

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

# DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

EL DÍA 17 DE DICIEMBRE DE 1947

POR EL

EXCMO. SR. D. ANTONIO TORROJA Y MIRET

Y

# CONTESTACION

DEL

EXCMO. SR. D. JOSE G. ALVAREZ UDE



M A D R I D  
DOMICILIO DE LA ACADEMIA: VALVERDE, 22  
TELEFONO 21-25-29  
1 9 4 7



# DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. ANTONIO TORROJA Y MIRET

SEÑORES ACADÉMICOS:

**E**NVUELTA en fina paradoja, que refleja el sutil espíritu que la dictara, la bella sentencia del Solitario de Port-Royal expresa una profunda realidad: «El corazón tiene razones que la razón no comprende.» Y estas razones del corazón, que Pascal vindica agudamente, razones sentidas más que pensadas, más intuídas que razonadas, pero no menos claras y concluyentes en la vida que aquellas otras que la razón formula: raciocinio y abstracción, en el frío ámbito del puro conocer, son las que inspiran al hombre en sus acciones, consciente o inconscientemente, con harta mayor frecuencia de la que él mismo llega a advertir.

Por eso, a nadie que conociendo esta egregia Corporación, supiera de vuestro recto pensar y vuestro noble sentir, pudo sorprenderle mi designación como miembro numerario de ella, ni habrá de extrañarse ahora al verme acudir, agradecido y confuso, a recibir la más alta distinción que un hombre de estudio puede alcanzar. Tan claras son las razones que lo abonan. Y no es preciso para descubrirlas traer al recuerdo fríos preceptos reglamentarios, ni trabajos científicos, ni tareas profesionales. ¿Quién pudo pensar ni por un momento que fuesen méritos que en mí existieran los motivos de vuestra elección? Nadie en verdad. Pero basta evocar la figura de quien compar-

tió con vosotros por más de veinticinco años las tareas de esta Corporación, para él tan querida, y cuyo recuerdo aun perdura en ella, rodeado de sentido afecto, al cabo de otros tantos, para comprender que al llamarme ahora a vuestro lado, como al honrarme hace casi treinta años con el nombramiento de académico corresponsal, habeis querido tan sólo rendir un delicado y postrer homenaje a la memoria de Eduardo Torroja y Caballé, mi inolvidable padre. Es cierto que al tiempo de mi elección se encontraba ya entre vosotros desde hacía largos años y honrado con cargo de especial confianza el primogénito de aquel a quien queríais honrar; pero sin duda habeis querido ahora, bordeando preceptos reglamentarios que exigen en los académicos cualidades y condiciones que en mí no existen, que precisamente la ausencia de méritos del elegido hiciera más patente el significado de vuestra elección, y su misma sinrazón palmaria diera especial valor al homenaje que con ella os proponíais rendir. Razones del corazón que la razón no comprende.

Y a esta conducta vuestra, inspirada por el afecto, había de responder la mía, en que el sentimiento vela también los fríos dictados de la razón y me trae a este puesto, que nunca de otro modo me hubiera atrevido a ocupar. Sobrado es quizá mi atrevimiento en ello; permitidme, pues, para exculparlo, una brevísima evocación.

Fué en los albores de mi vida, no cumplidos aún los tres años, cuando mi padre era elegido miembro numerario de esta Corporación, en la cual hacía su ingreso dos años después. Por ello, desde los primeros vislumbres de mi razón, el nombre de esta Real Academia apareció siempre ante mis ojos, que se abrían interrogantes a la vida, como algo ligado estrechamente a la persona de mi padre; como algo que participaba en cierto modo del prestigio, inefable para un hijo, de su misma

autoridad y que estaba enaltecido todavía por la singular estima que él le profesaba. Y de esta sincera estima hacia la Academia es muestra bien clara el hecho de que mi padre, hombre de estudio silencioso y de labor callada y oscura, modesto y recoleto, que jamás buscó cargos ni recompensas, que declinó honores y rehuyó cuanto pudiera suponer preeminencia, no vaciló un momento en acudir al llamamiento de la Academia, al ser elegido miembro numerario de ella, leyendo un discurso de ingreso en que, bajo la expresión contenida y sobria, habitual en su carácter, se advierte una honda emoción; tan honda quizá como su entusiasmo por la Geometría pura, vocación de su vida entera, cuyas bellezas ensalzó en aquel discurso con un entusiasmo insospechado en su temperamento, reposado y severo al exterior. Y desde aquella fecha, a todo lo largo de un cuarto de siglo, la asiduidad de mi padre a las sesiones de la Academia, su prontitud en aceptar las tareas que se le encomendaban, su respeto por las normas de la Corporación, su rectitud en la elección de nuevos académicos y el afecto, en fin, por la Academia que en sus palabras y en su proceder entero se manifestaba, fueron una enseñanza constante y de autoridad insuperable para mí, que gravó en mi espíritu juvenil la veneración y el afecto hacia esta egregia Corporación: que reúne en cada hora los más altos valores científicos de la Patria y que en su actuación sobria y serena, regida por viejas normas, y en la sucesión nunca interrumpida de sus miembros, conserva y transmite el tesoro de la tradición, que es el alma de los pueblos. Comprenderéis, pues, cuán hondos son los sentimientos de respeto y afecto que hacia esta Real Academia me inclinan y hasta qué punto han tenido que influir en mi proceder ante ella, como antes he confesado.

