestos, fundamentalmente motivadas por estimaciones más concretas de los costos de transformación, pero aportan en realidad pocas o ninguna novedad sobre el de 1.902. Tenía más este Plan a asegurar la terminación de los canales de conducción que permitieran dominar las nuevas zonas regables o asegurar las existentes, que a la obtención de caudales regulados que permitieran garantizar los nuevos regadíos creados por encima de los límites de los caudales naturales fluyentes o consolidar los regadíos existentes que con frecuencia adolecían de insuficiencia de caudales. No se había comprendido aún por todos, que el gran reto que la naturaleza planteaba a nuestro país iba más allá de la deseable tarea de expansión del regadío nacional para asegurar el abastecimiento alimentario y la exportación de excedentes, pilar firme de la reconversión económica y social de nuestro país y que resultaba absolutamente necesario, tanto para asegurar aquella expansión de los regadíos como las necesidades de agua del desarrollo urbano e industrial, que aparecía ya como realidad inminente, dominar esas salvajes y gigantescas ramblas que mal llamamos ríos, absorbiendo la energía destructora y la fecundidad potencial de sus aguas de avenidas o crecidas, mediante embalses de regulación que, multiplicados por todo el territorio nacional en cuantos puntos ofreciesen condiciones medianamente aptas para el establecimiento de una presa, permitiesen almacenar las aguas caídas en las estaciones lluviosas para su utilización en los estiajes, y las aguas excedentes de los años húmedos para su utilización en los años secos o en la serie de años secos de los que desgraciadamente tenemos muy reciente experiencia. Es

ta noble empresa de frenar el ímpetu salvaje de nuestros ríos, de templarlo o atemperarlo a nuestras necesidades de utilización, de mandarlos a través de canales, acueductos y tuberías de carga, por donde al hombre mejor le conviene, fue definida por mi entrañable amigo y anterior Presidente del Comité Nacional de Grandes Presas, José Torán Peláez, como "fluviomaquia" o "arte de lidiar ríos".

Siguiendo la pauta muy general que se nos sugirió por los organizadores de este curso para la estructura de las conferencias, nos ha parecido que la figura del Ingeniero Manuel Lorenzo Pardo, era, quizás, la que podía considerarse más representativa de la ingeniería hidráulica española contemporánea, dentro de este enorme esfuerzo colectivo que ha supuesto ir adaptando a fórmulas reales y asimilables por sucesivos Gobiernos, los postulados de la política hidráulica, al tiempo que se enriquecía su propio contenido.

Nació D. Manuel Lorenzo Pardo el 5 de Marzo de 1.881 en la madrileña calle de Lavapiés. Cursó sus estudios de primera enseñanza en el "Colegio Sabater" y de segunda enseñanza en el "Colegio Romano" e "Instituto de San Isidro", e ingresó, en el año 1.898 en la Escuela de Ingenieros de Caminos, de Madrid, en la que terminó sus estudios en el año 1.903. Después de un breve destino en la Jefatura de Barcelona, es trasladado en su condición de "aspirante" al Centro de Estudios de Aeronáutica, en Madrid, en el que colabora con el insigne Ingeniero Leonardo Torres Quevedo. En el año 1.905, desempeña una breve comisión de servicio en el Canal de Aragón y Cataluña, y, finalmente, en el año 1.906, es designado Ingeniero Segundo y destinado a la División Hidráulica del Ebro, en Zaragoza. Allí proyecta y dirige las obras del Embalse de Valboreda, en la provincia de Logroño, al tiempo que comienza los primeros es

tudios sobre regulación en la cabecera del Ebro, que según D. Clemente Saenz, se iniciaron con la concepción del Embalse de La Virga, sustituido más adelante por el Pantano del Ebro, al que D. Clemente llamaba "Pantano de Lorenzo Pardo", en homenaje a quien lo concibió y supo vencer todas las dificultades que se oponían a que llegara a ser una espléndida realidad.

En 1.926 es designado Director de la Confederación Hidrográfica del Ebro por el entonces Ministro de Fomento, y asimismo Ingeniero de Caminos, D. Rafael Benjumea, Conde de Guadalhorce, pionero en la construcción de aprovechamientos hidroeléctricos importantes en nuestro país como el "Salto del Chorro" en Málaga.

En 1.931 y tras la llegada de la República, es depuesto fulminantemente y procesado por supuestas dilapidaciones de caudales, pero en 1.932, el Ministro de Obras Públicas, D. Indalecia Prieto, le llama y le encarga la redacción de un Plan Nacional de Obras Hidráulicas y en 1.933 le designa Director del recién creado Centro de Estudios Hidrográficos. A finales de 1.933, es designado Director General de Obras Hidráulicas, y continua dirigiendo el Centro de Estudios Hidrográficos hasta marzo de 1.936, en que éste fue suprimido por el Gobierno.

Terminada la Guerra española ocupó la Jefatura de Sondeos y Cimentaciones en el año 1.939; ascendió a Inspector en el año 1.942 y se jubiló como Presidente del Consejo de Obras Públicas en el año 1.951. Falleció el 26 de agosto de 1.953, en Fuenterrabía.

Es durante su época de Ingeniero en la División Hidráulica del Ebro, cuando Lorenzo Pardo asimila y hace suya la po

lítica hidráulica propugnada por Costa y lucha por hacerla realidad inmediata, justamente en las mismas tierras del Valle del Ebro, cuya definitiva redención a través del riego, había inspirado a Costa. Lorenzo Pardo lee, escucha, discute, escribe y propone actuaciones concretas y directas encaminadas a promocionar el verdadero lanzamiento de los Planes de Canales y Pantanos que desde el años 1.902, con las sucesivas modificaciones mencionadas, seguían vigentes sobre el papel y desarrollados tan sólo en muy mínima parte.

Tres han sido, a mi juicio, los aspectos más relevantes de la actividad de Manuel Lorenzo Pardo como ingeniero hidráulico, que voy a analizar brevemente.

En primer lugar Lorenzo Pardo comprende y predica la necesidad de la construcción de obras de regulación de los ríos, necesidad que si bien era reconocida por algunos ingenieros ilustres, no había sido quizás suficientemente asimilada, como lo prueba el papel relativamente reducido que se les confía en el "Plan Gasset" o Plan de 1.902. Pero es que Lorenzo Pardo va a más, y cuando comienza a estudiar la posibilidad de regulación de la cabecera del Ebro, como medio de asegurar la pervivencia y expansión de los feraces regadíos de sus vegas a su paso por Navarra y Aragón, plantea, con gran osadía para lo que podríamos llamar era entonces el estado de la cuestión, la necesidad de acometer una regulación interanual de la cabecera del Ebro y, mediante un embalse de 540 millones de metros cúbicos de capacidad, regular la aportación media del Río Ebro estimada tan sólo en 340 millones. Esta sí resultaba concepción audaz y novedosa que sólo muy lentamente fue abriéndose paso, hasta el punto de que el propio Lorenzo Pardo, advertía sobre la propia posibilidad de que una

regulación interanual no fuese justificable económicamente y aconsejable, en consecuencia, en todos los casos. Bien es verdad que, en aquella época, era razonable pensar que la hiperanualidad de los embalses sólo podría justificarse en determinados planteamientos de algunos sistemas de riego, y sólo qu zás, posteriormente, se ha puesto de manifiesto su importancia y necesidad en muchos otros casos, tanto en la generación de energía hidroeléctrica como en la garantía de dotaciones para abastecimiento de agua de poblaciones. Son hoy ya muchos los hiperembalses construidos y en explotación. Baste re cordar Alcántara, Almendra, Cijara, Mequinenza, Buendía, Val decañas, Ricobayo y Alarcón, por citar tan sólo los de capacidad superior a 1.000 millones de metros cúbicos. Pero allá por los años 20, para muchos, resultó nuevo, hasta el mismo concepto de hiperembalse. Creo que fue Lorenzo Pardo quien acuñó la palabra hiperembalse para denominar este tipo de embalses destinados a la regulación interanual de los ríos.

Me van a permitir que les lea su mención como ejemplo de este tipo de embalses, del Pantano del Ebro, que, como saben, es una fecunda realidad desde el año 1.945, pero que fue desde su planteamiento motivo de enconadas controversias: "El em balse del Ebro, en Reinosa, ofrece un ejemplo de esta clase de obras regularizadoras de tipo superior, en su más alto gra do, o sea, hiperembalse de acaparamiento y régimen adaptado a las necesidades sentidas en época estival de penuria en los recursos naturales disponibles. La regularización hiperanual que ofrece es de estiajes, su acción sensible a todo tiempo en larguísimo tramo del Ebro y dominante en verano en mucho más de la mitad de su curso, será complementada por otros em balses laterales de condición distinta.

Estos embalses, han de tener, necesariamente, una capacidad superior a la de los corrientes, mayor incluso que la aportación superior presumible en la cuenca alimentadora. En el del Ebro, por ejemplo, cuya máxima capacidad normal es de 480.000.000 m<sup>3</sup>., ampliable a 540.000.000 por adecuado y oportuno manejo de las alzas móviles de que va provisto su corto aliviadero, la aportación normal excede poco de los 350.000.000, pero ha habido años en que no ha alcanzado la de los 300.000.000 m<sup>3</sup>.

La razón esencial es que necesita acaparar, no solamente la aportación invernal de cada año, sino también la sucesiva de los sobrantes durante el período de años en que ha habido exceso de recursos para alcanzar la media estival permanente prevista, para ir soltando los volúmenes suplementarios que hay que añadir a la aportación de cada año de escasez para alcanzar aquel medio."

El segundo relevante aspecto de Lorenzo Pardo como ingeniero hidráulico, es, a mi juicio, su visión del aprovechamiento hidráulico integral de los ríos y en consecuencia, de la necesidad del tratamiento unitario de una cuenca hidrográfica y de la conveniencia de que el planteamiento y desarrollo consiguiente de los planes de obras se confiaran a Organismos más ágiles en medios y autonomía que lo que, según su experiencia como ingeniero de la División Hidráulica del Ebro, cabía esperar de las estructuras técnico-administrativas existentes. Esta concepción genial de Lorenzo Pardo y de sus colaboradores, plasmó en la creación de las Confederaciones Hidrográficas, de las que la del Ebro se constituyó en poco tiempo paradigma, como consecuencia de haber sido designado primer Director el propio Lorenzo Pardo.

La creación de las Confederaciones Hidrográficas es casi contemporánea a la de la Autoridad del Valle del Tennessee, en Estados Unidos, si bien ésta tenía originalmente una finalidad distinta de regulación para la contención de avenidas y producción de energía hidroeléctrica, y presentada asimismo, analogía con las Wasser Verbände alemanas que buscan la unidad de cuenca para el desarrollo de determinados objetivos hidráulicos, de obtención de recursos o de tratamiento de aguas residuales. Es todavía reciente la constitución de las Water Authority en el Reino Unido.

Sería sencillamente lamentable a mi juicio, que la unidad en el fomento, gestión y administración de las aguas, con seguida en nuestro país hace años, llegase a deshacerse por una, también en mi opinión, equivocada interpretación de lo que deben ser las transferencias a los Entes Autonómicos.

El tercero de los aspectos de la actividad de Lorenzo Pardo como ingeniero hidráulico que me parece oportuno destacar, es el de iniciador y promotor de la planificación hidráulica a nivel nacional. El, que había sido asimismo el primero en comprender la necesidad de la planificación a nivel de cuenca hidrográfica, con el concurso, sugerencias y apoyo de los propios beneficiarios y que supo desarrollarla en poco tiempo en la Confederación del Ebro, comprendió que, en nuestro país, no solamente eran necesarias un mínimo de directrices generales que aseguraran la homogeneidad en la planificación hidráulica y permitiesen en consecuencia una equitativa asignación de recursos económicos, sino que además resultaba imprescindible la planificación a nivel nacional de los sistemas correctores del desequilibrio hidrográfico, en cuanto fueran técnica y económicamente viables.

Los acontecimientos políticos determinaron, en buena parte, este protagonismo de Lorenzo Pardo como pionero de la planificación hidráulica a nivel nacional.

Efectivamente la llegada de la República despertó en algunos sectores del Ministerio de Fomento una cierta manía persecutoria hacia todo aquello que pudiese considerarse como obra característica del fecundo mandato del Conde de Guadalhorce al frente del Ministerio de Fomento. Como tal fueron identificadas las Confederaciones Hidrográficas, a las que se convirtió en Mancomunidades y a las que en muy poco tiempo se despojó de las características formales y organizativas que estaban llamadas a darles mayor eficacia y que no han recuperado plenamente hasta nuestros días. Lorenzo Pardo, promotor y director de la primera de las confederaciones, fue destituido de su cargo e, incluso, procesado, por supuesta dilapidación de fondos públicos, que así hubo quien entendió la creación de los Servicios Meteorológicos de las Redes Pluviométricas y de los Servicios Agronómicos y Forestales en la Confederación del Ebro.

El ingeniero que os dirige la palabra ha sido desde los albores de su vida profesional enemigo de todas las dictaduras de cualquier color, pero ello no le ha llevado, afortunadamente nunca, al disparate de repudiar un proyecto, una obra, un plan, un programa o una organización técnica y administrativa en función del color político o circunstancias en que fue concebida. Así debía pensar también Indalecio Prieto, que a los pocos días de ocupar la cartera de Obras Públicas, llamó a Manuel Lorenzo Pardo, creó el Centro de Estudios Hidrográficos y designó a aquél como Jefe, con palabras suyas "riendo así el homenaje que estimé indispensable a la personalidad científica del Sr. Lorenzo Pardo".

Surgió así la oportunidad y los medios para preparar por primera vez un Plan de obras hidráulicas que respondiesen verdaderamente a esta denominación y superase el contenido de mero catálogo que, como ya hemos repetido, había tenido el Plan de Pantanos y Canales de 1.902 y sus modificaciones subsiguientes. Fueron muchos los ingenieros hidráulicos españoles, que directamente adscritos al Centro de Estudios o a través de las Mancomunidades en que habían quedado transformadas las Confederaciones, colaboraron con el Centro de Estudios Hidrográficos en la redacción del Plan. Me limitaré a mencionar tan sólo al Profesor Clemente Saenz García, preclaro ingeniero e insigne geólogo, conoedor, como nadie, de la última piedra y del último fósil de la patria, colaborador de Lorenzo Pardo ya desde los tiempos heroicos de la fundación de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

En la exposición de directrices del Plan, explica que "la idea fundamental consiste en atribuir a los nuevos regadíos una función impulsora de la producción, con el doble objeto de satisfacer las necesidades del consumo nacional y de proporcionar productos apetecidos por el mercado exterior; en una palabra, resolver conjunta y armónicamente el problema económico en su aspecto agrícola, ofreciendo medios y plazos para los restantes. La influencia sobre la actividad general y sobre esos otros factores de la producción y de la vida nacional, es indudable y será inmediata".

El Plan analiza cuidadosamente la suerte corrida en los Planes habidos desde el año 1.902 y la situación en el momento de la redacción para extraer consecuencias constructivas. Incorpora la información disponible en cuanto a suelos, climatología, pluviometría, hidrografía, y un estudio agronómico

de base en consonancia con la directriz fundamental del Plan antes mencionado. El análisis y definición de los objetivos locales en las cuencas de las áreas mediterránea y atlántica, plantea como objetivo esencial la ayuda a la corrección del desequilibrio económico a través de la corrección del desequi librio hidrográfico, y es aquí donde por primera vez surge la idea del trasvase de aguas procedentes de las cabeceras de los ríos Tajo y Guadiana al Sur-Este español.

Esta idea del trasvase al Sur-Este, suscitó desde su planteamiento, tanto en el Consejo de Obras Públicas como en la información pública, las más enconadas controversias procedentes, unas, del temor de ver expoliada la propia región en beneficio del Sureste, otras, quizás de rencillas personales y profesionales, y, otras, de la facilidad con que en es te país puede fomentarse la insolidaridad regional. Pienso, sin embargo, que algunas alternativas que a la idea del tras vase del Plan se formularon, como las consistentes en la derivación de aguas del tramo final del Ebro, son, asimismo fe cundas y habrán de ser tarde o temprano plenamente aceptadas, si llegamos a convencernos todos, ingenieros y políticos, de la necesidad de corregir, en cuanto esté en nuestras manos, el desequilibrio hidrográfico en el territorio. El Plan fue, como digo, sometido a información pública y a informe de Corporaciones y del Consejo de Obras Públicas, y encontró una fuer te oposición por parte de la Confederación del Duero y de los Servicios del Tajo (todavía no existía Confederación), opuestos a la merma de su potencial de utilización, si se tras vasa ban las aguas al Sureste. Sirvió, en cualquier caso, muy eficazmente, de catalizador de esfuerzos planificadores en todas las cuencas, especialmente en las mencionadas de Duero y Tajo, y en la del Guadalquivir. Ello permitió disponer de una infor

mación mucho más completa para el Plan de Obras Públicas de 1.940, que vuelve a ser en parte un catálogo de obras de actuación inmediata y de estudios a realizar a medio y largo plazo, pero que incorpora ya directrices y criterios económicos de planeamiento.