Y traído por tales sentimientos acudo hoy aquí, ante vosotros, a recibir la alta merced que vuestra bondad me otorga,

a tantos recuerdos para mí enlazada; orgulloso de dar un paso más tras las huellas de mi padre, al ocupar como él un puesto en vuestras filas, aun a trueque de que algún día, dominando en vosotros la razón sobre el afecto, lleguéis a advertir el exceso de mi presunción y haya de acogerme a vuestra indulgencia para ocultar el sonrojo de mi osadía. Razones del corazón que la razón no comprende... pero sabe disculpar.

Y cumplido este deber de gratitud hacia vosotros y de homenaje filial a mi buen padre, a cuyas enseñanzas debo cuanto soy y cuyo recuerdo ha venido en un gesto postrero a abrirme las puertas de esta casa, que él frecuentara por tantos años, voy a ocupar unos momentos vuestra atención con unas sencillas consideraciones en torno de *La Matemática en la formación técnica superior*.

No habrá de extrañar el tema. Consagrada mi actividad profesional, desde hace más de treinta años, a la enseñanza de algunas ramas de la Matemática a las juventudes universitarias, no he olvidado por ello los años ya lejanos, cargados de ilusiones, que a mi formación técnica consagrara en la Escuela de Ingenieros de Minas, ni se han roto los lazos legales y afectivos que a los compañeros de tal especialidad me unen. Como son antiguas también y fraternas las relaciones que me ligan a la Escuela de Ingenieros de Caminos. Y han sido cordiales siempre y muy frecuentes las que mi estancia en Barcelona me ha deparado con la Escuela de Ingenieros Industriales que en aquella ciudad radica. Por eso, las relaciones de la Matemática con la formación técnica superior han sido objeto con frecuencia de mis reflexiones y de mis palabras; no creo extemporáneo mi deseo de razonar ahora en voz alta unos momentos ante vosotros sobre una cuestión que por tantos conceptos me afecta.

No he de hacerlo, sin embargo, sin una advertencia previa. Y es ella que en mis observaciones no he de referirme a cuestiones concretas de organización de Escuelas técnicas, ni a sus relaciones mutuas y con la Universidad, ni a planes de estudios y programas, ni siquiera al difícil problema, básico en todas ellas, de la acertada selección de sus alumnos por medio de las pruebas de ingreso y el lugar que la Matemática haya de ocupar en tales pruebas. Cuestiones son éstas que, dada la organización de las profesiones técnicas en nuestra Patria, se enlazan con otras profesionales y administrativas, complejas y delicadas, en cuya discusión carezco de autoridad para entrar. Ni sería discreto hacerlo en este lugar, santuario de la Ciencia en toda su elevación y en toda su pureza, donde las cuestiones han de ser estudiadas tan sólo desde puntos de vista generales y elevados. Y sólo de un modo general y en abstracto es como he de considerar la formación exigida en el técnico superior por los nuevos problemas que los avances de la Técnica plantean.

\* \* \*

Que la resolución de los problemas planteados por la Técnica en los tiempos actuales exige conocimientos científicos extensos y elevados, es cosa harto patente y que acentúan de día en día los mismos avances ya logrados. Con la circunstancia de que los recursos necesarios para resolver un determinado problema son a las veces totalmente inconexos con éste, al parecer, y exigen al técnico el conocimiento y aplicación de una rama de la Ciencia bien alejada de su propia especialidad. ¿Quién pudiera haber pensado, por ejemplo, que la difracción de los rayos X hubiera de ser un instrumento precioso para medir las tensiones producidas en una pieza, en Resistencia de materiales; o la moderna teoría astronómica de las órbitas

periódicas el instrumento matemático adecuado para el estudio de las máquinas síncronas, en Electrotecnia; o una sencilla pompa de jabón la que permitiera resolver, en el Cálculo de estructuras, problemas diversos de torsión en piezas de sección cualquiera? Y como éstos son multitud los ejemplos que muestran la amplitud y diversidad de los conocimientos científicos que en cualquier momento puede el técnico necesitar hoy día para la resolución de sus problemas. Vosotros lo habreis advertido constantemente en vuestros estudios teóricos y en vuestros trabajos profesionales y no he de tener la pretensión ridícula, bien lejana de mi intención, de enseñaros nada a tal respecto; pero habreis de permitirme traer aquí algunos casos bien conocidos de ello, que sirvan de base a las conclusiones que en estos momentos me propongo exponer.