Aunque no fuera aprobado, por los avatares de la vida política española en el año 1.936, introdujo un principio de rigor en la planificación, que fue desgraciadamente olvidado durante algún tiempo, promovió y aportó valiosos estudios pluviométricos, hidrológicos, forestales, agronómicos y económicos, provocó reacciones de planificación hidráulica en Cuenca, en las que incluso los catálogos de posibles actuaciones eran muy incompletos y, especialmente, planteó una acción concreta para corrección del desequilibrio hidrográfico nacional. El Plan de Obras Públicas de 1.940, ya aludido, en su Capítulo de "Obras Hidráulicas", al referirse al Plan de 1.933, dice textualmente: "Sus trabajos fundamentales y básicos serán de gran utilidad y creemos que deben continuar y ponerse al día orientándolos convenientemente".

La acción concreta, aun cuando a nivel de estudio, más importante de las que propone el Plan, es, como decía, el trasvase al Sur-Este. Oigamos de boca de D. Clemente Saenz García, discípulo y colaborador de Lorenzo Pardo desde la Confederación Hidrográfica del Ebro, colaborador asimismo, en el Centro de Estudios Hidrográficos, cómo nace la idea del trasvase:

"Del estudio previo de recursos y necesidades hidráulicas españolas bien pronto se dedujo un hecho que es hoy de todos conocido: El desnivelamiento de unos y otros en las diver

sas cuencas y la clasificación de éstas en abundantes y deficitarias de agua: El conjunto general arrojaba afortunadamente un saldo positivo y venía a imponerse un principio de solidaridad nacional en materia distributiva de aquel donativo de la naturaleza. A mayor abundamiento, en el orden de la economía agrícola venían a coincidir las regiones más pobres sin disponibilidades pluviales y fluviales con las de máxima potencialidad de producción agrícola. Caía por su peso el referido postulado: La necesidad de los trasvases, ya sentida en época de Carlos III, cuando se pensaba derivar aguas del Castrol y Guardal hacia Almería.

Una invitación llevó el 24 de Octubre de 1.932 a Lorenzo Pardo por tierras de Cartagena y de Almanzona: Le acompañábamos. La población de Cuevas había descendido en unos meses de 30.000 habitantes a unos 13.000. La calamitosa coincidencia de una crisis minera con seis años de absoluta sequía, había obligado a emigrar a la mayoría de la población rumbo a Barcelona, con el Alcalde a la cabeza, y se nos mostraba un inmenso desierto de arenas que otrora había sido productivo naranjal.

Tres o cuatro días después del regreso a Madrid por carreteras alicantinas, en el interior del automóvil comentábamos lo que, con dolor, habíamos contemplado; "si fuera posible traer el Nilo a aquí", decía hiperbólicamente D. Manuel, "habría que transportarlo". El caso es que el Nilo quedaba bastante lejos y de los ríos más próximos, el Júcar y el Guadalquivir, estaban demasiado comprometidos y el Guadiana no contaba con una cabecera seria. Se comentó, como cosa curiosa, que los cursos altos del Tajo y del Júcar, a ambos lados de la Sierra de San Felipe, corrían paralelos entre sí a pocos

kilómetros de distancia, con pendientes opuestas y cruzadas, a modo de los floretes de esgrima en posición de guardia: Un hipotético túnel podía llevar las aguas del río Júcar al Tajo y también otro, las del río Tajo al Júcar.

Las cabeceras de los ríos no pueden aportar muchas disponibilidades hidráulicas, pero más abajo un Tajo regulado ..

Así nació la idea del "trasvase".

El Plan General de Obras Públicas del año 1.940 dilata pronunciamientos definitivos sobre el trasvase del Tajo o el trasvase del Ebro, en tanto que nuevos estudios completos de caudales y de necesidades en las cuencas propias permitan asegurar la viabilidad de aquéllos, en cuanto a disponibilidades de agua como condición previa a su análisis económico y político. Resulta, sin imbargo interesante, recoger, por su concordancia con el planteamiento de Lorenzo Pardo de la corrección de los desequilibrios hidrográficos a nivel nacional, la siguiente afirmación: "La idea de trasvase de aguas de una cuenca a otras lleva consigo una serie de intereses encontrados que los hacen verdaderamente complicados y como los ingenieros de los Servicios Hidráulicos es muy difícil que puedan sustraerse a la influencia del ambiente local, sería prudente que estos estudios se llevasen directamente desde la Dirección General de Obras Hidráulicas, con la colaboración necesaria que deben prestar los Servicios Provinciales".

En febrero de 1.936 se suprimió por Decreto el Centro de Estudios Hidrográficos, realización de la que, a mi modo de ver, podía estar ciertamente orgullosa la República y muy especialmente sus propulsores: Indalecio Prieto y Manuel Lorenzo Pardo.

Así como Lorenzo Pardo tuvo la gran satisfacción de ver realizada su obra hidráulica predilecta anterior a su mandato como Director del Ebro, me refiero al Pantano del Ebro, inaugurado en el año 1.945, y cuya puesta en explotación terminó con las últimas críticas de sus pertinaces detractores, no tuvo en cambio la de conocer la reanudación de los estudios básicos sobre el trasvase que condujeron finalmente al desarrollo de los proyectos y a la construcción de las obras correspondientes a la primera fase, hoy ya en explotación, que ha podido jugar un importante papel en aliviar, en el Sur-Este, el azote de la sequía que venimos padeciendo desde hace tres años.

No le fue dado tampoco a Lorenzo Pardo presenciar la creación del Centro de Estudios Hidrográficos, promotor y responsable de la reanudación de los estudios de trasvase, en la que me fue dado tener un particular protagonismo.

Siendo Florentino Briones Director General de Obras Hidráulicas, creó la Sección de Planificación Hidráulica, que me confió, y a poco, la misión de organizar un Grupo dedicado, fundamentalmente, a poner al día, modificar y ampliar la planificación hidráulica existente. Tuve la satisfacción de que se aceptara mi propuesta de estructura y de que este nuevo Centro se denominase Centro de Estudios Hidrográficos y que figurase no como algo enteramente nuevo, sino como restablecimiento o continuación del anterior. Así apareció en el Boletín Oficial del Estado el 7 de julio de 1.960. Dice mucho en honor de Briones y del Ministro Vigón, que no objetarán a mi empeño en reverdecer el Centro con el mismo nombre con que había sido creado "durante la República".

Pues bien, gracias a este Centro de Estudios Hidrográficos, continuador del que en su día creó Lorenzo Pardo, pudieron ultimarse los estudios de viabilidad técnica y económica necesarios para poner en marcha esa gran obra que es el trasvase Tajo-Segura, piedra permanente de escándalo para ignorantes o insolidarios.

Sobre esta empresa nacional de corrección del desequilibrio hidrográfico nacional y de su primera solución por el trasvase del Tajo, dijo Indalecio Prieto en 26 de febrero de 1.933, en Alicante: "Esta no es obra a realizar en el periodo brevísimo de días ni de meses; es obra de años, para la cual se necesita la asistencia de quienes hoy gobiernan, de quienes estén en la oposición, de quienes sirven al régimen republicano y, oídlo bien, de quienes estén en contra de él; porque quienes por patrocinar el régimen republicano a una empresa de esta naturaleza denegaran su asistencia y su auxilio, serían, no enemigos del régimen, sino unos miserables traidores a España".

Con muchos menos datos de los que se dispone actualmente, ya en el Plan de Obras Hidráulicas preparado por el Centro de Estudios Hidrográficos de Lorenzo Pardo en el año 1.933, era claramente manifiesto el desequilibrio hidrográfico peninsular.

Los estudios actuales del Centro de Estudios Hidrográficos, son naturalmente más completos y más precisos, pero, como era de esperar, resultan plenamente coincidentes en cuanto al análisis cualitativo del desequilibrio hidrográfico y muy comparables, en órdenes de magnitud, en cuanto al análisis cuantitativo se refiere.

Junto al trasvase Tajo-Segura, aparecen como actuaciones claves en la corrección del desequilibrio hidrográfico peninsular, el trasvase hacia el Sur, ya propuesto por Félix de los Ríos en su informe al Plan de 1.933, con el doble esquema de Ebro-Mijares para 600.000.000 m<sup>3</sup>/año y Ebro, Sichar, Tous, para 1.200.000.000 m<sup>3</sup>/año, el primero de los cuales se encuentra iniciado en una tímida primera fase en la actualidad, y el trasvase Ebro-Pirineo Oriental, hacia Cataluña, que con la inyección de 1.400.000.000 m<sup>3</sup>/año de agua, habría de asegurar la continuada expansión de una de las regiones más prósperas del país. La realización de estos trasvases habría de suponer en el futuro, cuando llegasen a su plena maduración, la detracción de excedentes del Ebro por un total de 3.200.000.000 m<sup>3</sup>/año. Pues bien, según el Balance estricto de la situación actual, los excedentes regulados del Ebro ascienden en el momento presente a 5.534.000.000 m<sup>3</sup>. y según el Balance estricto de la situación futura que contempla el desarrollo de la totalidad de los usos potenciales para abastecimientos y riegos y naturalmente de la ejecución de todas las obras previstas para aumentar la capacidad de regulación dentro de la cuenca, el excedente será de 6.211.000.000 m<sup>3</sup>/anual. En ambos casos, los excedentes regulados en el Ebro superan ampliamente los caudales precisos para atender a los trasvases.

El trasvase Tajo-Segura es hoy ya una realidad, al menos en su primera fase, de trasvase autorizado por Ley de hasta 600.000.000 m<sup>3</sup>/año de agua.

Obligado parece mencionar brevemente sus características técnicas fundamentales:

Las aguas excedentes de la cabecera del Tajo, reguladas en el embalse interanual de Entrepeñas-Buendía, son bombeadas desde el embalse de Bolarque al pequeño embalse de La Bujeda, de  $7 \text{ Hm}^3$ . de capacidad. La Central de Bolarque es reversible, con un caudal de bombeo de  $66 \text{ m}^3/\text{sg.}$  y de turbinación de  $99 \text{ m}^3/\text{sg.}$  lo que permite generar energía de punta. Su potencia es de 203.000 Kw. y el desnivel de 267 m.

Desde La Bujeda, un canal abierto de  $33 \text{ m}^3/\text{sg.}$  de capacidad, lleva las aguas a la cola del Embalse de Alarcón y desde la salida de éste, otro canal de la misma capacidad, las deja en la boca Norte del túnel de Talave, de 32 Km., que atraviesa la Sierra de Hellín, con sección de 4.2 m. de diámetro, y vierte, finalmente, las aguas trasvasadas, en el Embalse de Talave, en el río Mundo afluente del Segura.

La longitud total de las obras del Acueducto Tajo-Segura es de 242 Km., de los que 58 Km. en túnel y 11 en acueducto, y el recorrido total del agua de 292 Km., incluidos 50 Km. a través del Embalse de Alarcón.

Ha sido la evocación de Lorenzo Pardo y de los que hemos pensado podían considerarse aspecto más destacado de su personalidad como ingeniero hidráulico, la que nos ha llevado de la mano hasta la actual situación de los estudios y trabajos correspondientes a la corrección del desequilibrio hidrográfico, por considerar que constituyen concepciones y realizaciones señeras de la ingeniería hidráulica española en el presente siglo. Pero ello no debe hacernos olvidar cuál ha sido el titánico esfuerzo generalizado de la ingeniería española en el aprovechamiento sectorial de los recursos hidráulicos del país.

Como ya hemos dicho repetidamente, las características de extraordinaria irregularidad anual e interanual de las precipitaciones lluviosas y consiguientemente de la escorrentía de nuestros ríos, obliga a la construcción de obras de regulación que originalmente sirvieron tan sólo al ya importante objetivo de regulación anual, y que más tarde se dimensionaron, cuando resultaba posible y económicamente recomendable, para regulación interanual. Son los hiperembalses.

Consideren Vds. (cuadros 1º y 2º) la evolución de la capacidad de embalse en nuestro país desde el año 1.900, en que se cifraba en 129 millones de metros cúbicos hasta el año 1.983, en que prácticamente se han alcanzado 43.000.000.000 metros cúbicos de capacidad de embalse. Si se compara este volumen de regulación disponible con la escorrentía total de nuestros ríos, que según las últimas estimaciones del Centro de Estudios Hidrográficos es de 106.000.000.000. m<sup>3</sup>. de aguas superficiales en año medio, supone una capacidad de embalse equivalente al 47% de la escorrentía anual media, coeficiente realmente elevado que, desde luego, no tiene parangón de ninguno de los países europeos.

Esto significa para la población actual española que el volumen de embalse por español es superior a los 1.100 m<sup>3</sup>., es decir, el depósito equivalente a una piscina de 30 m. de largo por 25 de ancho y 2,5 m. de profundidad.

Para conseguir este objetivo, es decir, para crear esta capacidad de embalse, ha sido necesario construir muchas presas en todos aquellos puntos en que las condiciones geológicas de la cerrada y las condiciones hidrológicas de las cuencas situadas aguas arriba lo permitían. En los cuadros 3º y

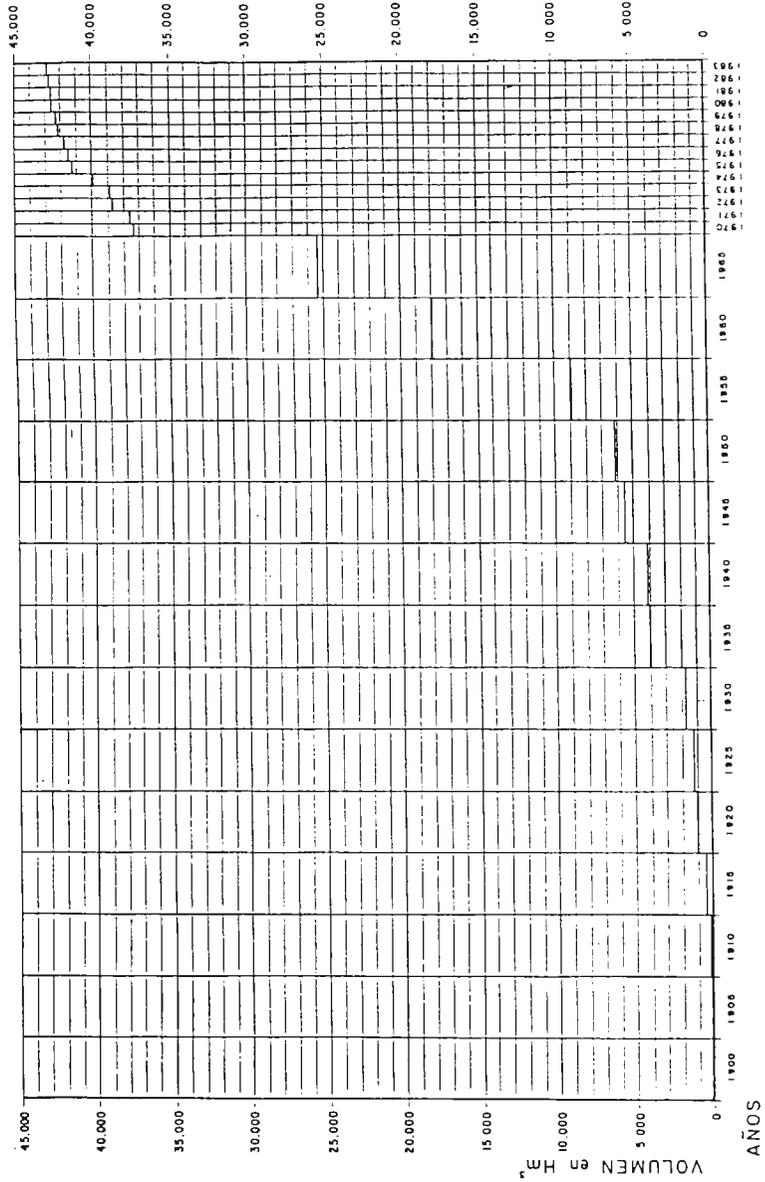
CUADRO 1º  
EVOLUCION DE LA CAPACIDAD DE EMBALSE

AÑOS	VOLUMEN Hm <sup>3</sup>
1.900	128,9
1.905	129,5
1.910	168,3
1.915	429,4
1.920	1.049,3
1.925	1.243,5
1.930	1.758,4
1.935	4.007,4
1.940	4.133,2
1.945	5.595,9
1.950	6.144,3
1.955	8.925,1
1.960	17.993,8
1.965	25.338,8
1.970	37.320,3
1.971	37.660,2
1.972	38.720,4
1.973	38.921,3
1.974	39.974,2
1.975	41.261,5
1.976	41.519,0
1.977	41.783,9
1.978	42.117,0
1.979	42.296,2
1.980	42.564,8
1.981	42.622,1
1.982	42.788,6
1.983	42.891,2

28-Octubre-1.983

EVOLUCION DE LA CAPACIDAD DE EMBALSE

CUADRO 2a



4º), pueden Vds. seguir la evolución del número de grandes presas, tal como se recoge en el Inventario Español de Grandes Presas, preparado en el año 1.973 y actualizado por la Dirección General de Obras Hidráulicas, que verá la luz en próxima publicación. Si bien debe observarse que, naturalmente, en el momento actual, figuran en el Inventario tan sólo aquellas presas que han arrostrado el paso de los siglos y que, en consecuencia podemos afirmar, prácticamente con certeza, que en el intervalo de tiempo hasta el Siglo XVIII el número de grandes presas fue superior al de las que actualmente figuran en el Inventario, me permito llamar su atención sobre el hecho de que en el año 1.900 el número de grandes presas, según nuestro Inventario, era de 57, mientras que en año 1.983, este número ha alcanzado la notable cifra de 900. En el Registro Mundial de Grandes Presas, España ocupa el quinto lugar, por el número de presas actualmente en explotación, detrás tan sólo de China, Estados Unidos, Rusia y Japón. Pues bien, este esfuerzo de construcción de presas y de regulación se ha realizado, más de un 90%, en lo que va de siglo.