Y limitándome a cuestiones afines con mi modesta formación técnica, recordemos, por ejemplo, los magníficos avances realizados modernamente en Metalurgia y, en particular, la obtención de nuevas aleaciones, dotadas de propiedades valiosísimas para máquinas herramientas y para Aviación. Y observemos que tales avances, imposibles de lograr por medio de ensayos empíricos como antaño, han exigido al técnico y han de exigirle cada vez más en el futuro, aparte de los conocimientos clásicos de soluciones sólidas, estados alotrópicos, ley de las fases, diagramas de equilibrio, etc., el conocimiento profundo de la estructura cristalina de los metales y sus aleaciones y la teoría cuántica de su constitución atómica. Ello implica, por lo que a la estructura cristalina se refiere, el estudio del sistema cristalino de cada elemento; la ubicación de sus átomos (en los centros de las celdas unitarias o en los centros de sus caras); la disposición de los planos reticulares;

los radios de los átomos, o mejor, de sus esferas de acción respectivas; las formas de combinación de átomos distintos en una aleación, según sea aleación por sustitución o aleación intersticial; las relaciones entre los radios de los átomos para que sean posibles las unas y las otras (según los trabajos de Evans, Mabbott y Hägg, la diferencia entre los radios de dos átomos ha de ser inferior al 15 % del mayor para que puedan formar aleaciones por sustitución y superior al 41 % para que sean posibles las intersticiales); la ley de Vegard relativa a la dimensión característica o parámetro de la celda unitaria, fundamental en estas cuestiones; etc. Y por lo que toca a las modernas teorías físicas sobre la constitución del átomo, también el técnico necesita adentrarse en ellas para conocer las leyes que rigen las aleaciones metálicas y las causas que influyen en sus propiedades técnicas. Así ha podido encontrar Hume-Rothery, por ejemplo, la relación que enlaza algunas propiedades de las aleaciones con ciertas características atómicas y establecer, como regla muy general, que independientemente de la naturaleza de los metales que integran una aleación, la estructura de ésta es  $\beta$ ,  $\gamma$  o hexagonal densa, según que la relación entre el número de electrones de valencia y el número de átomos sea respectivamente 3 a 2, 21 a 13 ó 7 a 4. Como ha sido posible explicar diversas propiedades de los metales y sus aleaciones por la ausencia de enlaces rígidamente covalentes en el estado metálico, en el cual las fuerzas de cohesión parecen ser debidas a la acción del campo eléctrico triplemente periódico creado por los cationes de los metales sobre los electrones de valencia; fuerzas de cohesión interpretadas por Pauling como un fenómeno de resonancia. No existiendo enlaces rígidos de átomo a átomo en el estado metálico, es posible variar entre ciertos límites las distancias interatómicas, muy pequeñas en él, sin alterar la estructura de la masa metálica, dan-

do lugar a las reacciones elásticas que caracterizan el material desde el punto de vista de la Resistencia de materiales. Y el hecho de no estar rígidamente adscrito cada electrón de valencia a un determinado ión positivo, hace que tales electrones formen una atmósfera de electrones libres, a modo de un gas degenerado, cuya facilidad de movimientos (conductividad eléctrica) depende de la regularidad de la malla cristalina y de la vibración térmica de los iones metálicos. Pero no basta la simple consideración de esta atmósfera de electrones para interpretar las propiedades del estado metálico, sino que es preciso aplicar a los electrones libres de los cristales metálicos el principio de exclusión de cuaternas iguales de números cuánticos que Pauli formulara para los electrones de un átomo y calcular los estados energéticos permitidos en ellos por la Mecánica ondulatoria y que dan origen a las llamadas zonas de Brillouín, cuyos valores, formas y relaciones son necesarios para explicar muchas propiedades de los metales y de sus aleaciones. Como es fundamental la circunstancia de que los electrones de valencia que forman la atmósfera mencionada no absorben energía al ser calentada la masa metálica, para interpretar el efecto de los tratamientos a que puede ser ésta sometida con objeto de dotarla de propiedades técnicas prefijadas.

Son estos y otros conocimientos de Física teórica los que, al dar una base firme al estudio de los metales y sus aleaciones, han permitido al técnico intuir el mecanismo de su constitución, según la ubicación y estructura de los átomos de sus diversos componentes, y la causa última de sus propiedades técnicas, ligadas estrechamente a las leyes que rigen los movimientos de los electrones y los núcleos atómicos, a la situación de los átomos en la red cristalina y a la disposición y condiciones de sus planos reticulares de mayor o menor densi-

dad atómica: planos de deslizamiento o de fractura. Y con ello han permitido, por una parte, prever la influencia que en dichas propiedades ha de tener una determinada variación en las proporciones de los elementos que integran la aleación o la introducción en ella de algún elemento nuevo; conduciendo así al descubrimiento de las magníficas aleaciones actuales e incluso al cálculo previo de su composición para que tengan determinadas propiedades técnicas (aleaciones precalculadas). Y por otra, han facilitado el conocimiento e incluso la medida de las modificaciones que en la estructura de una aleación producen los diversos tratamientos térmicos y mecánicos a que puede ser sometida, enseñando así a utilizar éstos con mayor eficacia para obtener propiedades técnicas prefijadas en aquélla.