El planteamiento inicial de la política hidráulica de Costa, se basa en la expansión y consolidación de los regadíos existentes por medio de obras realizadas por el Estado y con financiación total parcialmente estatal.

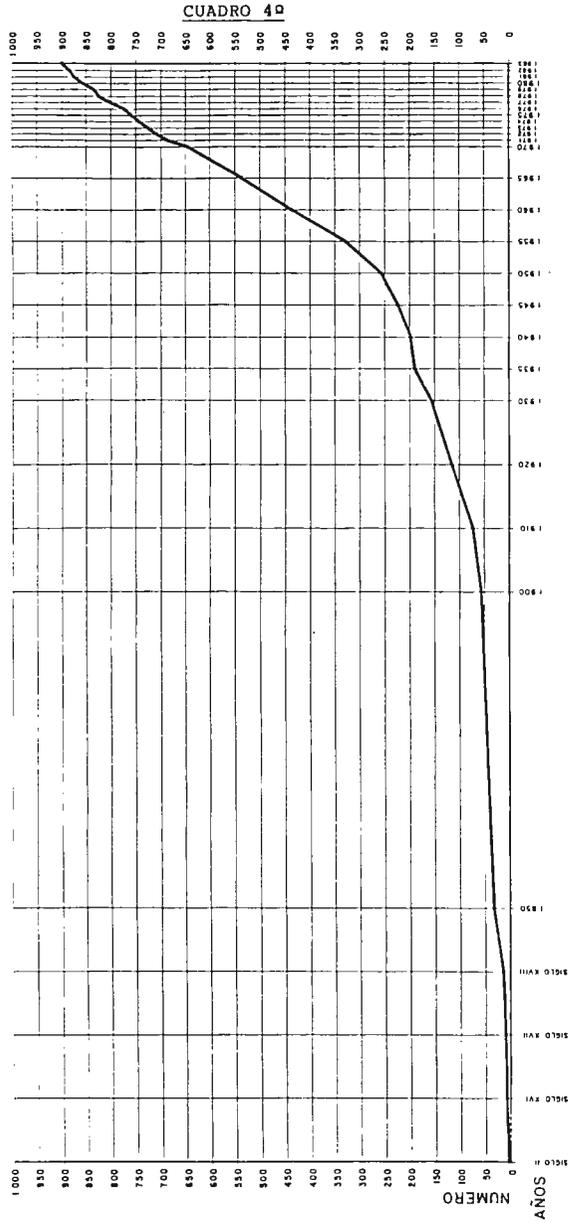
La buena acogida y creciente eco que obtuvo este planteamiento llevó no solo a una aceleración progresiva de la realización de aquellas obras incluidas en el Plan de Pantanos y Canales del año 1.902 y más directamente reclamadas o apetecidas por las zonas potencialmente regables, o por las efectivamente regantes pero con riegos aleatorios o insuficientes, sino que además comenzaron a ponerse en marcha los Planes ela

CUADRO 3º  
 NUMERO DE GRANDES PRESAS  
 (Según Inventario)

<u>HASTA</u>	<u>NUMERO</u>
Siglo II	2
Siglo XVI	8
Siglo XVII	10
Siglo XVIII	14
1.850	33
1.900	57
1.910	73
1.920	116
1.930	156
1.935	189
1.940	199
1.945	223
1.950	257
1.955	329
1.960	436
1.965	536
1.970	644
1.971	685
1.972	708
1.973	726
1.974	743
1.975	758
1.976	772
1.977	800
1.978	824
1.979	834
1.980	856
1.981	873
1.982	884
1.983	900

28-October-1.983

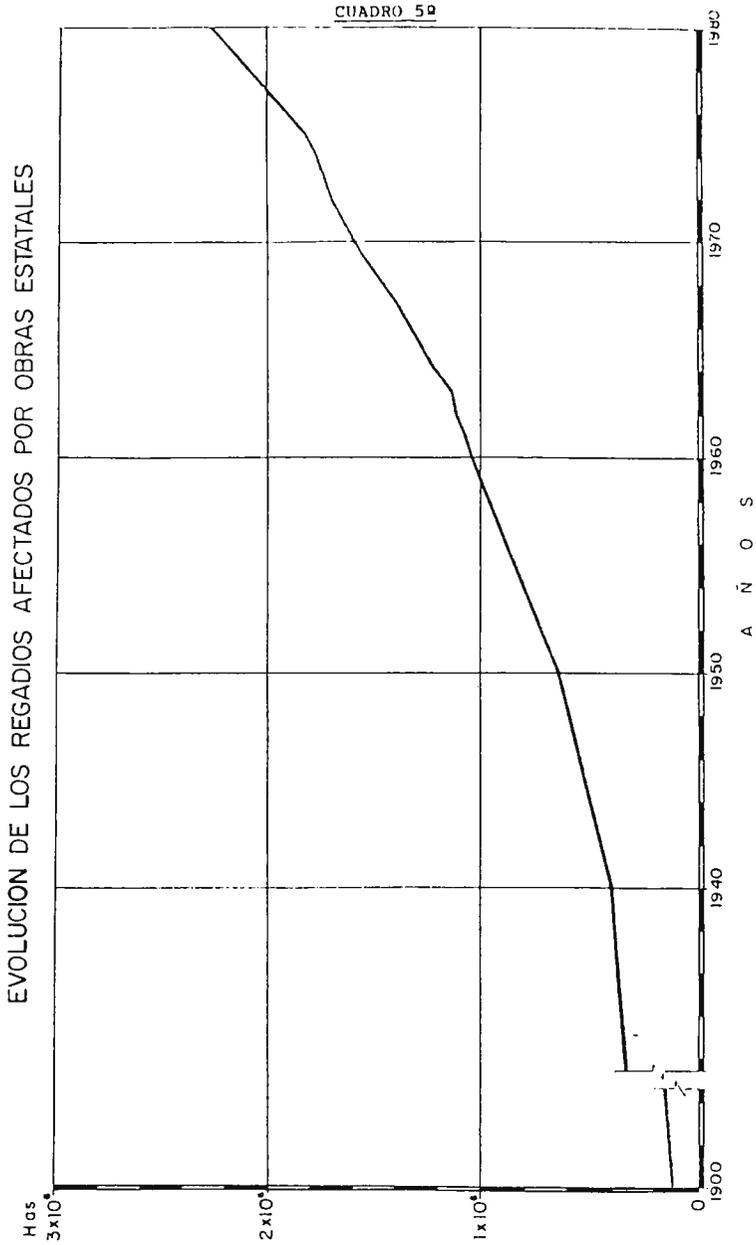
NUMERO DE GRANDES PRESAS  
( Según Inventario )



borados por las Confederaciones Hidrográficas para expansión de los regadíos en las distintas regiones, al principio con lentitud impuesta por la escasez de consignaciones económicas y de interés real en las zonas afectadas por las futuras obras, y cada vez con más velocidad a medida que los recursos económicos asignados fueron siendo mayores y mayor, asimismo, la información, el deseo y las presiones de los futuros usuarios.

Los regadíos establecidos o mejorados por obras del Estado pasan a ser de unas 130.000 Ha. en 1.902 a 450.000 Ha. en 1.942 y a 2.150.000 Ha. en 1.983. (Cuadro 5°).

Especialmente desde 1.950 se refleja un esfuerzo por parte de la Administración Pública por aumentar en proporción muy importante la superficie agrícola cultivada en regadío mediante obras del Estado. Pienso que el esfuerzo ha sido extraordinario y que el balance será a la larga beneficioso para el país. Creo, no obstante, que se hizo mucha demagogia con la política de asentamientos, con indudable buena voluntad, no hay que olvidar que ya Costa y Lorenzo Pardo se manifestaron partidarios del regadío como mecanismo natural de redistribución de la tierra, pero, a mi juicio, con poca visión de lo que había de ser el futuro inmediato de la economía agrícola de Europa y de la inevitable integración de España en la Comunidad Europea. Nuestras grandes transformaciones en regadío podían haber permitido, en mi opinión, la creación de explotaciones agrícolas de dimensiones suficientes para que su rentabilidad como consecuencia de las condiciones naturales de nuestro clima, hubiera sido competitiva, no ya con la agricultura de los países del Mercado Común, sino, incluso, en defecto de éste, en mercados más alejados. La situación actual precaria de algunas zonas regables recién transformadas, no es consecuencia de un defectuoso planteamiento original y sí de



de una demagógica estructura impuesta en su desarrollo.

En cualquier caso, la ingeniería hidráulica española respondió al mandato y ahí están los grandes canales de Bardenas, Monegros y Cinca, para recordar una vez más a Aragón y a Lorenzo Pardo; el gran sistema de regulación en la cabecera del Guadiana con los Embalses de Cijara, García de Sola, Orellana y los canales que han permitido dominar en el Plan Badajoz una superficie superior a 100.000 Ha. regables, el Canal Júcar-Turía, los Canales de Postravase en Murcia, los Canales del Guadalhorce, los del Bajo Guadalquivir, los del Alberche, del Alagón, los de Porma y del Orbigo y tanto otros que han permitido llegar a la cifra de 2.150.000 Ha. de regadíos con aguas superficiales afectadas por obras del Estado. Las grandes obras hidráulicas de regulación y conducción en las zonas regables hubieron de ser complementadas por las obras secundarias de distribución, desagües y caminos, con la activa colaboración del entonces Instituto Nacional de Colonización en los Planes coordinados.

Cuando me he referido antes a la bandera de la política hidráulica izada por Costa, recogida e impulsada por Lorenzo Pardo, he mencionado tan sólo el que, para Costa, era quizás único objetivo inmediato de esta política hidráulica: La mejora y transformación de nuestros campos y, consiguientemente, de nuestra economía agrícola a través del regadío. Lorenzo Pardo, años después, había comprendido ya, ante la revolución tecnológica que implicaba el desarrollo energético, la conveniencia o necesidad de comprender dentro de la política hidráulica, la generación de energía eléctrica con recursos autónomos, en un país lamentablemente escaso de recursos energéticos como el nuestro. Este aspecto, capital de la economía hidráulica, comenzó enseguida a cobrar importancia cre-

ciente en el desarrollo económico del país. He mencionado antes al ilustre Ingeniero de Caminos Rafael Benjumea, Conde de Guadalhorce, por realizar el aprovechamiento hidroeléctrico del "Chorro". Como Director del Canal de Isabel II, que soy, y Consejero-Delegado de Hidráulica Santillana, quiero citar asimismo entre los aprovechamientos pioneros de energía hidroeléctrica, la concesión otorgada a esta Sociedad, creada por el Duque del Infantado en el año 1.905 para el abastecimiento de aguas, dentro de la Capital de España, a la que abastecía ya el Canal desde el año 1.858, y para generación de energía eléctrica, con un aprovechamiento de 3.600 HP., que resultó ser en aquella época el más importante de toda la provincia. Hidráulica Santillana fue absorbida en 1.967 por el Canal, lo que hizo posible el recrecimiento de la presa de Manzanares el Real.

Se lamentaba con frecuencia Manuel Lorenzo Pardo, cuando, como Director de la Confederación del Ebro se encontraba "en familia" entre sus aragoneses, de que por negligencia o indiferencia aragonesa, el aprovechamiento energético de la cuenca del Ebro que él consideraba, con evidente sobrevaloración, la más importante de España, se estuviese produciendo, en beneficio de otras regiones, por compañías que generaban los Kw/hora de electricidad y los enviaban hacia el país Vasco o hacia Cataluña. Es una pequeña incongruencia, perdonable por su aragonesismo de adopción, y anterior a la madurez que le llevó a enunciar la necesidad de corregir el desequilibrio hidrográfico peninsular. En cierto modo la corrección del desequilibrio hidrográfico había comenzado a producirse, quizás antes de que se hubiera llegado a plantear como tal, a través de los aprovechamientos energéticos que, gracias a las grandes líneas de transporte, permitían utilizar en re-

giones de España menos dotadas de energía, la energía de origen hidráulico de otras zonas más aventajadas. En cualquier caso, el desarrollo sistemático de los recursos hidroeléctricos y la construcción de los aprovechamientos comenzó, muchas veces, por aquellos más sencillos de interés local, al tiempo que se acopiaban datos, experiencia o impulsos para acometer otros de mayor alcance. Los primeros grandes aprovechamientos hidroeléctricos con regulación interanual como el de Ricobayo, en el Esla, tropezaron con las dificultades derivadas del escepticismo de muchos sobre la evolución de la demanda de energía, y sólo salieron adelante gracias al empuje de hombres con visión de futuro.

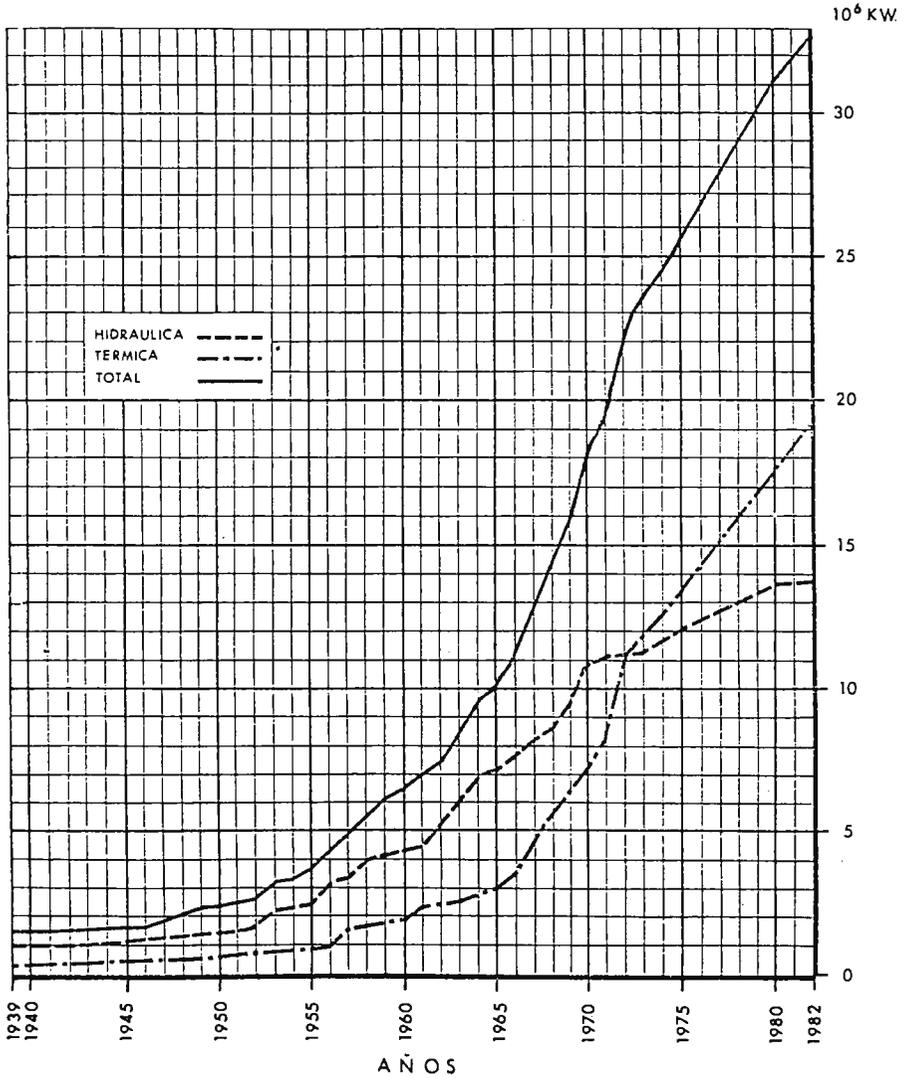
Se llega así al año 1.936 a una potencia instalada de unos 1.000 MW y una producción de energía hidroeléctrica, que suponía prácticamente la totalidad de la producción (92%), de 3.500 millones de Kw/hora.

En los cuadros 6° y 7° pueden Vds. seguir el crecimiento de la potencia instalada de los aprovechamientos hidroeléctricos y de la generación de energía hidroeléctrica.

A partir de 1.940 la energía hidroeléctrica tuvo un papel absolutamente decisivo en la supervivencia primero y en el relanzamiento económico del país después, y si bien, gracias al desarrollo económico experimentado, la energía hidroeléctrica participa cada vez en menor proporción respecto de la producción total al alcanzarse, paulatinamente, un grado cada vez más elevado de utilización de los recursos disponibles, sigue teniendo una extraordinaria importancia, desde el punto de vista económico, por ser quizás la fuente más importante de energía autónoma de que disponemos y, desde el punto de

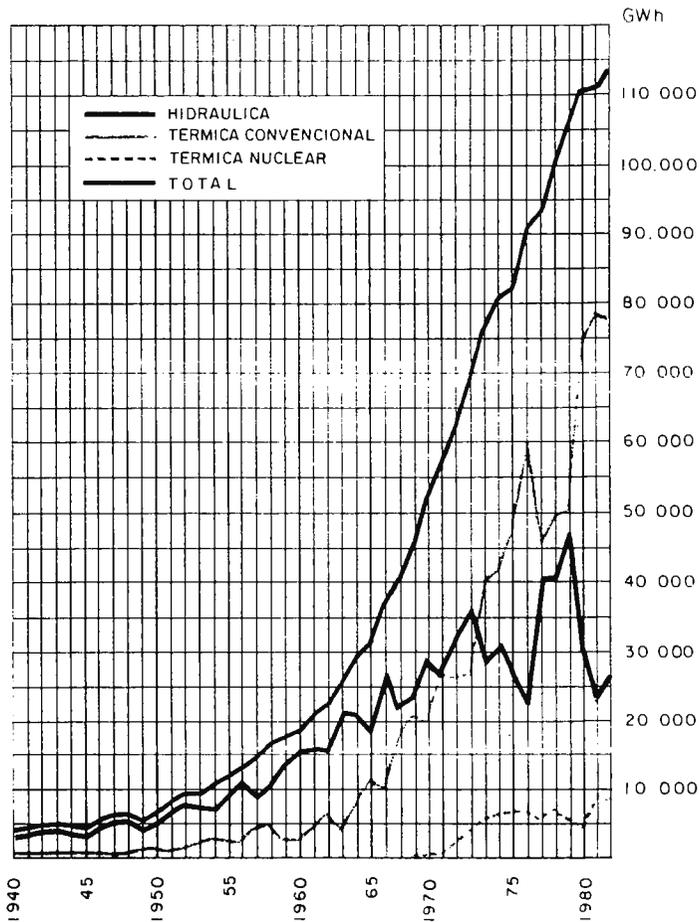
CUADRO 69

EVOLUCION DE LA POTENCIA INSTALADA EN KW (1939 - 1982)  
HIDRAULICA, TERMICA Y TOTAL



CUADRO 7º

Evolución de la producción de energía eléctrica, hidráulica, térmica y total, durante el periodo 1940-1982



vista técnico, por constituir, además, un factor relevante en la estabilidad del sistema eléctrico.

La potencia hidroeléctrica instalada pasa a ser de 12.000 MW. en 1.975 y es de 13.469 MW. a principios de 1.983. La producción hidráulica llegó a 27.000.000.000 Kw/hora. en el año 1.982 frente a una producción total en ese año de 113.000.000.000 Kw/hora.

Aun cuando se estima por el Centro de Estudios Hidrográficos que el potencial hidroeléctrico desarrollado es en la actualidad del orden del 23% del potencial bruto y del 50% del potencial desarrollado, es decir, técnica y económicamente explotable, debe tenerse en cuenta que los aprovechamientos más importantes desde el punto de vista de incremento de la producción, están prácticamente construidos en su totalidad, por lo que habría de provocarse una fuerte incentivación del desarrollo de los pequeños aprovechamiento hidroeléctricos por parte del sector público, si se quiere avanzar algo hacia el umbral de la potencia técnicamente desarrollable. Por otra parte, se está produciendo ya desde hace varios años un claro desplazamiento de la energía hidroeléctrica hacia la punta de la curva de carga y, consiguientemente, el sobreequipamiento de aprovechamientos existentes para atender a este papel de generación de potencia punta.

En el momento actual se hace por todas las empresas eléctricas un gran esfuerzo por tratar de apurar al máximo las posibilidades hidroeléctricas aún existentes, no solamente en generación de Kw/hora adicionales, sino de incremento de potencia hidroeléctrica instalada para la mejor y más flexible atención de las puntas del consumo. Se desarrollan ingeniosos

sistemas que permiten la acumulación por bombeo en embalses de regulación anual e interanual de excedentes hidráulicos, de otro modo no aprovechables, utilizando para ello energía no incorporable directamente a la red y procedente o de centrales hidráulicas fluyentes o de generación térmica sobrante en horas valle, o de mercados exteriores al sistema que ceden energía barata. En otros casos el bombeo de agua a pequeños embalses de regulación diaria o semanal, permite ampliar la potencia destinada a cubrir las puntas de consumo.

Aun cuando este esfuerzo se ha desarrollado por todo el territorio nacional en la medida de las disponibilidades existentes y pienso que en su conjunto debe ser mencionado como una de las realizaciones de la ingeniería hidráulica española contemporánea, considero ilustrativo citar de un modo explícito los aprovechamientos del Esla, Tormes, del tramo final del Duero español, incluido medio tramo internacional y la notable realización del aprovechamiento del Tajo, incluido el tramo hispano-portugués, cedido a España según acuerdo entre los dos países, en 1.968.

Son piezas clave del Sistema Duero, el embalse del Esla, de  $1.048 \text{ Hm}^3$  de capacidad, con un Salto de 133.000 Kw; el embalse de Almendra, en el Tormes, de  $2.400 \text{ Hm}^3$  de capacidad, con presa de 202 m. de altura y Salto, llamado de Villarino, de 810.000 Kw., y la presa de Aldeadávila, cuya central de 718.000 Kw. se amplía en el momento actual hasta 1.118.000 Kw. y las presas de Villalcampo y Castro, cuyos saltos suman 396.000 Kw. La Central de Villarino, de turbinas reversibles, tiene una potencia de bombeo de 729.000 Kw. En conjunto este sistema del Duero inferior supone una potencia de generación de 2.373.600 Kw. y una producción en año medio de

8.603.000.000 Kw/hora.

En el Tajo medio e inferior la presa de Valdecañas, con 1.446 Hm<sup>3</sup>. de volumen de embalse y 225.000 Kw., la de Alcántara con 3.137 Hm<sup>3</sup>. de capacidad, la mayor de España y 600.000 Kw. y los Saltos de Torrejón, Azután y Cedillo con 750.000 Kw. aseguran una producción de energía en año medio de 4.400.000.000 Kw/hora. Las centrales reversibles de Torrejón y Valdecañas disponen de una potencia de bombeo de 280.000 Kw.

Durante siglos, las necesidades de agua para abastecimiento de las poblaciones del territorio pudieron ser atendidas por manantiales propios de aquellos abastecimientos o por los caudales fluyentes de los ríos que, incluso en estiaje, aseguraban dotaciones de agua que no eran demasiado elevadas al ser nula o elemental su industrialización y relativamente modesto el nivel de vida; en otros casos las captaciones de acuíferos subterráneos o subálveos, mediante pozos y galerías, suministraron los caudales suficientes.

Estas poblaciones españolas hicieron por lo regular frente al incremento de sus necesidades de abastecimientos de agua sin más que realizar pequeñas ampliaciones de sus captaciones tradicionales.

Fue quizás Madrid la primera ciudad de España que comprendió la necesidad de buscar las aguas para su abastecimiento a gran distancia mediante la creación de las obras de regulación correspondientes, obligada por el hecho de que, siendo la Capital de España, tenía, a mediados del Siglo XIX, dotación unitaria inferior a 12 lit/habitante y día. Probablemente ello fue lo que decidió y justificó una actuación man-

comunada, en principio con el Ayuntamiento de Madrid y después fundamentalmente a cuenta del Estado, que originó el Canal de Isabel II y el moderno abastecimiento de aguas a Madrid. Desde la llegada del agua de Lozoya y la entrada en servicio de la presa del Villar en 1.879, ha sido necesario construir en este siglo 8 grandes embalses más, con lo que la capacidad to tal se ha elevado a 897 Hm<sup>3</sup>., 350 Km. de grandes canales, 13 grandes depósitos urbanos, 6 estaciones de tratamiento, capaces para 39,8 m<sup>3</sup>/s., y se ha ampliado la red de distribución a 4.150 Km., por no mencionar sino las más destacadas realiza ciones de ingeniería hidráulica, a las que debe añadirse la elevación del Alberche, de 316 m., y las captaciones de aguas subterráneas. Este esfuerzo por garantizar el abastecimiento de agua de Madrid, fue frívolamente criticado no hace muchos años por algunos eruditos a la violeta, en hidrología sólo, espero, que estimaban que "nos habíamos pasado", como vulgarmente se dice, en crear embalses para Madrid. Espero que la lección de estos tres años de sequía, que hemos podido superar hasta el momento gracias al agua almacenada en nuestros hiperembalses, habrán terminado de convencer a los más escepticos que es absolutamente obligado llegar al aprovechamiento total de los recursos de agua superficiales y subterráneas en el ámbito de la Comunidad de Madrid. Aún conservamos 210 Hm<sup>3</sup>. y con ellos la esperanza de superar definitivamente la sequía.

En Barcelona las captaciones de agua mediante pozos en el subálveo de los ríos Besós y Llobregat, permitieron atender a las necesidades de su pujante desarrollo durante la pri mera mitad del siglo, hasta que, hace unos años, agotadas las posibilidades de sus acuíferos, hubo de acudir a la regulación del río Ter, mediante las presas de Sau y Susqueda y finalmente a la del río Llobregat, con la presa de La Baells.

Especialmente a partir de la Guerra española y al reanudarse el desarrollo económico del país, comienza a echarse en falta la existencia de recursos de agua en cantidades suficientes para el desarrollo urbano, por lo que las grandes ciudades españolas, normalmente con ayuda del Estado, acometen planes ambiciosos de ampliación y mejora de los servicios de agua, casi todos apoyados en la regulación y captación de recursos superficiales. Así el abastecimiento de la zona gaditana, con los Embalses de Guadalquivir y de Los Hornos; el abastecimiento de Sevilla, con aguas de los embalses de Aracena, la Minilla y, recientemente, del Gergal, la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, para abastecer Murcia y Alicante y más de 60 municipios en la zona, el abastecimiento de Santander, el de Málaga, el de Pamplona, los abastecimientos de la zona central de Asturias, la ampliación del abastecimiento de Barcelona y su área con aguas procedentes del Ter y del Llobregat, ya mencionado, y las constantes ampliaciones del abastecimiento de aguas a Madrid, entre muchos otros. Todas estas obras constituyen una faceta más de las realizaciones de la ingeniería hidráulica española contemporánea y, gracias a ellas, ha podido atenderse en gran medida la demanda actual de agua para abastecimiento de poblaciones y habrá de atenderse la futura.

Me parece necesario mencionar, aun cuando sea tan sólo de pasada, las obras de saneamiento de poblaciones, que aun cuando no presentan habitualmente la cara espectacular de otras obras hidráulicas, no quedan atrás en cuanto al esfuerzo ingenieril de concepción y realización que suponen, ni en cuanto a su importancia social. Hasta muy recientemente no se ha dejado sentir con carácter de generalidad la necesidad de tratar las aguas residuales urbanas, que se vertían sin

más a los cauces o al mar. Hoy afortunadamente todas las grandes poblaciones españolas tienen en explotación o construcción sus plantas residuales o sus emisarios con pretratamiento y aun cuando aún queda mucho camino por recorrer, el esfuerzo realizado es ya muy grande. Mencionaré tan sólo como ejemplo el Plan de Saneamiento Integral de Madrid, en avanzado estado de ejecución, que va a permitir que en el año 1.986 la totalidad de las aguas residuales de Madrid se viertan al Manzanares y al Jarama correctamente tratadas.

Quiero referirme finalmente a las obras de defensa y encauzamiento de nuestros ríos. Se trata en general de obras locales de poco lucimiento pero de gran eficacia cuando están bien concebidas y proyectadas. En ríos de gran irregularidad como los nuestros, asegurar una protección total contra las avenidas extraordinarias es, en muchos casos, punto menos que imposible, e, incluso, la protección, con una garantía elevada pero inferior al 100%, desborda las posibilidades económicas del país. Por ello, aparte de las defensas locales de fincas y terrenos de labor, casi siempre limitadas a la protección contra avenidas ordinarias, las grandes obras fluviales de protección son encauzamientos urbanos que se abordan habitualmente después de acaecer alguna catástrofe. Tal es el caso de la llamada "Solución Sur de Valencia", el Encauzamiento del Besós, de la Corta de la Cartuja, en Sevilla, del Canal Sevilla-Bonanza y del Encauzamiento del Llobregat.

No sé si estas pinceladas, forzosamente rápidas, sobre la ingeniería hidráulica española de nuestro siglo, habrán sido suficientemente expresivas como para hacerles comprender la importancia que ha tenido dentro del esfuerzo colectivo de creación de la España Moderna. Han sido muchos y muy buenos

profesionales los que han hecho posibles las realizaciones que les he mostrado y las que habrán de ser realidad en un futuro inmediato si hemos de recuperar el impulso de nuestro desarrollo. A todos ellos quiero rendir públicamente, en la evocación de Manuel Lorenzo Pardo, el testimonio de mi admiración y respeto.

"LAS TECNOLOGIAS DEL FUTURO: LEONARDO TORRES QUEVEDO"

por Gregorio Millán Barbany

En 1813 Beethoven compuso una obra de circunstancias que guarda alguna relación con nosotros. Se trata de la breve sinfonía en dos movimientos llamada "La Batalla de Vitoria" o "La Victoria de Wellington", que Beethoven dedicó al Príncipe Regente de Inglaterra, futuro Jorge IV, y que compuso para celebrar el final de la era Napoleónica.

Esta obra un tanto pueril, que muy poco después calificó su autor de "estupidez" y en la que se mezclan los temas de la canción popular "Mambrú se va a la guerra" y del himno inglés, con efectos de artillería, se estrenó, nada menos que junto a la Séptima Sinfonía, en un concierto patriótico organizado en la Universidad de Viena, en diciembre de ese mismo año y fue acogida por el público y la crítica con entusiasmo delirante proporcionando a Beethoven un plus transitorio de innecesaria popularidad, cuando ya estaba definitivamente consagrado por más dignos merecimientos.

Aquí nos interesa el caso porque la obra fue compuesta por encargo de un famoso inventor amigo de Beethoven: Juan N. Maelzel, para ser interpretada por una numerosa orquesta de autómatas, el llamado "Panarmonicon", en la que una colocación de músicos mecánicos tocaban flautas, clarinetes, trompetas, violines, violonchelos e instrumentos de percusión con gran habilidad.

Maelzel, inventor también entre otras cosas del "metrónomo" que sigue usándose en nuestros días; de la trompetilla que tan útil resultó al propio Beethoven y reinventor del

jugador mecánico de ajedrez que inspiró uno de los famosos cuentos de Allan Poe, es un genuino representante de los muchos que a lo largo de la Historia han tratado de construir ingenios capaces de imitar el comportamiento de los seres vivos, desde la paloma mecánica del famoso filósofo pitagórico Arquitas de Tarento, amigo de Platón, hace más de 23 siglos, hasta los fantásticos "robots androides" de los relatos de ciencia-ficción de nuestros días.

Durante siglos, el propósito de la construcción de tales "autómatas", denominación que corresponde a estos ingenios, fue de naturaleza artística o para diversión o simplemente para impresionar, pero el desarrollo del maquinismo y de otras actividades recientes ha motivado fines utilitarios, los cuales ya fueron anticipados hace más de dos mil años por Aristóteles, quien en su tratado sobre la Política, adelantaba la siguiente premonición:

"Si cada instrumento pudiese realizar su propia tarea, obedeciendo o anticipándose al deseo de otros; si la lanzadera pudiera tejer y la púa pulsar la lira, sin una mano que las guiase, los señores no necesitarían sirvientes ni los amos, esclavos".

La expresión más reciente de esa milenaria aspiración y al mismo tiempo una de las más genuinas manifestaciones de las nuevas tecnologías de futuro es la "Robótica", denominación que toma su nombre de la palabra checa "robota": trabajo servil y cuyo uso internacional empezó a generalizarse a partir de la década de los años 20, con ocasión del estreno de la comedia de utopía negra "R.U.R." cuyos personajes son robots, del escritor y filósofo de aquel país Karel Copek.

Por definición, un "autómata" es un mecanismo que repite siempre y de la misma manera, sin participación del hombre, la secuencia de operaciones para la que ha sido diseñado, por complejas que puedan ser, como ocurría con el "panarmonicon" de Maelzel.

A diferencia de un autómata, un "robot" industrial es un "manipulador programable multifuncional, diseñado para mover material, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos variados programados para la ejecución de tareas variadas".