Como permiten de igual modo diagnosticar la causa de muchas fracturas producidas en elementos constructivos o de máquinas y señalar la manera de evitarlas, al revelar los defectos de estructura que las han producido.

Y son también análogos conocimientos de Ciencia pura los que habrán de revelar al técnico el proceso íntimo de las modernas aleaciones en polvo o por incrustación, que tan prometedoras perspectivas ofrecen.

Pero estos estudios de Física teórica, de tanta importancia técnica, exigen a su vez el conocimiento y manejo de teorías físicas diversas y métodos experimentales, múltiples y complejos, indispensables hoy día al técnico en sus trabajos, y entre los cuales recordaremos tan sólo, como ejemplo, los relativos a la difracción de los rayos X por los cristales, que la genial intuición de Laue descubriera. En ellos, como es sabido, un haz monocromático de rayos X, de longitud de onda comparable a las distancias interatómicas, es difractado por un cristal actuando como retículo, o mejor, por un polvo

de cristales, según la técnica de Hull-Debye-Scherrer, y recibido en una película sensible. Los ángulos de difracción deducidos del röntgenograma así obtenido permiten calcular, por medio de la ley de Bragg ( $n \lambda = 2 d \sin \theta$ ) y a través de sutilezas de interpretación nada sencillas, las orientaciones y distancias mutuas de los planos reticulares, y fijar con ellos la posición de los átomos de cada uno de los elementos que integran la aleación, es decir, la estructura cristalina de ésta, que sirve de base a las investigaciones técnicas antes recordadas. Sin que sea ésta la única, ni la más importante aplicación técnica de la difracción de los rayos X, absolutamente necesaria también para el estudio de los diagramas de equilibrio de los sistemas metálicos, así como para la observación de las irregularidades en el interior de una masa metálica y para el estudio de su estructura y de las modificaciones que en ella producen los tratamientos térmicos y mecánicos.

Constituye, pues, la difracción de los rayos X, y eventualmente también la difracción electrónica para el estudio de fenómenos de superficie (oxidación, corrosión, lubricación, galvanostasia, catálisis de superficie, etc.), un instrumento tan necesario hoy día al técnico como el manejo del microscopio para todo trabajo de investigación metalográfica. Siendo de advertir que los estudios sobre fracturas, que tanta importancia han adquirido modernamente, utilizan también al presente otro instrumento de alta ciencia: el microscopio electrónico, con aumentos de 50.000 a 100.000 diámetros, gracias al método de Heindenreich, llamado del molde de silicio, que reproduce los detalles de la fractura en una lámina de 200 angstroms de espesor, observable por transparencia.

Pasando a otro orden de cuestiones, recordemos que el problema fundamental que considera la Elasticidad en todas

sus aplicaciones es la determinación de las tensiones producidas en el interior de una pieza al aplicarle determinadas fuerzas exteriores. Pues bien, un instrumento valioso para medir experimentalmente tales tensiones es también la difracción de los rayos X, que al permitir el cálculo de las distancias entre los planos reticulares antes y después de aplicar las fuerzas exteriores, permite calcular la deformación unitaria en cualquier dirección y con ello la tensión correspondiente. Basta dirigir el haz de rayos X de una cámara de reflexión posterior sobre la superficie de la pieza, debidamente preparada, en dirección normal a la superficie y en una dirección a  $30^\circ$  de ésta, contenida en el plano que definen la normal y la dirección superficial en la cual se busca la tensión, y medir los ángulos de difracción que el röntgenograma obtenido revela, para poder calcular la tensión buscada. Y aun puede obtenerse ésta, según el método Thomas, con una sola observación a  $30^\circ$  de la normal, si es posible fijar con suficiente aproximación el centro del röntgenograma.