Esta árida definición que destaca los aspectos de versatilidad y flexibilidad inherentes al concepto del "robot" es la del Instituto Norteamericano de Robótica (RIA), y corresponde también satisfactoriamente a la concepción europea de estas máquinas, pero no así a la del Japón donde se adopta un umbral menos exigente, lo que plantea dificultades de homologación en las respectivas estadísticas de parques o producciones, previsiones de demanda, etc.

La robótica industrial es una tecnología muy reciente que combina la mecánica, puesto que un robot precisa de manipuladores con numerosas articulaciones para ejecutar con gran precisión movimientos diversos, junto con la electrónica, por que es necesario gobernar y controlar esos movimientos mediante microprocesadores capaces de aplicar diferentes programas.

La robótica industrial arranca de los trabajos del ingeniero norteamericano George Debol que a la terminación de la Guerra Mundial empezó a trabajar sobre el desarrollo de "una máquina industrial computarizada de aplicación general, cuyas

funciones pueden variar de acuerdo con el programa almacenado en su memoria", según la definición de una de las patentes con que protegió sus inventos a partir de 1946.

Los trabajos de Debol sirvieron de base para que el físico norteamericano Joseph F. Engelberger, considerado hoy como el padre de la robótica industrial, fundase en 1958 la primera compañía del mundo consagrada al diseño y fabricación de robots industriales: la Unimation Inc., cuyo primer robot el "Unimate" entró en servicio en 1961, en los talleres de la General Motors.

La Unimation, que en 1980 facturó 50 millones de dólares y que se ha extendido a diversos países, continúa siendo el primer fabricante mundial de robots y la industria del automóvil se ha convertido en el primer cliente de este tipo de máquinas. General Motors, concretamente, continúa haciendo un uso creciente y diversificado de los robots en sus factorías, incluida la que ha inaugurado recientemente en nuestro país.

El segundo fabricante norteamericano de robots, de dimensión análoga a Unimation, es la conocida empresa de máquinas-herramientas Cincinnati Milacron Inc. que entró en este campo en 1974, por diversificación natural de su negocio. A la vista de las perspectivas de la demanda y de las posibilidades de desarrollo de esta nueva tecnología, en los Estados Unidos, se están incorporando decididamente a ella, durante los últimos años, empresas como General Electric, con un programa de robotización muy ambicioso y de largo alcance, Westinghouse, IBM y otras.

Aún cuando el origen de la robótica es norteamericano, la primacía en cuanto a la fabricación y empleo industrial de

robots la ostenta desde hace años el Japón que, según su modo habitual, penetró en el sector el 1968 con la tecnología norteamericana de Unimation y actualmente cubre el 50% de la producción mundial, mediante más de cuarenta firmas que operan ya con tecnología propia y entre las que se cuentan firmas tan prestigiosas y conocidas como Kawasaki, Hitachi, o Mitsubishi, las cuales han ampliado su campo clásico de bienes de equipo con esta tecnología.

En Europa, que se encuentra bastante retrasada con respecto a Norteamérica y Japón, el país que lleva una considerable delantera a los demás es Suecia, cuya prestigiosa firma de material eléctrico ASEA, que inició la fabricación de robots hace diez años, ha conseguido una posición dominante en el país y en el continente. Su filial española de Sabadell ha puesto en funcionamiento hace dos años, una línea de fabricación y montaje de robots de diseño sueco.

Pero más importante que lo que está ocurriendo ya en esta reciente tecnología, con ser ello muy notable, es el ímpetu de su desarrollo, en la doble dimensión de sus nuevas aplicaciones, mediante versiones cada vez más avanzadas en las nuevas familias de robots, y del volumen de negocio que va a generarse demanda durante los próximos años, la cual se piensa que va a tener un crecimiento explosivo, de forma análoga a lo que ocurrió con las calculadoras digitales hace 30 años. Aún cuando hay cifras para todos los gustos, prospecciones conservadoras y fiables la sitúan encima de los 3.000 millones de dólares anuales a escala mundial, a finales de la presente década.

El motivo principal de todo ello es el aumento de productividad del robot frente al hombre a causa del fuerte crecimiento de los salarios y cargas sociales, que en un país como los Estados Unidos hace que el costo de un robot por hora de trabajo sea hoy la tercera o cuarta parte del de la mano de obra que sustituye. Pero además existen ventajas adicionales en cuanto a la calidad, por ejemplo, aparte de liberar progresivamente al hombre de servidumbres tales como el esfuerzo repetitivo de las cadenas de fabricación en serie que tan expresivamente denunció la película de Charlot "Tiempos Modernos" y de trabajos especialmente duros o peligrosos en las operaciones de forja o fundición y otras muchas.

En particular, a causa de su versatilidad y facilidad de nuevas programaciones, el robot parece muy adecuado en los casos de fabricación por lotes no muy grandes de elementos que cambian de un lote a otro, con ritmos variables de la demanda, frente a la rigidez de los sistemas de producción propios de las grandes series, por lo que se piensa que las empresas medianas y pequeñas harán un uso creciente de las posibilidades de esta nueva tecnología.

Una fórmula de aplicación que se considera especialmente apta para el uso de robots es la llamada de "células flexibles de producción", cada una de las cuales está formada por uno o varios robots que sirven a un grupo autónomo de máquinas, de tal modo que la factoría queda integrada por un conjunto de tales células.

Hasta el momento las aplicaciones más generalizadas son las de carga, descarga y servicio en las máquinas en operaciones de manipulación y las de soldadura y pintura en operaciones de proceso, pero se contempla la progresiva intro-

ducción del robot en otras muchas de naturaleza cada vez más complicada.

En conjunto se identifican hasta un total de 20 atributos deseables en los robots industriales, de los cuales un buen número están ya conseguidos en las generaciones en uso, empezando por un mínimo de seis grados de libertad en los manipuladores (el brazo, el antebrazo y la mano del hombre tienen 42) y terminando por la exigencia de seguridad inherente como expresión resumida de tres leyes fundamentales sobre el comportamiento de los robots del futuro, formulados por el famoso prolífico y diversificado escritor Isaac Asimov.

Para desarrollar versiones capaces de aplicaciones más ambiciosas que las actuales, es necesario incorporar al robot nuevas tecnologías que le permitan entrar de algún modo en contacto con el mundo que le rodea y reaccionar coherentemente. Ello se consigue mediante el empleo de órganos especiales llamados "sensores" por analogía con los sentidos humanos, de proximidad, térmicos táctiles, acústicos de visión u otros, los cuales le proporcionan la información que el procesador del robot analiza como base para dictar a sus órganos motrices las instrucciones adecuadas, de acuerdo con los programas que tiene incorporados.

Pero la mayoría de estas tecnologías están todavía en fase de desarrollo, aunque la incorporación de algunas de ellas, por lo menos, se producirá durante los próximos años, lo que permitirá a los nuevos robots realizar operaciones complejas de elección de piezas, montaje de conjuntos, control de calidad, transporte de materiales de un punto a

otro y otras muchas, hoy todavía prácticamente inaccesibles.

Entre estas nuevas tecnologías de la robótica futura, la más compleja y difícil, al mismo tiempo que una de las más fecundas es la identificación óptica de objetos, indispensable para muchas de las más avanzadas aplicaciones que se contemplan. La dificultad se debe a la gran cantidad de información que ha de almacenar el robot en su memoria electrónica; a la exploración óptica del espacio que le rodea y a su contraste con aquella información para identificar la naturaleza y posición de los objetos con los que debe interactuar; por último, a la elección de la solución adecuada para que el robot actúe de acuerdo con su misión.

Los atributos que se pretenden incorporar a los futuros robots aspiran a hacer de ellos máquinas cada vez más "inteligentes", en el sentido humano de la expresión, en aspectos como la acumulación y buen uso de conocimientos, la interacción con el medio que les rodea, la búsqueda de soluciones a los problemas con que se enfrentan y la adopción de decisiones razonables.

El instrumento que permite abordar estas cuestiones es la tecnología de las calculadoras electrónicas y el método para hacerlo es una nueva ciencia aplicada, todavía en formación, que se llama Inteligencia Artificial y cuyo estudio y desarrollo está mereciendo gran atención en diversas Universidades y Centros de Investigación de todo el mundo.

Un ejemplo típico de los problemas de que se ocupa la Inteligencia Artificial, de interés especial en relación con las investigaciones precursoras de Torres Quevedo, es el

juego de ajedrez, para el que se ha desarrollado durante los últimos 20 años un conjunto de programas de ordenador. El más reciente de ellos es uno puesto a punto en los laboratorios de la Compañía norteamericana Bell, el cual se aplica a un ordenador especialmente diseñado para utilizarlo que se llama Belle y cuyo nivel de juego es muy alto, lo que le permite hacer un magnífico papel incluso cuando compite con campeones. Tiene una capacidad que le permite analizar 160.000 situaciones por segundo, pero, para tener una idea de la dificultad del problema hay que decir que la exploración exhaustiva de todas las posibilidades de tan sólo tres jugadas consecutivas de cada lado, obliga a examinar a cerca de 2.000 millones de jugadas, por lo que la programación tiene que buscar caminos simplificados, mediante tratamientos heurísticos, lo que motiva que Belle no gane en todas las ocasiones.

El caso de los finales, que ocupó a Torres Quevedo, es específico, porque ahí si que los programas pueden explorar todas las situaciones y asegurar la victoria cuando hay base para ello en las condiciones de partida.

Es un homenaje a la inteligencia humana el que valiéndose de procesos intelectuales desconocidos, cuyo esclarecimiento constituye uno de los fines de la Inteligencia Artificial, pueda enfrentarse con éxito con jugadores de tan asombrosa capacidad analítica como Belle.

Lo que los ordenadores pueden hacer hoy y lo que de ellos se espera en el futuro inmediato permite decir que la revolución de la electrónica ha dotado al hombre de una potencia intelectual amplificada para el cálculo, el análisis y la toma de decisiones, en el mismo sentido en que lo hizo la revolución industrial con la potencia física, mediante la máquina de vapor.

Como consecuencia de toda esta situación la robótica se ha convertido en tema favorito de la literatura científica y técnica, de los congresos y reuniones y de las ferias y exposiciones en todos los países desarrollados y a nivel internacional.

En España es tema que también está despertando notable interés en los medios científicos e industriales, donde existen varias cátedras, dos Centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, una Asociación Industrial y algunas publicaciones consagradas a estas materias.

La robótica industrial representa un paso más en el largo proceso de automatización de la producción, que tiende a sustituir progresivamente el esfuerzo físico o intelectual del hombre por acciones encomendadas a las máquinas, mecanismos o procesadores, cuya historia comienza con el uso de los primitivos utensilios de la Prehistoria y se prolonga sin interrupción hasta nuestros días.

En este largo proceso se suelen distinguir tres etapas, la primera de las cuales corresponde al artesano que realizaba por sí solo y con los utensilios a su alcance el conjunto de operaciones necesarias para completar el producto.

La segunda se inicia con el maquinismo de la Revolución Industrial y desemboca en la gran factoría presidida por la división del trabajo, el obrero especializado y la organización científica de la producción, cuya expresión más representativa es la industria automovilística.

Ejemplos clásicos de automatización precoz en la industria textil son las máquinas de hilar inglesas que a partir de 1848 introdujo en España la industria algodonera catalana con el nombre de "Selfatinas", cuya etimología inglesa alude a su funcionamiento automático; o los telares del inventor francés J.M. Jacquard que controlan automáticamente el movimiento de lanzaderas con hilos de diferentes colores, mediante tarjetas de acero perforadas con el programa del dibujo que se desea tejer, antecedente directo de las tarjetas y cintas perforadoras de la informática moderna.

Por último; la tercera etapa, que hoy prolonga la robótica, es la llamada de la "Automación", expresión utilizada por primera vez en 1946 por la Ford norteamericana para designar el nivel muy avanzado de automatización que introdujo en sus factorías, pero cuyo sentido original evolucionó poco después hacia el que se le asigna en la actualidad.

El elemento nuevo que caracteriza la automación moderna es la regulación y el control automático de los procesos, obtenidos mediante la técnica llamada de lazo cerrado o "feed-back", cuya importancia para el funcionamiento y gobierno de sistemas complejos puso de manifiesto, a mediados de siglo, el célebre matemático norteamericano Norbert Wiener, creador de la "Cybernetica", que alcanzó enorme popularidad por aquellas fechas.

El ejemplo clásico de la técnica de "feed-back" es el regulador centrífugo de bolas de la máquina de vapor inventado por James Watt en 1769. En su forma actual, el proceso que se quiere controlar está gobernado por un programa. Los re-

sultados del proceso, expresados a través de determinadas mediciones, se comparan con las instrucciones del programa y la diferencia actúa sobre los órganos de control hasta ajustar aquellos a los requerimientos de éste. Todo lo cual se hace, además, automáticamente. Como puede comprobarse fácilmente, los sistemas de regulación de lazo cerrado se comportan de modo análogo a los seres vivos.

El conjunto de órganos de toma de datos, de contraste y de actuadores de corrección del proceso constituye el "servo-sistema" de control automático, cuyo proyecto y análisis de funcionamiento se basa en métodos muy complicados, con problemas difíciles de estabilidad dinámica, especialmente en los casos frecuentes de sistemas complejos con diversos lazos de control que interaccionan entre sí.

Las calculadoras electrónicas y concretamente los recientes microprocesadores han ampliado enormemente las posibilidades de esta técnica, que en la actualidad permite el funcionamiento automático de fábricas completas de los más diversos sectores industriales.

Como también han permitido los ordenadores digitales enormes progresos en la precisión, la productividad y el automatismo de las máquinas de producción, mediante la aplicación a las mismas de las llamadas técnicas de Control Numérico (CN), que sustituyen las maniobras del obrero por las instrucciones de un programa grabado en una cinta perforada o en un microprocesador. Esta técnica, cuyo uso se ha generalizado durante los últimos 20 años, se inició en 1952 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, como consecuencia de un programa de desarrollo subvencionado por las Fuerzas Aéreas Norteamericanas.

Por otra parte, la automatización mediante el uso de ordenadores se aplica también muy extensamente en campos distintos del de la producción industrial, tales como las telecomunicaciones, la navegación, el control de tráfico ferroviario o aéreo, la informática, etc.

Pero la robótica se utiliza también cada vez más en otros campos distintos del de la producción industrial. Por ejemplo; en las prótesis médicas; y para la supervisión y manipulación de elementos situados en lugares peligrosos o inaccesibles por razones ambientales como en zonas contaminadas de instalaciones nucleares; o finalmente, en medios naturales hostiles al hombre, cuya exploración y explotación ha dado lugar a dos de las tecnologías más recientes, actualmente en pleno desarrollo: la de las profundidades submarinas y la del espacio exterior a la tierra.

El estudio de las características de los mares y océanos corresponden a una ciencia de lenta maduración: la Oceanografía, cuyo fundador se considera que fue el Teniente de la Marina Norteamericana Mathew Fontaine Maury que en 1855 publicó el primer tratado sobre la materia: "La Geografía Física del Mar" obra que alcanzó gran celebridad. Y el primer viaje de exploración oceanográfica con programa y medios de observación modernos fue el famoso del "Challenger", de cuatro años de duración, organizado por la Royal Society de Londres en 1872, cuyas observaciones y descubrimientos se recogieron en una monumental publicación en 50 tomos.

La Oceanografía proporciona el conocimiento del medio donde la especialidad técnica que desde los años 60 acostumbra a llamarse en algunos países ingeniería oceánica tiene que desarrollar su tecnología propia, adaptada a las peculiaridades del mar. Por ejemplo; como el agua no propaga las radiaciones electromagnéticas, la ingeniería oceánica tiene que servirse de las ondas acústicas mediante los dispositivos llamados del "sonar", equivalente submarino del radar. Asimismo, los efectos de la corrosión en instalaciones de ingeniería oceánica que tienen que durar muchos años, o los del oleaje y las tormentas plantean problemas técnicos de gran dificultad.

A Maury se le considera también uno de los precursores de la ingeniería oceánica, porque aplicó sus conocimientos del fondo del océano al tendido del primer cable telegráfico transatlántico entre Inglaterra y Terranova, que se realizó en 1866 y constituye probablemente el primer proyecto importante de la nueva especialidad.

La cual ha adquirido importancia relevante durante las últimas décadas, por las posibilidades de explotación de los recursos oceánicos, tanto biológicos como minerales. Especialmente, por el momento, a causa de la explotación de los depósitos submarinos de gas y petróleo que ya proporcionan un tercio del consumo mundial de estos productos.

La explotación de tales depósitos ha dado lugar a una tecnología llamada "off-shore", la cual se refiere a la construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones de perforación, extracción y transporte en alta mar del gas y del petróleo obtenidos a una profundidad que normalmente es

del orden de varios centenares de metros, pero que excepcionalmente llega a ser mucho mayor.

Por ejemplo; una seria dificultad de esta ingeniería es la necesidad de utilizar buzos a tales profundidades, para construir y reparar las instalaciones, porque el tiempo útil de trabajo en esas condiciones es inferior a una hora, mientras que el de descompresión en campana de atmósfera controlada se mide por días, aparte de los riesgos inherentes al trabajo en un medio hostil.

Lo cual hace muy ventajoso el empleo de sumergibles de supervisión y emergencia, bien sean pilotados o no, dotados de sensores y manipuladores adecuados a su misión. Por ello existe ya un parque mundial de varios centenares de tales vehículos, en su mayoría propiedad de empresas dedicadas a estas actividades.

Como también existe un número considerable de sumergibles de exploración, algunos muy robotizados, dedicados a la investigación de las profundidades submarinas. Entre ellos, el célebre batiscafo "Trieste" que en 1960, pilotado por Piccard y Walsh, alcanzó la mayor profundidad conocida del fondo del océano: 11.000 metros, en la fosa Challenger de las islas Marianas en el Pacífico, comprobando la existencia de vida a esas profundidades; o el más popular "Alvin" propiedad de la Marina norteamericana, pero también al servicio de investigaciones civiles.

La otra tecnología reciente que hemos citado en relación con las aplicaciones de la robótica es la espacial, sin duda la más compleja y espectacular de todas las nuevas tecnologías.

Una técnica que sintetiza las aportaciones de todas las demás, combinándolas para dar solución a los difíciles problemas que plantea la exploración y la utilización del espacio exterior a la tierra.

Aún cuando los viajes interplanetarios han excitado la imaginación de las gentes desde muy antiguo, sirviendo de argumento a numerosos relatos satíricos, de fantasía o de ciencia ficción, al menos desde los tiempos del retórico griego Luciano de Samosata, la etapa propiamente científica de su posibilidad se inicia a finales de los años 20, en relación con los trabajos de los precursores de los modernos cohetes. Fue entonces cuando se crearon en diversos países, a ambos lados del Atlántico, las primeras Asociaciones de Astronáutica; denominación que introdujo por aquellas fechas un piloto de pruebas francés aficionado a estas materias: Robert Esnault-Pelterie y que ha quedado universalmente consagrada en Occidente, frente a su homóloga la Cosmonautica soviética.

Pero una cuestión previa a toda operación espacial es la de disponer de un sistema de propulsión con potencia suficiente para acelerar una astronave hasta la velocidad requerida, la cual está comprendida entre la mínima de 28.500 km por hora correspondiente a una órbita terrestre de baja cota y los 40.000 km. por hora necesarios para escapar de la atracción terrestre.

Propulsión cuyo motor obligado en astronáutica es el cohete, por lo que la era espacial ha tenido que esperar a los cohetes de gran potencia desarrollados con fines militares en Rusia y Estados Unidos para los proyectiles balísticos intercontinentales, con base en los famosos V-2 que bombardearon Londres durante la última fase de la Guerra Mundial.

Y una aplicación pacífica pre-espacial de los desarrollos de la tecnología de cohetes subsiguiente al V-2, la cual continúa utilizándose en la actualidad, es el lanzamiento de cohetes sonda de gran alcance (hasta varios cientos de km de altura), con cápsulas que, en trayectorias suborbitales, registran informaciones de interés meteorológico o de física atmosférica, en alturas inasequibles a los aviones y a los globos.

Al disponer de la tecnología de propulsión indispensable, el impulso para el comienzo de la era espacial lo proporcionó el Año Geofísico Internacional; sin duda el mayor esfuerzo de cooperación científica universal que a lo largo de 18 meses, desde Julio de 1957 hasta Diciembre de 1958, movilizó a más de 30.000 científicos de 70 naciones.

En 1954, el Comité de Planificación de este magno proyecto formuló una recomendación para el uso de satélites artificiales de investigación geofísica y tanto Rusia como Estados Unidos anunciaron su propósito de aplicar esta técnica.

En particular, Rusia comunicó su propósito de colocar en órbita alrededor de la tierra un satélite artificial durante el Año Geofísico, en una reunión de su Comité celebrada en Barcelona, en Septiembre de 1956, anuncio que fue acogido con general escepticismo.

Sin embargo, el 4 de Octubre de 1957, el mundo y muy concretamente los Estados Unidos se vieron sorprendidos por la noticia de que Rusia había colocado satisfactoriamente en órbita un satélite artificial de 84 kg de peso: el Sputnik 1 cuyo lanzamiento inauguró la nueva era del espacio. Es más; un mes más tarde, Rusia repitió la proeza poniendo un segundo satélite, el Sputnik 2, de 508 kg de peso, con la famosa perra Laika a bordo, primera víctima de la exploración espacial.

Así se repetía la historia de los hermanos Montgolfier, fabricantes de papel e inventores de la Aeroestación, que hace justamente 200 años hicieron una demostración de sus globos de aire caliente en Versalles, ante Luis XVI, transportando en la barquilla una oveja, un pato y un gallo, que afortunadamente fueron recuperados de la aventura sin novedad, aunque al parecer algo deteriorados por cuestiones de convivencia. En el caso del espacio hubo que esperar aún 3 años para recuperar astronautas vivos, lo que hizo también Rusia con el Sputnik 5, de casi cinco Tm de peso, que llevaba a bordo dos perros y seis ratones. La técnica del retorno a la atmósfera que se iniciaba con esta operación es una de las más difíciles y peligrosas de la tecnología espacial, cuyo desarrollo permitió a Rusia lanzar y recuperar con vida, tan sólo unos meses después, al primer astronauta de la historia: el cosmonauta Yuri Gagarin, en la cápsula espacial Vostok 1.

Claro es que esta colección de proezas de la Unión Soviética, debidas a la disponibilidad de cohetes lanzadores más potentes, produjo una gran conmoción en los Estados Unidos, desencadenando una carrera contra reloj digna de los mejores momentos de las expediciones polares o de los raids de los tiempos heroicos de la aviación. Su culminación, por parte de Norteamérica que había conseguido poner en órbita su primer satélite, el Explorer 1, a los tres meses del Sputnik

Soviético, fue la colocación de un hombre en la luna el 20 de Junio de 1969: Neil Amstrong, dando así cumplimiento, con medio año de margen, al programa "Apolo" que John Kennedy anunció al país en Mayo de 1961, para completarlo dentro de esta misma década.

A partir de aquellos primeros esfuerzos, que permitieron alcanzar realizaciones importantes en un periodo de tiempo muy breve, la tecnología espacial se viene desarrollando simultáneamente en cuatro direcciones fundamentales.

La primera es el avance de la propia tecnología espacial y el estudio de los problemas que plantea la utilización del espacio a los materiales, a los equipos y a los hombres; por ejemplo, bajo condiciones de microgravedad, impactos de meteoritos y de fuerte irradiación cósmica y solar.

Entre las realizaciones más espectaculares e importantes del desarrollo tecnológico se cuentan, por ejemplo, las estaciones espaciales en órbita de grandes dimensiones y equipadas para alojar tripulaciones renovables de varios astronautas durante permanencias prolongadas. La primera de tales estaciones fue el célebre Skylab norteamericano, de más de 70 Tm de peso, puesto en órbita en 1973 y cuyo retorno a la atmósfera, seis años más tarde, alcanzó gran popularidad por el riesgo de impacto de alguno de sus restos en zonas habitadas. Permitted realizar numerosos experimentos científicos y acogió sucesivamente a tres tripulaciones de tres hombres cada una, la última durante tres meses, lo que proporcionó información de gran utilidad sobre permanencias prolongadas fuera de la ac-

ción de la gravedad. Por ejemplo, en el espacio los astronautas pueden crecer varios centímetros por la ausencia de peso, pero recuperan su altura normal al volver a la tierra, donde deben someterse a un periodo de readaptación gravitatoria. Una operación importante de automática y robótica es la maniobra de aproximación y atraque a la estación, de la cápsula espacial que transporta a las tripulaciones.

Por su parte, Rusia había iniciado dos años antes que Norteamérica el desarrollo de estaciones espaciales tripuladas; los Salyut, de tamaño considerablemente menor. Pero tuvo serias dificultades de puesta a punto que costaron la vida a tres cosmonautas en la maniobra de retorno a la tierra. Sin embargo, Rusia prosiguió sistemáticamente el desarrollo de sus estaciones, poniendo gran acento en la automatización y telecomando de su funcionamiento, incluidas las operaciones de aproximación, atraque, cambio de órbita y regreso, y batiendo en 1980 el récord de permanencia de los cosmonautas que situó en medio año.

Hasta 1981, los lanzadores especiales que propulsaban a las astronaves y las cápsulas que regresaban a la tierra no podían volver a usarse. Pero a partir de esa fecha, Estados Unidos ha puesto en funcionamiento el llamado "Sistema de Transporte Espacial", cuyas astronaves Shuttle, llamadas así por analogía con las lanzaderas de la industria textil, pueden colocar en órbita baja una carga útil de hasta 30 Tm y regresar a la tierra para revisión y usos sucesivos.

Precisamente ayer este nuevo sistema inició su noveno viaje, llevando a bordo por primera vez el laboratorio espacial Spacelab : la contribución de la Agencia Europea del

Espacio al Sistema. Se trata de una instalación modular y flexible, dotada de los servicios requeridos para realizar experimentos científicos espaciales de muy diversa índole y duración, dentro o fuera del Shuttle, automáticos o con participación de investigadores. Proyecto en cuya realización ha participado también España como han dado a conocer los medios de información durante estos días, así como también lo hace en uno de los experimentos de microgravedad que se llevarán a cabo durante el viaje, cuyo Shuttle se llama Columbia.

Esta nueva técnica del Sistema de Transporte Espacial, que viene operando sin dificultad desde hace tres años, representa un paso fundamental en el desarrollo de la tecnología astronáutica. La cual ha sabido resolver problemas muy difíciles en temas como suministro de potencia a las astronaves para su funcionamiento; de posición, guiado y control; de disipación de calor, adaptación ambiental y habitabilidad; estructurales, de instrumentación y muchos otros.

El éxito de las estaciones espaciales hace que se piense desarrollar en el próximo futuro grandes bases espaciales, en gran medida automáticas y de composición modular, que proporcionen el soporte necesario para un conjunto muy diversificado de operaciones espaciales, incluidos el atraque y regreso de tripulaciones de astronautas. La construcción y funcionamiento de estos Centros de operaciones espaciales deberá hacer un uso muy intenso del complejo técnico formado por las telecomunicaciones, la automoción, la robótica y los Sistemas de máquinas inteligentes, cuyas posibilidades de aplicación espacial constituyen el objeto de un proyecto norteamericano de viabilidad llamado ARAMIS.

Concretamente; la tendencia a sustituir al hombre por un robot en las misiones espaciales siempre que sea posible, como han hecho los rusos frente a los norteamericanos en la luna; o cuando solo pueden usarse robots, como en la exploración de las superficies de Venus y Marte, por ejemplo, así como la multiplicidad de otras misiones de construcción, reparación y servicio, hacen que la robótica sea una parte esencial de la tecnología aeroespacial, incluida la utilización de telemanipuladores avanzados, como el que utiliza el Shuttle, y que ha sido desarrollado en Canadá. Una técnica de telemanipuladores avanzados, a cuyo desarrollo se presta gran atención, es la llamada de "telepresencia", que proporciona al operario la ventajosa sensación de estar junto al manipulador a pesar de la distancia, lo que se consigue con un sistema de sensores muy avanzado.

Una segunda dirección de desarrollo espacial, que prosigue ininterrumpidamente desde el primer momento, es la de la investigación científica del espacio, que ha permitido acumular en los 26 años de la era espacial un inmenso caudal de conocimientos, impensable por otros procedimientos, acerca del sistema solar y de otras observaciones astronómicas.

Para encontrar una etapa de exploraciones comparable a la era espacial que estamos viviendo desde 1957, habría que remontarse cinco siglos, a los 30 años que median entre el primer viaje de Colón y la vuelta al mundo de Magallanes y Elcano, en la nave "Victoria". El profesor Rey Pastor describió hace años, en un libro muy ameno, el precario soporte científico y técnico para aquellas proezas en las que tan señalado protagonismo correspondió a España.

En estos momentos, el proyecto más ambicioso en marcha es el llamado Telescopio Espacial de la NASA, al que contribuirá Europa, incluido España, a través de la ESA, mediante el suministro de algunos equipos fundamentales.

Este fabuloso instrumento científico aventaja a todos los telescopios de la tierra por su potencia e instrumentación y porque operará fuera de la atmósfera, pudiendo hacerlo además el doble de tiempo anual que los de los observatorios terrestres que sólo actúan de noche. Podrá alcanzar distancias siete veces mayores que las reconocidas hasta ahora, llevando las observaciones a los confines del Universo y detectar cuerpos de emisión luminosa cincuenta veces menor que los actuales, lo que le permitirá incluso identificar planetas de otros sistemas solares. Con un peso de 11 Tm, será puesto en órbita por el Shuttle, en fecha próxima aún no determinada, utilizando el telemanipulador ya citado, el cual servirá también para rescatarlo y traerlo a la tierra cuando precisa de reparaciones o modificaciones importantes, porque las más sencillas se llevarán a cabo sin sacarlo de su órbita.

La tercera línea de desarrollo en la que se ha trabajado también desde los comienzos, es la de las aplicaciones civiles, algunas de las cuales, como las telecomunicaciones vía satélite o la observación meteorológica, forman ya parte de la vida cotidiana. Otras igualmente importantes, como la observación de las superficies de la tierra y el mar, con finalidades geológicas, de control de cosechas, de prevención de catástrofes, etc., no son tan conocidas, pero absorben también un gran esfuerzo de desarrollo tecnológico de gran potencial futuro. En muchas de estas aplicaciones y muy concretamente para las telecomunicaciones, la fórmula más adecuada es el satélite llamado "geoestacionario", que se sitúa en el plano

del ecuador, a una altura de 36.000 km sobre la superficie de la tierra, con lo cual el satélite gira a la misma velocidad que ésta y parece suspendido sobre la vertical de su posición. En la actualidad el esfuerzo del desarrollo tecnológico para los satélites de telecomunicaciones se centra en los de emisión directa de radio y televisión que puedan captarse a domicilio desde el satélite, sin pasar, como ocurre ahora, por estaciones centrales de recepción terrestre. Al igual de lo que ocurre con las telecomunicaciones terrestres, las espaciales están sometidas a normas derivadas de acuerdos internacionales que determinan, entre otras cosas, las posiciones geoestacionarias y las frecuencias correspondientes a cada país, así como el espacio terrestre cubierto por las antenas de emisión, para prevenir que no se desborden las fronteras. A causa de todo lo cual, la tecnología espacial ha efectuado ya importantes contribuciones al desarrollo de las telecomunicaciones en general.

Por último; la cuarta dirección de desarrollo de la tecnología espacial, de naturaleza básicamente similar a la precedente pero con peculiaridades propias y menos difundida, es la de las aplicaciones militares en los campos de las comunicaciones, observación y detección, así como en el de determinadas armas.

Para terminar con la tecnología espacial es necesario hacer referencia a lo que suele llamarse el segmento terrestre de esta actividad, al que corresponden las bases de lanzamiento de astronaves, las estaciones de seguimiento, control y gobierno, las de emisión y recepción de datos, etc.

Por otra parte, la actividad espacial no puede ser enteramente libre por las interferencias y los riesgos contra terceros, lo que motivó que desde el primer momento el Presidente norteamericano Eisenhower la llevase a la atención de las Naciones Unidas, en relación con las conversaciones sobre el desarme entonces en curso. Un largo proceso de negociaciones condujo finalmente a la firma, en 1967, de un tratado sobre el espacio exterior que hoy han suscrito casi todos los países. A lo largo de sus 17 artículos, el tratado regula todos los aspectos del espacio exterior que, como las aguas libres Oceánicas y la Antártida, no puede ser ocupado ni explotado por nadie en perjuicio de los demás; ni usarse para almacenar armas de destrucción masiva; donde debe fomentarse la cooperación pacífica internacional y donde los astronautas en peligro, de cualquier procedencia, deben ser considerados como "emisarios de la humanidad" y recibir el socorro que precisen.

La Tecnología Militar es tan antigua como el hombre, puesto que la guerra ha existido desde los orígenes de la humanidad. Su importancia radica en que, como ha demostrado la experiencia en numerosas ocasiones, el heroísmo de los combatientes no siempre es suficiente para compensar la superioridad técnica del adversario.

Esto resulta particularmente notorio en nuestra época, cuando la tecnología militar adquiere singular relevancia, especialmente a partir de la Guerra Mundial, por su significación para la supervivencia de los pueblos y eventualmente de la humanidad; porque en los países militarmente más comprometidos una fracción del orden del 50% de su esfuerzo en in-

vestigación y desarrollo se aplica a programas de defensa; por que los gastos militares absorben una fracción considerable del presupuesto nacional y porque la tecnología militar, al moverse en la frontera de las aplicaciones técnicas del conocimiento científico, haciéndolo además bajo condiciones operativas de gran dureza, tiene una capacidad de proyección y arrastre muy grande sobre todo el sistema tecnológico e industrial del país. Por ello el clásico aforismo latino: "Si vis pacem para bellum" pasa hoy, más que nunca, por el dominio de la tecnología militar.