Este método de trabajo, utilísimo en multitud de casos, está limitado, sin embargo, por la presencia de microtensiones de alguna importancia en la pieza y sólo permite medir las macrotensiones en puntos aislados de la superficie de ésta. Ello basta para comprobar las hipótesis que han servido de base al cálculo teórico de las tensiones, otorgando a éste garantía suficiente para su aplicación. Pero cuando el técnico necesita determinar experimentalmente la distribución general de las tensiones en el interior de la pieza, para suplir su cálculo teórico, impracticable por su complejidad, ha de acudir a la Fotoelasticidad, que tanta importancia adquiere de día en día y cuyo fundamento, de todos conocido, es la doble refracción accidental. Cuando se trata de un sistema plano, un modelo reducido de la pieza que ha de ser estudiada, rea-

lizado con una substancia homogénea, isotrópa, transparente, birrefringente bajo carga, ampliamente elástica y libre de tensiones iniciales, es sometido en su contorno a fuerzas proporcionales a las que han de actuar sobre la pieza y observado o fotografiado a través de un polarizador y un analizador de condiciones adecuadas. Aparecen entonces dos sistemas de líneas llamadas isoclinas e isocromas, aparte de las líneas neutras. Las primeras son el lugar geométrico de los puntos en los cuales las direcciones de las tensiones principales son paralelas a los planos de polarización y recorren toda la superficie de la placa al variar la orientación de éstos. Las isocromas (para cuya observación se pueden eliminar las primeras con la interposición de dos láminas de cuarto de onda) son independientes de la posición de polarizador y analizador, señalan los puntos en los cuales la diferencia de fase de los dos rayos, ordinario y extraordinario, es constante, y permiten calcular, aplicando la ley de Wertheim, la diferencia entre las dos tensiones principales, proporcional al retardo de fase entre los dos rayos en cada punto. El trazado de las isostáticas permite entonces juzgar del estado de tensiones de la pieza y, en muchos casos, fijar la forma más conveniente de ésta. Pero cuando se buscan los valores de las dos tensiones principales en cada punto, cuya diferencia es conocida por las isocromas, es preciso hallar su suma, y ello requiere a su vez, si no se consideran suficientes los métodos experimentales: ópticos, eléctricos o mecánicos, de Favre, Tank, Mesnager, Peterson, etc., la resolución, directa o aproximada, del problema de Dirichlet; sea sobre el mismo contorno dado, sea previa la transformación de éste en otro más adecuado mediante los recursos de la representación conforme: métodos de Coker, Föppl, Terradas, Neuber, etc. Cuando el sistema no puede ser asimilado a una pieza plana, los recursos teóricos que la cuestión exige

son los mismos que en el caso anterior; pero la técnica operativa es más compleja y delicada, reduciéndose en esencia, según el método aplicado por Solakian, a construir el modelo reducido con una substancia que permita, una vez aplicadas las fuerzas exteriores, congelar, por así decirlo, las deformaciones y efectos ópticos producidos, sometiéndole a variaciones adecuadas de temperatura, y cortar después el modelo en placas de espesor suficientemente pequeño para que las tensiones puedan considerarse constantes a través del mismo, estudiándose cada una de ellas en la forma anteriormente indicada y reconstruyendo finalmente el sistema total de tensiones en la pieza.

Pero no es sólo la estructura general lo que define las condiciones técnicas de un material; son también de capital importancia en él las oquedades, fisuras y superficies de discontinuidad que en su masa puedan encontrarse. Y para descubrirlas acude hoy día el técnico a las vibraciones ultrasónicas; que producidas mediante un cuarzo piezo-eléctrico, reflejadas en dichas irregularidades y recogidas en otro cuarzo semejante, suministran un oscilograma, cuyo análisis señala la importancia y la posición de aquéllas. Como son en otros casos el empleo de los rayos  $\beta$  o la producción en la pieza de un campo magnético circular, cuyas irregularidades se acusan al exterior, los que permiten conocer los defectos existentes en el interior del material.

Y los tratamientos por envejecimiento, no bien explicados todavía, a pesar de los trabajos de Fink y Smith, como los fenómenos de histéresis y de fatiga, de tanta importancia práctica, han de exigir sin duda nuevos instrumentos teóricos y experimentales de investigación para ser debidamente cono-

cidos, dada la complejidad del fenómeno, influido por todo el conjunto de fuerzas interatómicas e incluso quizá por el spin del electrón.

Como el estudio de las arcillas, para su mejor utilización en las obras hidráulicas, requiere la aplicación de la teoría de los coloides y de las leyes que expresan la variación de sus propiedades con la concentración del electrolito, que ha permitido determinar por peptización la composición granulométrica de los elementos finos existentes en un terreno y utilizar por coagulación las arcillas como elemento impermeabilizante.

Y el simple vulgar fenómeno de la retracción del hormigón, que tanto influye en la manera de comportarse este material en las construcciones y que ha sido objeto de estudios muy interesantes por parte del eminente ingeniero Freyssinet, ha de exigir sin duda, para ser debidamente conocido y prácticamente utilizado, el conocimiento de los fenómenos de superficie que entre las fases sólida, líquida y gaseosa tienen lugar en el interior del pseudo-sólido y del equilibrio termodinámico entre ellas y la aplicación de las teorías relativas a la tensión superficial, la adsorción y las fuerzas moleculares, que en ella intervienen con toda su complejidad.

Algunos desastres ocurridos en puentes colgantes y producidos, al parecer, por la acción del viento, que provoca una oscilación torsional del tablero, han requerido estudios matemáticos detenidos y ensayos en túnel aerodinámico para demostrar que ello es debido a la sección en H que forman el tablero y las barandillas o vigas de rigidez, sección especialmente sensible a tales vibraciones, y puede ser evitado dando a estas vigas una forma curvada o aerodinámica.

En ocasiones el técnico se encuentra ante problemas cuyo estudio teórico es imposible por las dificultades que ofrece su desarrollo matemático y ha de acudir a otros problemas que

tengan la misma expresión matemática que aquél y cuya realización material permita la determinación experimental de los valores buscados. Así, es bien conocida la determinación de las tensiones en el interior de una pieza sometida a torsión, por las flechas medidas en una membrana de jabón de contorno igual al de la sección de la pieza; o por los recorridos de las partículas líquidas, en movimiento irrotacional, contenidas en una vasija de igual forma; o por los valores que toma el potencial eléctrico en los distintos puntos de una placa de la misma forma con valores dados en el contorno. Como pueden hallarse las funciones de Airy, que aparecen en tantos problemas de Elasticidad plana, por la forma que toma una placa plana con determinados momentos en su contorno.

Y volviendo a cuestiones propias de la Minería, recordemos la amplitud e importancia de los métodos de flotación para la concentración de minerales metálicos, como para la selección de carbones, que han permitido el aprovechamiento de minerales de baja ley (minerales de cobre, plomo, zinc, etcétera) e incluso el mejoramiento de los procesos de obtención de éstos. Tales métodos se basan esencialmente en el empleo de sustancias capilarmente activas, que al provocar la formación de espuma, hacen que ésta arrastre consigo las partículas metálicas, separándolas de la ganga silíceo o calcárea que las envolvía. Ahora bien; la actividad de dichas sustancias depende de la presencia en su molécula de un grupo hidrófilo o un grupo hidrófobo (en general, liófilo o liófobo); los primeros, a consecuencia del momento dipolar inherente a su constitución, son atraídos por un medio de constante dieléctrica elevada (el agua en este caso) y de ellos son ejemplo las agrupaciones  $-\text{CH}_2$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{NO}_2$ , etc.; los hidrófobos, en

cambio, de constitución electrostáticamente compensada, como los radicales alcohólicos y los hidrocarbonados, no gozan de tal propiedad. Y la elección racional de las sustancias capilarmente activas adecuadas para el tratamiento de un determinado mineral, las modalidades de su empleo y la resolución de los problemas que éste plantea, exigen el conocimiento teórico de tal fenómeno y de las características anejas a la constitución molecular de dichas sustancias, como base para el estudio experimental de las condiciones óptimas para su empleo.

Como exigen los métodos industriales de catálisis, de tan extensa aplicación hoy día, el conocimiento teórico de todos los factores que intervienen en el proceso; ya que el cálculo de la capacidad más conveniente de las cámaras catalíticas en una determinada instalación, la regulación de las velocidades de las mezclas reaccionantes, las adecuadas condiciones de trabajo en cuanto a presión, temperatura, etc., exigen el cálculo teórico previo de las velocidades de reacción, constantes de equilibrio, calores de activación y demás características de todos los elementos que en ella intervienen.

Sin que pueda evitarse el químico, en ocasiones, el tener que aplicar conocimientos de Biología, referentes, por ejemplo, a enzimas o fermentos, cuya acción catalítica específica constituye el método industrial más conveniente, por no decir el único (recuérdese el caso del ácido butírico, por ejemplo), para la obtención de ciertos desdoblamientos hidrolíticos, de gran interés práctico hoy día y cuyo mejoramiento implica investigaciones detenidas sobre las condiciones de aquellos microorganismos.

Ejemplos todos, entre tantos otros elegidos, de la amplitud y diversidad de los conocimientos científicos que en cualquier

momento puede el técnico necesitar para la resolución de sus problemas específicos.

\* \* \*

Y viniendo a la Matemática en particular, sabido es cuán diversas son al presente las teorías y cuán numerosos los métodos matemáticos que ofrecen aplicaciones técnicas de interés destacado y cómo gran número de aquellas teorías y de estos métodos, y no de los menos elevados por cierto, han sido creados precisamente para satisfacer las necesidades de la Física o de la Técnica en sus diversas ramas. Desde las series de Fourier y el análisis armónico a las funciones de variable compleja, la representación conforme y los problemas de contorno; desde las funciones elípticas, hiperelípticas y de Bessel a la teoría de matrices y el análisis tensorial; desde las ecuaciones en diferencias finitas a las ecuaciones integrales, lineales o no, de aplicación creciente en la Técnica. Y el vastísimo capítulo de las ecuaciones diferenciales, ordinarias y en derivadas parciales, que abarcan casi toda la Técnica, con sus métodos analíticos, numéricos y gráficos de resolución. Y las ecuaciones de Lagrange; y el principio de Hamilton; y el cálculo de variaciones; y el cálculo funcional; y los métodos estadísticos; y la teoría de grupos; y las transformaciones de contacto.