La más importante de sus aportaciones contemporáneas es, naturalmente, la bomba atómica, cuyo desarrollo durante la Guerra Mundial, en el famoso proyecto Manhattan, es también el ejemplo más sobresaliente de los nuevos métodos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, por el esfuerzo material y humano que movilizó; por su organización y eficacia; por el secreto con que supo mantenerse; por la brevedad del tiempo de ejecución: seis años y medio desde que se conoció la fusión del uranio en 1939 hasta la explosión de la primera bomba experimental en Alamogordo, en 1945, seguida inmediatamente de las de Hiroshima y Nagasaki que pusieron fin a la Guerra Mundial; finalmente, por sus efectos disuasorios que han resucitado la práctica de los conflictos locales, en el equilibrio global del terror que durante estos días está atravesando una etapa de intenso endurecimiento. Por otra parte, las aplicaciones pacíficas que derivan de este proyecto y muy concretamente las Centrales Nucleares, aplicación civil de la misma energía, han cambiado de raíz las perspectivas energéticas del mundo al aportar una nueva fuente de energía

cuya utilización resulta indispensable para proseguir el desarrollo de la humanidad.

Pero otros muchos desarrollos tecnológicos han cambiado también los planteamientos bélicos, antes y después de la bomba atómica, especialmente a partir de la Guerra Europea. Algunos de los más recientes y espectaculares han evidenciado su eficacia en las guerras locales posteriores a la Mundial, como las de Viet-Nan, Oriente Próximo o las Malvinas, que sirven de laboratorio experimental para los nuevos sistemas de armas. Aquí no hay espacio para comentarlos pero si puede ser de interés aludir brevemente a los más significativos.

La Guerra Europea incorporó al combate tres nuevos sistemas de armas que se acreditaron como decisivos.

El submarino; cuya invención y esporádica utilización son anteriores al siglo XX, incluidos los desarrollos españoles de Monturiol e Isaac Peral, pero que se hizo operativo en la Contienda del 14 al 18. En ella, los imperios centrales hundieron 20 millones de Tm de barcos aliados, lo que estuvo a punto de cambiar el resultado de la guerra en 1917 por el colapso de los aprovisionamientos. La situación se repitió durante la Guerra Mundial, en que también fue un arma fundamental, cuya importancia se ha acentuado después de ella, al desarrollarse los submarinos nucleares a partir de 1955, los cuales pueden permanecer sumergidos un tiempo virtualmente ilimitado y disparar misiles nucleares intercontinentales sin salir a la superficie. Su gran impulsor fue el famoso Capitán Rickover de la Marina Norteamericana y el primer submarino nuclear puesto en servicio fue el "Nautilus" que,

en 1958, cruzó sumergido el Polo Norte, en un memorable viaje de 3.000 km, entre Alaska y Groenlandia. Dos años más tarde, el "Tritón" norteamericano repitió en menos de tres meses y sin salir a la superficie el viaje de 60.000 km que 440 años antes hicieron en tres años Magallanes y Elcano.

La aviación; arma del siglo XX que sufrió su prueba de fuego durante la Guerra Europea, en combinación con los dirigibles, y que fue decisiva en la Mundial, tanto en el frente de batalla, como en la guerra naval y antisubmarina y muy señaladamente en los bombardeos masivos de la retaguardia para quebarantar al potencial bélico y la moral del adversario. Más recientemente, el empleo del helicóptero en misiones de combate se ha unido al de la aviación convencional, de cuyo desarrollo puede dar una medida el que el costo de un moderno avión de combate es hoy superior a los 3.000 millones de pesetas.

El tanque, denominación inicial que se empleó para ocultar durante su desarrollo que se estaba construyendo un carro acorazado sobre cadenas y que luego ha quedado consagrada, es una invención inglesa, que se utilizó por primera vez en Septiembre de 1916, y que el 8 de Agosto de 1918 sirvió para neutralizar la gran ofensiva final alemana cuando el fragor del combate se oía desde París, haciendo de esa fecha, para el Mariscal Ludendorff "el día más negro del ejército alemán en la Historia de la Guerra". En la Guerra Mundial, cuyas batallas de tanques se hicieron históricas, fue también un arma decisiva, cuyo uso y neutralización constituyen actualmente objetivos básicos del Pacto de Varsovia y de la NATO.

Las municiones guiadas con precisión tienen sus antecedentes en el torpedo, inventado por Robert Whitehead en 1866, el cual quedó acreditado en el ataque japonés a la escuadra rusa en Port Arthur, en 1904, y ha sido el arma del submarino en la guerra europea y en la Mundial. En ésta hicieron su aparición las famosas bombas V-1, en realidad aviones sin piloto, y los cohetes V-2 ya mencionados. Por cierto que un arma antiaérea de gran eficacia, introducida por Norteamérica en la batalla del Pacífico y utilizada después en Londres contra las V-1, fue la espoleta de proximidad; en realidad un pequeño radar, que hace estallar la carga al aproximarse al blanco sin necesidad de contacto. Pero la más dramática de las armas guiadas hacia el blanco fueron los pilotos suicidas japoneses del Pacífico que se llamaban "Kamikace", expresión que significa "Viento Divino". Recientemente se han desarrollado sistemas de guiado terminal menos crueles, en los que el proyectil va provisto de un cabezal dotado de "sensores" especiales para identificar el blanco y de órganos de gobierno para perseguirlo con la técnica ya descrita de "feed-back" o de lazo cerrado, lo que permite conseguir un porcentaje muy alto de impactos. Los ejemplos más característicos de este nuevo tipo de municiones que han revolucionado el arte de la Guerra, como en el siglo XVI lo hizo la aparición de las armas de fuego, son los populares misiles "Exocet", "SAM", "Rapier" y tantos otros que las últimas contiendas han hecho famosos, junto a los más ambiciosos misiles tácticos de cabeza nuclear, como los que en estos momentos se están desplegando en algunos países de la NATO.

La mayoría están dotados de un sistema de propulsión y su lanzamiento puede hacerse desde tierra, mar y aire. Previa a la fase de guiado final hacia el blanco, es frecuente que tengan otra de navegación con pilotaje automático, a ba-

ja cota por razones de seguridad. Los "sensores" del guiado final pueden recibir pasivamente señales emitidas por el propio blanco; por ejemplo, radiaciones infrarrojas de sus zonas calientes o emisiones de radio o radar; en otros casos, bloquean por contraste la imagen del blanco una vez identificado y se dirigen inexorablemente hacia él o se sirven del reflejo en el blanco de un rayo laser emitido desde un designador exterior al misil o de otras diversas tecnologías, cuyo desarrollo constituye hoy uno de los campos de investigación más activos en la tecnología militar.

En el uso de las municiones guiadas con precisión se procura que la plataforma de lanzamiento, avión, buque, etc. esté fuera del alcance del enemigo, así como automatizar al máximo la operación, empleando la técnica llamada de "dispara y olvida".

Un tipo de ingenio militar cuyo uso está adquiriendo importancia creciente, de lo que es un ejemplo señalado la última guerra del Líbano entre sirios e israelíes, es el de los llamados vehículos de pilotaje remoto. Se trata de pequeños aviones sin piloto que sobrevuelan el territorio enemigo en misiones de reconocimiento, equipados con cámaras de televisión y fotografía, o con designadores laser, o finalmente en operaciones de guerra electrónica como las que se comentan más adelante.

El "rádar" es una invención de guerra, basada en el eco de las ondas electromagnéticas, la idea de cuya utilización había sido anticipada en los Estados Unidos, en 1922, por el inventor de la radiotelegrafía, Guillermo Marconi. Su pater-

nidad es difusa, porque el desarrollo se inició simultáneamente en Inglaterra, que al comienzo de la Guerra Mundial disponía de una red de alerta sobre la costa, en Alemania y en los Estados Unidos, acreditándose a lo largo de la contienda y después de ella como un arma fundamental para la vigilancia y detección de aviones y buques, dirección de tiro, identificación del terreno, navegación y otras aplicaciones, a las que después se han agregado otras de carácter civil, que lo convierten en indispensable para la navegación marítma y aérea, para la detección de tormentas y zonas de intensa turbulencia y hasta para la menos grata de multar los excesos de velocidad en carretera. Otras aplicaciones de carácter científico se refieren a la llamada astronomía del rádar que se inició al recibir el eco de la luna en 1946, seguido por el de Venus y el Sol quince años más tarde, al seguimiento de satélites artificiales, a la observación radárica de la superficie terrestre desde satélite, etc.

En 1490, el genial artista e ingeniero Leonardo da Vinci escribió lo siguiente: "si paras tu barca e introduces el extremo de un tubo en el agua, aplicando el otro a tu oído, oirás las otras embarcaciones aunque estén muy distantes". Es la definición del fundamento del "sonar", ya citado, cuya aplicación militar para la detección de submarinos y naves de superficie basada en el efecto piezoeléctrico se desarrolló durante la primera guerra mundial. Desde entonces se ha convertido en instrumento importante de la guerra naval, con nuevas aplicaciones como el guiado terminal de torpedos, así como otras civiles en oceanografía, para la detección de bancos de pesca, etc.

La combinación de las radiocomunicaciones con las posibilidades que ofrecen el rádar y los modernos ordenadores, constituye uno de los desarrollos más importantes de la tecnología militar de nuestra época, cuya expresión más completa son los Centros llamados C<sup>3</sup>I de Comunicaciones, Control, Comando e Inteligencia, fuertemente automatizados, donde se integran y procesan en tiempo real todos los datos de una situación, y de donde emanan las instrucciones necesarias para las operaciones militares.

Por último; una tecnología de mucho ingenio cuya práctica es antigua pero que ha cobrado gran importancia recientemente es la llamada de Guerra Electrónica, con el múltiple objetivo de localizar y descifrar el sistema de comunicaciones enemigo; de llevar a cabo emisiones que lo interfieran o confundan y neutralizar las acciones del mismo tipo que puede poner en práctica al adversario contra nosotros. Las guerras locales más recientes ofrecen ejemplos de utilización de esta tecnología realmente notable, que desgraciadamente no cabe exponer aquí.

En la base de todas estas tecnologías y de algunas otras que podrían comentarse se encuentra siempre, bajo algunas de sus innumerables manifestaciones, la electrónica; la gran tecnología del siglo XX. Me parece que al menos dos de sus campos de desarrollo deberían ser objeto de tratamiento monográfico al ocuparse de la ingeniería de nuestra época: las telecomunicaciones y los ordenadores, que aparecen frecuentemente combinados de muy diversas maneras. Especialmente en el conjunto de servicios de transmisión y proceso de datos, objeto de una nueva tecnología que empieza a llamarse "Telemática", la cual resulta de la combinación de la Tele-

comunicación con la Informática e incluye, entre sus manifestaciones típicas, los servicios de correo electrónico, facsimil, teletex, videotex, videoconferencias, etc.

Algunos hitos fundamentales del desarrollo de la tecnología electrónica son las siguientes. La invención por Fleming y De Forest, a comienzos de siglo, de las válvulas electrónicas basadas en el efecto termoiónico de Edison, las cuales permiten detectar, generar, amplificar, rectificar, modular y controlar las señales de radio y de las que hacia los años cincuenta se producían en el mundo cientos de millones de unidades. La invención, en 1897, de la pantalla de rayos catódicos, debida al alemán K.F. Braun, cuyo desarrollo ha encontrado innumerables aplicaciones en el laboratorio, el radar, la televisión, la informática, etc. La invención del "iconoscopio", basada en el efecto fotoeléctrico, debida al ingeniero norteamericano de origen ruso Vladimir Zworikin, cuyo desarrollo a partir de 1938 proporcionó la primera cámara de televisión. La invención de las guías de ondas como resultado de las investigaciones de G. Southworth y W. Barrow, en los Estados Unidos a finales de la década de los 30. La invención, en 1947, del transistor, basado en las propiedades de los semiconductores y debida a los norteamericanos Bardeen, Brattain y Schokley, que ha sustituido con ventaja a las voluminosas, caras y delicadas válvulas termoiónicas, abriendo la era de los "circuitos impresos", primero, y de los "circuitos integrados" más recientemente. Estos últimos pueden contener decenas de millares de componentes electrónicos en un cuadrado de medio centímetro de lado, construido sobre una base de silicio, mediante técnicas de fabricación sumamente delicadas, que están más próximas a los procedimientos de un laboratorio que a los de una factoría. Su límite de miniaturización

zación está determinado, por el momento, por la longitud de onda de la luz. Son los famosos "chips", fundamento de los microprocesadores cuyo empleo generalizado en aplicaciones cada vez más diversificadas y "domésticas" está revolucionando los mundos de la industria y de los servicios. La invención en 1954 del "maser", primer dispositivo de emisión estimulada, que valió el premio Nobel compartido al norteamericano Charles Townes y a los rusos Prokhorov y Basov. La invención en 1960 del "laser" debida al norteamericano T. Maiman, del que se han desarrollado una gran variedad de tipos de aplicaciones en la industria, en medicina, en telecomunicación y servicios, en la industria y en defensa. En particular, el laser de semiconductor, combinado con las fibras ópticas pueden revolucionar el futuro inmediato del campo de las telecomunicaciones en algunas de sus manifestaciones más avanzadas y otras aplicaciones como, por ejemplo, la de las máquinas calculadoras.

Un ejemplo concreto y muy expresivo de lo que está representando la revolución de la micro electrónica en el campo del cálculo electrónico lo proporciona su comparación con la primera calculadora electrónica digital: la famosa máquina ENIAC de la Universidad de Pensilvania, que se puso en servicio en 1946. Esta máquina podía multiplicar dos números de 10 cifras en dos milésimas de segundo, lo que representaba una velocidad mil veces mayor que la de sus predecesoras electromecánicas. Esto le permitió, poco después de entrar en servicio, realizar en dos horas cálculos de física nuclear que hubieran ocupado a 100 ingenieros durante un año. Pero su longitud era de 30 metros, estaba equipada con 18.000 válvulas termoiónicas y consumía una potencia de 100 kw, lo que planteaba serios problemas de disipación de calor y de contí-

nua sustitución de válvulas fundidas. Hoy todo ello puede hacerse con un pequeño microprocesador, que opera a velocidades unitarias inferiores a la millonésima de segundo.

Por todo lo cual y por su enorme impacto económico y social, la electrónica es, sin duda, la más genuina representación de la tecnología contemporánea, cuyo fomento y ordenación es un componente fundamental de los planes de desarrollo socioeconómico de los países avanzados. En el nuestro, concretamente, tras varios años de trabajo de una Comisión Nacional de Electrónica, cuyo Informe fue presentado hace unos meses, el Gobierno acaba de anunciar la puesta en práctica del Plan Electrónico Nacional, cuyo contenido va a darse a conocer de modo inmediato.

A quienes la contemplación del horizonte tecnológico que he intentado presentar pueda sugerirles una visión pesimista de la amenaza técnica, me gustaría recordarles que su desarrollo ha multiplicado de modo asombroso la capacidad del hombre moderno en todas sus actividades y que la cuestión estriba, por tanto, en el buen uso de su potencial.

Por ejemplo; en el orden energético el hombre está muy pobremente dotado como máquina de trabajo mecánico, tanto en relación con su peso como en cuanto a su rendimiento que no llega al 10%. La energía media anual que un hombre de constitución normal puede desarrollar en trabajo mecánico es de unos 100 kw al año; es decir 30 veces menor que el consumo medio anual de electricidad por persona en un país como el nuestro. Dato que se hace más expresivo al considerar que de cada tres personas sólo puede trabajar una porque hay que excluir los niños y jubilados.

En cuanto a la velocidad, el récord mundial, en un maratón, está en los 20 km por hora, que puede elevarse hasta 45 en tramos muy cortos.

Muchos animales son naturalmente más rápidos, pero su velocidad máxima sobre la tierra y en el agua es del orden de 100 km por hora, mientras que algunas especies de pajaros alcanza hasta 170. En cambio, la técnica nos ha permitido alcanzar velocidades de 80 km por hora en los submarinos; de 130 en los buques de superficie; de más de 1.000 en vehículos terrestres propulsados por cohetes; de 7.300 en aviones cohete y de hasta, 40.000 en los viajes espaciales, como hemos visto.

En el cálculo matemático; en la memoria, en el análisis de situaciones y en el gobierno de sistemas complejos, los ordenadores han potenciado por millones la capacidad humana y al mismo tiempo han extendido desmesuradamente el alcance de nuestros sentidos; por ejemplo, con la visión nocturna o a través de las nubes y a gran distancia, permitiendonos además comunicar instantáneamente con cualquier punto de la tierra y con el espacio exterior, así como penetrar en las profundidades de los mares o salir de la tierra.

Pero, para conseguir todo esto muchas de las tecnologías que hemos descrito confrontan al hombre con situaciones cada vez más complejas y difíciles, en sus interacciones con los sistemas técnicos que han de operar, como pueden ser el manejo de máquinas, la conducción de coches, aviones, barcos o naves espaciales; el diálogo con ordenadores, la permanencia

en las profundidades submarinas o en el espacio exterior, etc.

Para dar soluciones satisfactorias a estos problemas ya no basta con la experiencia, la intuición o el sentido común, sino que es necesario fundamentarlas en un conocimiento sistemático de las características antropométricas, psicológicas y fisiológicas del hombre, que se convierte así en objeto de análisis técnico para inferir leyes de comportamiento bajo condiciones técnicas y ambientales bien definidas.

Su estudio y aplicación constituye el objeto de una nueva rama de la Ingeniería, cuya función es conseguir que la concepción de las máquinas, de los sistemas, de los métodos de trabajo y de los ambientes artificiales, tome debidamente en consideración la seguridad, la comodidad y la productividad de quienes hayan de utilizarlos.

El antecedente lejano de esta tecnología hay que buscarlo en los métodos de la organización científica del trabajo introducidos a comienzos de siglo por el ingeniero norteamericano Frederic Taylor con objeto de mejorar la productividad del trabajo que dieron lugar al movimiento llamado "taylorismo".

Pero fue a partir de la Guerra Mundial, cuyos nuevos sistemas de armas suscitaron importantes problemas de adaptación y exigieron el concurso de muchos especialistas en psicología y fisiología, cuando empezó a configurarse en su actual concepción esta nueva rama de la ingeniería que hoy se enseña en muchos centros de los países avanzados y que en los Estados Unidos se designa como ingeniería de los Factores Humanos, en tanto que en Europa y otros muchos países se prefiere llamarla



Ingeniería Ergonómica, por apelación a la raíz griega de su contenido: ley del trabajo.

Para completar esta exposición sería necesario hacer referencia a otras tecnologías así como a otros aspectos del tema. A continuación enuncio algunos de los más señalados, en espera de que puedan comentarse con mayor detenimiento en otra ocasión.

En primer lugar está la cuestión de los nuevos instrumentos operativos para las aplicaciones de las nuevas tecnologías. Se trata, por ejemplo, de la Teoría General de Sistemas; de la Teoría de la Información de Shannon; del Análisis Operacional; de los métodos CAD/CAM para el proyecto y la fabricación asistidos por ordenadores donde nuestro país ha hecho algún desarrollo de proyección internacional; finalmente, de los métodos de simulación de sistemas a través de modelos en ordenador.

En segundo, los medios materiales y humanos de desarrollo tecnológico; su organización, dotación y relación con la investigación científica. Precisamente hace dos meses, la Real Academia de Ciencias ha presentado un informe al Gobierno español con el punto de vista de la Corporación sobre los aspectos fundamentales de una política nacional para la ciencia y la tecnología.

En tercer, la incidencia social y económica de la innovación tecnológica, materia que está siendo objeto de especial atención durante los últimos tiempos, a causa de la crisis en 1973 y cuyo tratamiento teórico arranca de los trabajos del

famoso economista Schumpeter, hace cuarenta años.

Por último, deberían considerarse el alcance, los métodos y los resultados de la prospectiva tecnológica y de la valoración de sus efectos directos y secundarios, en aspectos tales como los riesgos y la ecología, que tanto están sensibilizando a la opinión pública. Cuestiones ambas sobre las que se han acumulado durante las últimas décadas un cierto cuerpo de doctrinas y no pocas experiencias.

A primera vista podría sorprender que a las tecnologías del futuro se asocie el nombre de alguien que falleció hace casi medio siglo: Don Leonardo Torres Quevedo, virtualmente el más antiguo de los ingenieros que se han evocado a lo largo de este ciclo.

Y sin embargo está bien justificado hacerlo por la naturaleza de las realizaciones técnicas en que plasmó los frutos de su fecunda inventiva, así como por su visión y tratamiento de los problemas que hubo de resolver para conseguirlo.

Al comienzo de esta conferencia, el Profesor Sánchez del Río nos ha ofrecido una breve semblanza de tan ilustre ingeniero, por lo que voy a limitarme a glosar aquellos aspectos de sus invenciones que guardan más directa relación con nuestro tema. Haciéndolo además concisamente, porque en este caso disponemos, por fortuna, de una descripción muy ilustrativa y amena de la obra de Torres Quevedo que ha editado no hace mu-

cho el Instituto de España, escrita por el Profesor García Santesmases, gran conocedor del tema.

Por otra parte las concepciones de Torres Quevedo están bien documentadas en las Memorias que presentó en varias ocasiones a las Academias de Ciencias de Madrid y París, así como en los Informes que emitieron sobre ellas, con los más favorables pronunciamientos, las comisiones de académicos designados al efecto, de las que formaron parte algunos de los más prestigiosos científicos de entonces.

Torres Quevedo poseía una sólida formación matemática y técnica que adquirió en la Escuela de Ingenieros de Caminos, en Madrid, y completó en París. Estaba además dotado de una gran capacidad inventiva, cuyas ingeniosas manifestaciones sometía a la rigurosa disciplina del análisis científico, que aplicaba con un gran sentido del realismo de las cosas. Y estas facultades las aplicó, además, a dominios tecnológicos cuya actualidad es hoy mayor que en su época, haciéndolo con plena conciencia de la significación futura de las áreas que exploraba, y procurando traducir siempre sus ideas en realizaciones concretas y tangibles que acreditasen la viabilidad práctica de sus inventos.

Para ello renunció pronto a su carrera profesional en la Administración del Estado, consagrando todo su tiempo y empeño al desarrollo de sus iniciativas, esfuerzo que vio públicamente reconocido en el Laboratorio de Mecánica Aplicada, más tarde de Automática, que el Estado creó para apoyar sus trabajos. La iniciativa para esta creación corresponde al Ate

neo de Madrid en 1906 y la apoyaron entre otras muchas personalidades, nombres tan ilustres como Menendez y Pelayo, Ramón y Cajal, Menendez Pidal, etc. Hoy, el Instituto Leonardo Torres Quevedo, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, rinde homenaje a su memoria.

Don José Warletta, al referirse en este ciclo a la Ingeniería Aeronáutica española, explicó la contribución de Torres Quevedo a la Aeronáutica mediante los dirigibles semidirigidos de su invención, de los que se construyó un número considerable en Francia e Inglaterra, durante la Guerra Europea. Fue Don José Echegaray quien informó en términos muy encomiásticos el rigor del análisis científico del proyecto, contenido en la Memoria que su inventor presentó a la Real Academia de Ciencias de Madrid.

Otro de los campos al que aportó el esfuerzo de su inventiva fue el de los transbordadores teleféricos, cuyo uso para transportar personas era entonces una novedad, que plasmó primero en el del Monte Ulía de San Sebastián, desaparecido hace años. Más tarde, con base en el éxito de este proyecto, llevó a cabo una de sus más famosas realizaciones: el Funicular del Niágara, inaugurado en 1916 y aún en servicio, que permite transportar cerca de cincuenta personas a través de una luz de 550 metros y cuya construcción y explotación corrieron a cargo de una compañía española promovida por el inventor.

Pero el dominio más directamente relacionado con las tecnologías que hoy nos ocupan y al que Torres Quevedo consagró lo mejor de su capacidad es el de la Automática, cuya concepción y fundamentos desarrolló en un célebre trabajo titulado "Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones", que publicó en la Revista de

la Academia de Ciencias, en enero de 1914, cuando llevaba muchos años trabajando sobre estas materias, acerca de algunas de cuyas aplicaciones había presentado diversas Memorias en las Academias de Madrid y de París. Las áreas a que aplicó preferentemente sus ideas fueron las máquinas de calcular y la teledirección, así como los autómatas jugadores de ajedrez, a los que ya hicimos referencia.

Los recursos técnicos disponibles para sus proyectos de automática, en una época en que la electrónica estaba aún en sus comienzos, fueron la mecánica pura, en sus primeras calculadoras analógicas, para las que encontró soluciones verdaderamente originales como el famoso "husillo sin fin", uno de cuyos modelos puede verse en la Academia. Más tarde, la electromecánica le permitió incorporar circuitos de conmutación esenciales para los automatismos, mediante el empleo de relés. Con ellos proyectó y construyó máquinas de tipo digital, es decir, de igual naturaleza y estructura que las actuales, si bien su carácter electromecánico y no electrónico limita enormemente su capacidad, como vimos al referirnos a la ENIAC. Hay que señalar, no obstante, que las máquinas digitales de cálculo electromecánico se usaron en el mundo hasta bastante después de la Guerra Mundial, cuando se generalizaron las electrónicas de transistores.

Por último, la combinación de la electromecánica con la radiotelegrafía le llevó al campo de la dirección a distancia, mediante el desarrollo del célebre "telekino" que inicialmente abordó pensando en la navegación aérea y cuya realización práctica ensayó con pleno éxito, para los barcos, en 1906, ante el Rey Don Alfonso XIII, en el puerto de Bilbao. Creo que a Torres Quevedo le hubiera encantado sa-

ber que cuarenta años después de su célebre "telekino", un avión norteamericano despegó, cruzó el Atlántico y aterrizó, sin que el piloto tuviese que poner sus manos en los mandos en ningún momento. Por cierto que también propuso aplicar el telekino al guiado de torpedos, una de las municiones guiadas con precisión de que hemos hablado antes, pero la idea fue desestimada por la Marina.

En el campo de la Automática, Torres Quevedo fue un inventor prematuro por las limitaciones de la técnica cuando lo abordó y porque la demanda social de sus inventos era prácticamente inexistentes en su época, tanto dentro como fuera de España. Luego vendrían la Guerra Mundial, la explosión de la electrónica y el triunfo de la Automática que con tan certera visión él y algunos otros adelantados supieron anticipar.

Con esta Conferencia se cierra el presente ciclo sobre la Ingeniería Española en el siglo XX. En él hemos pretendido atraer su atención hacia cuestiones que deben conocerse en una Sociedad tan condicionada por la técnica, e ilustrar la contribución de la Ingeniería española a la transformación de nuestro país así como su colaboración más allá de nuestras fronteras. Lo hemos hecho mostrando algunas de sus realizaciones y evocando la obra de ingenieros ilustres que ya no están entre nosotros.

Pero no hablamos sólo de Historia, porque muchos otros ingenieros emulan hoy con esfuerzo y con éxito el ejemplo de aquellos maestros, confirmando bien fehacientemente que la

vieja polémica sobre la capacidad española para la ciencia y la tecnología carece de fundamento.

Un último, extenso, original y documentado estudio sobre esta polémica hoy enterrada es el discurso de recepción en la Real Academia de Ciencias, leído en 1949 por el eminente ingeniero industrial Don José Antonio de Artigas, fallecido hace pocos años y muy digno de recordación por sus valiosas contribuciones a la ingeniería española en los campos de la enseñanza, la ciencia, la tecnología y la cooperación internacional.

REFERENCIAS

- 1.- "Robótica Industrial". Cuadernos CDTI, 1982.
- 2.- D'Ignazio, F.: Working Robots. E.P. Dutton, Inc., Nueva York, 1982.
- 3.- Ayres, R.V. y Miller, S.M.: Robotics. Applications and Social Implications. Ballinger Publishing Co., Cambridge Mass., 1983.
- 4.- Myers, J., Holm, C. y McAllister, R.: Handbook of Ocean and Underwater Engineering. McGraw Hill Book Co., Nueva York, 1969.
- 5.- Gatland, K.: Space Technology. Salamander Books Ltd., Londres, 1981.
- 6.- Rey Pastor, J.: La Ciencia y la Técnica en el descubrimiento de América. Colección Austral, Madrid, 1942.
- 7.- Deitchman, S.J.: Military Power and the Advance of Technology. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado, 1983.
- 8.- Koenig, W.J.: Weapons of World War 3. Bison Books Ltd., Londres, 1981.
- 9.- Arcangelis, M. de: Historia de la Guerra Electrónica. Editorial San Martín, Madrid, 1983.

- 10.- Kock, W.E.: The Creative Engineer. Plenum Press, Nueva York, 1978.
- 11.- "Microelectronics", Scientific America, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1977.
- 12.- "El microprocesador en la Industria", Cuadernos CDTI, Madrid, 1983.
- 13.- Dertouzos, M.L. y Moses, J.: The Computer Age: A Twenty-Year View. The MIT Press, Cambridge, Mass., 1980.
- 14.- Martin, J.: Future Developments in Telecommunications. Prentice-Hall Inc., 1977.
- 15.- García Santesmases, J.: Obra e Inventos de Torres Quevedo, Madrid, Instituto de España, 1980.
- 16.- Artigas y Sanz, J.A. de: Nuestra Cultura en la Ciencia. Real Academia de Ciencias, Madrid, 1949.



# FUNDACION JUAN MARCH

## SERIE UNIVERSITARIA

### TITULOS PUBLICADOS

### Serie Roja

(Geología, Ciencias Agrarias, Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo)

- 3 Velasco, F.:  
**Skarns en el batolito de Santa Olalla.**
- 6 Alemán Vega, J.:  
**Flujo inestable de los polímeros fundidos.**
- 9 Fernández-Longoria Pinazo, F.:  
**El fenómeno de inercia en la renovación de la estructura urbana.**
- 13 Fernández García, M.<sup>a</sup> P.:  
**Estudio geomorfológico del Macizo Central de Gredos.**
- 15 Ruiz López, F.:  
**Proyecot de Inversión en una empresa de energía eléctrica.**
- 23 Bastarache Alfaro, M.:  
**Un modelo simple estático.**
- 24 Martín Sánchez, J. M.:  
**Moderna teoría de control: método adaptativo-predictivo.**
- 31 Zapata Ferrer, J.:  
**Estudio de los transistores FET de microondas en puerta común.**
- 33 Ordóñez Delgado, S.:  
**Las Bauxitas españolas como mena de aluminio.**
- 35 Juvé de la Barreda, N.:  
**Obtención de series aneuploides en variedades españolas de trigo común.**
- 36 Alarcón Alvarez, E.:  
**Efectos dinámicos aleatorios en túneles y obras subterráneas.**
- 38 Lasa Dolhagaray, J. M., y Silván López, A.:  
**Factores que influyen en el espigado de la remolacha azucarera.**
- 41 Sandoval Hernández, F.:  
**Comunicación por fibras ópticas.**
- 42 Pero-Sanz Elorz, J. A.:  
**Representación tridimensional de texturas en chapas metálicas del sistema cúbico.**
- 43 Santiago-Alvarez, C.:  
**Virus de insectos: multiplicación, aislamiento y bioensayo de Baculovirus.**
- 46 Ruiz Altisent, M.:  
**Propiedades físicas de las variedades de tomate para recolección mecánica.**
- 58 Serradilla Manrique, J. M.:  
**Crecimiento, eficacia biológica y variabilidad genética en poblaciones de dípteros.**
- 64 Farré Muntaner, J. R.:  
**Simulación cardiovascular mediante un computador híbrido.**
- 79 Fraga González, B. M.:  
**Las Giberelinas. Aportaciones al estudio de su ruta biosintética.**
- 81 Yáñez Parareda, G.:  
**Sobre arquitectura solar.**
- 83 Díez Viejobueno, C.:  
**La Economía y la Geomatemática en prospección geoquímica.**
- 90 Pernas Galí, F.:  
**Master en Planificación y Diseño de Servicios Sanitarios.**

- 97 Joyanes Pérez, M.<sup>a</sup> G.:  
**Estudio sobre el valor nutritivo de la proteína del mejillón y de su concentrado proteico.**
- 99 Fernández Escobar, R.:  
**Factores que afectan a la polinización y cuajado de frutos en olivo (*Olea europaea* L.).**
- 104 Oriol Marfá i Pagés, J.:  
**Economía de la producción de flor cortada en la Comarca de el Maresme.**
- 109 García del Cura, M.<sup>a</sup> A.:  
**Las sales sódicas, calcosódicas y magnésicas de la cuenca del Tajo.**
- 112 García-Arenal Rodríguez, F.:  
**Mecanismos de defensa activa en las plantas ante los patógenos. Las Fittoalexinas en la interacción *Phaseolus vulgaris*-*Botrytis cinerea*.**
- 114 Santos Guerra, A.:  
**Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la isla de Hierro (islas Canarias).**
- 120 Vendrell Saz, M.:  
**Propiedades ópticas de minerales absorbentes y su relación con las propiedades eléctricas.**
- 123 Pulido Bosch, A.:  
**Datos hidrogeológicos sobre el borde occidental de Sierra Nevada.**
- 137 Berga Casafont, L.:  
**Estudio del comportamiento reológico de la sangre humana. Aplicaciones al flujo sanguíneo.**
- 146 Arribas Moreno, A.:  
**Distribución geoquímica de los elementos en trazas de los yacimientos españoles del tipo B. G. P. C.**
- 172 García Hoffmann, M.:  
**Sobre el estudio y diseño de protocolos de comunicación.**
- 202 Fernández de la Cruz, M. N.:  
**Vulcanismo permo-carbonífero en la Cordillera Ibérica (Rama Occidental).**
- 205 Pliego Alfaro, F.:  
**Morfogénesis del Aguacate (*Persea Americana*, Mill.) in vitro.**
- 208 Veintemillas Verdaguer, S.:  
**Crecimiento del  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  a partir de soluciones hirvientes.**