Y la ecuación no lineal del péndulo amortiguado, que se encuentra al estudiar la estabilidad de las máquinas síncronas, en las cuales las oscilaciones pendulares del inducido representan el movimiento del péndulo. Y los problemas de Dirichlet, de Neumann y mixto, aplicados en Elasticidad, Electroestática, Hidrodinámica, etc. Y la moderna teoría de las órbitas periódicas y el famoso problema de los tres cuerpos, que tienen su análogo en el cálculo de las máquinas síncronas, en las cuales

la resistencia interna equivale a la excentricidad de las órbitas y la rotación del inducido introduce los mismos coeficientes periódicos de las ecuaciones diferenciales que plantea el movimiento en torno de ciertos ejes en casos particulares del problema de los tres cuerpos. Y las ecuaciones cuasi-diferenciales e integrales de Cotton, que aparecen en el estudio de las oscilaciones longitudinales de las locomotoras. Y las ecuaciones en derivadas parciales de 8.º orden, con condiciones límites expresadas por ecuaciones diferenciales de 4.º, que exige el análisis de los fenómenos oscilatorios de los transformadores. Y los métodos estadísticos particulares, necesarios para el estudio de las pérdidas por ventilación en las máquinas eléctricas.

Y el cálculo operacional de Heaviside, rigurosamente demostrado hoy día con la teoría de las funciones de variable compleja o las ecuaciones integrales, y aplicado constantemente en el estudio de circuitos eléctricos y en el de la transmisión del calor, así como en Sismología y, en general, en los fenómenos mecánicos, eléctricos y térmicos en que intervienen causas súbitas. Y la ecuación integral de Carson y las transformaciones de Laplace y de Schwarz. Y las integrales de Bromwich, exigidas por los problemas técnicos (de vibraciones, por ejemplo, o de transmisión por cable) representados por ecuaciones en derivadas parciales que introducen operadores no lineales. Y los espacios no riemannianos, cuya aplicación al cálculo de máquinas eléctricas valió un señalado éxito a Gabriel Kron, el famoso ingeniero norteamericano. Y los teoremas de Poincaré sobre ecuaciones diferenciales analíticas y los trabajos recientes sobre ecuaciones integrales no lineales, que facilitan el estudio de problemas técnicos de análoga condición.

Y el extenso capítulo de los métodos de resolución aproximada de problemas técnicos cuya expresión matemática no

permite lograrla exacta. Métodos por iteración generalmente, en que no es posible de ordinario demostrar su convergencia ni fijar el límite del error, habiéndose de contentar el técnico con juzgar de aquélla por la regularidad de los resultados provisionales sucesivos y presumir éste por las diferencias entre cada dos resultados consecutivos. Método de Runge para el análisis armónico. Métodos de Picard, Runge-Kutta y Milne para sistemas de ecuaciones diferenciales de primer orden o reducibles a ellos. Métodos de Fredholm y Volterra y Schmidt-Hilbert para ecuaciones integrales lineales y de Lalesco para las que no lo son. Métodos de Ritz y Galerkin para problemas de contorno. Métodos de Rayleigh y Grammel para los de valores propios. Métodos por sustitución o por cálculo de diferencias. Método de las oscilaciones. Métodos de Halzer y Porter para el estudio de vibraciones por torsión. Métodos de Love, Hadamard, Vianello, Timoshenko, Rayleigh-Ritz, Kayser y tantos otros para problemas de pandeo, de tan extenso contenido en la Técnica, y para los de vibraciones, de análoga importancia y estrechamente ligados con aquéllos.

Son, entre tantos otros, capítulos y más capítulos de la Matemática pura, apenas enunciados en rapidísimo recuerdo, cuyo auxilio es hoy exigido por la Técnica para la resolución de sus problemas. Y no son tan sólo las ramas de la Técnica que, como la Elasticidad o la Electrotecnia, pueden considerarse como Física aplicada las que requieren el auxilio de la Matemática superior; porque también los progresos de la Química industrial en sus diversas ramas necesitan el concurso de la Química física, en la cual es ya obligado el manejo de polinomios de Legendre y de Laguerre y teoría de grupos y operadores y matrices hermiticas y valores propios y extremales e invariantes. Hasta tal punto llega la necesidad de la Matemática en la Química moderna, que una

obra reciente de Química cuántica (\*), debida a los eminentes profesores de las Universidades de Princeton y Columbia, Eyring, Walter y Kimball, comienza con la siguiente afirmación, que toda la obra confirma: «En el mismo grado en que es cierta la Mecánica cuántica, es cierto que las cuestiones de Química son simples problemas de Matemáticas aplicadas». Es, pues, vastísimo el conjunto de conocimientos científicos: físicos, químicos, geológicos, biológicos, etc., que hoy requiere la investigación técnica superior y, como base e instrumento de todos ellos, son exigidos inexcusablemente cada día las teorías y los métodos matemáticos más dispares y elevados, para conseguir los nuevos avances que la Técnica persigue (\*\*).

\* \* \*

Ahora bien; ante una tal amplitud de conocimientos científicos y, en particular, matemáticos exigidos por la investigación técnica en tal o cual fase de su desarrollo, ¿cabe pensar que pueda el técnico superior adquirir en los años de su formación todos los que haya de necesitar más tarde para el estudio de los nuevos problemas que su profesión le presente?

---

(\*) H. Eyring, J. Walter, G. E. Kimball: *Quantum Chemistry*. (New York, 1944.)

(\*\*) Una idea de las teorías y los métodos matemáticos exigidos hoy por la Técnica puede adquirirse consultando, entre otras, las obras siguientes:

Navarro Borrás, F.: *Curso superior de Análisis matemático para ingenieros* (Madrid, 1942).

Kármán, T. y Biot, M. A.: *Análisis matemático en Ingeniería* (Madrid, 1945).

Sokolnikoff, I. S. y Sokolnikoff, E. S.: *Higher Mathematics for Engineers and Physicists* (New York, 1941).

Oberdorfer, G.: *Lehrbuch der Elektrotechnik* (Band II, München-Berlin, 1944).

Doherty, R. E. y Keller, E. G.: *Mathematics of Modern Engineering* (New York, 1945).

Reddick, H. W. y Miller, F. H.: *Advanced Mathematics for Engineers* (New York, 1947).

Runge, C. y König, H.: *Numerisches Rechnen* (Berlín, 1944).

Courant, R. e Hilbert, D.: *Methoden der Mathematischen Physik* (Berlín, 1937).

Margenau, H. y Murphy, G. M.: *The Mathematics of Physics and Chemistry* (New York, 1946).

Así formulada la cuestión, parece evidente que su contestación ha de ser negativa, por mucho que esos años de formación quieran prolongarse. Máxime teniendo en cuenta que en ellos ha de adquirir además y sobre todo los conocimientos técnicos y la formación práctica que el ejercicio de su profesión ha de exigirle. Y observando también que es muy difícil prever, durante los años de formación, cuáles son los problemas particulares que en su vida profesional habrá de encontrar y cuáles, por tanto, las teorías y los métodos matemáticos que en su resolución necesitará aplicar. Los conocimientos adquiridos durante sus años de formación no pueden abarcar todos los que más tarde habrá de necesitar y será inútil, para conseguirlo, ampliar más y más los programas y dar al técnico futuro más y más teorías matemáticas; que no llegarán acaso a interesarle, desligadas de su aplicación técnica inmediata, y que no podrá, por su extensión, llegar a asimilar cumplidamente. Con el peligro de que no llegue nunca a utilizar la mayor parte de ellas y en cambio necesite otras que en tal momento no pudieron ser previstas.

El problema, pues, no es fácil de resolver y ha de agravarse de día en día, ya que no es otra cosa que una consecuencia de la creciente amplitud de los conocimientos humanos, que obliga al hombre a limitar cada vez más el campo de los que él puede cultivar, si éstos han de ser realmente fructíferos. Y la trascendencia del problema no puede escapar tampoco a la consideración de nadie. Sin una profunda preparación científica y en particular matemática, no es posible la investigación técnica de altos vuelos. Sin investigación constante y eficaz no hay progreso técnico. Y sin progreso técnico no hay posibilidad de lucha razonable en el campo industrial y económico. Quiérase o no, la Técnica domina hoy día la vida de los pueblos y las relaciones entre ellos. Y aun olvidan-

do por un momento la visión alucinante de la bomba atómica y de otras posibles armas de guerra, sabido es que la potencia de un pueblo en el orden económico se apoya en su nivel técnico e industrial principalmente, más que en sus condiciones geográficas e incluso que en sus riquezas naturales.

La cuestión es, pues, de la mayor importancia. ¿Cómo dar al técnico superior la difícil preparación exigida por la moderna investigación? Dos parece que pueden ser los caminos para lograrlo; caminos que coinciden en lo que a los años de formación se refiere y que pudieran condensarse en forma quizá paradójica en la siguiente frase: Menos Matemáticas y más espíritu matemático. Me explicaré.

Si se admite, y ello parece evidente, que no es posible hoy día dar al futuro técnico en los años de su formación todas las teorías y los métodos matemáticos que pueda necesitar más tarde para el estudio de los nuevos problemas que se le presenten, el camino que se ofrece como más hacedero es el de darle una formación intelectual que le permita en todo momento adquirir con facilidad los conocimientos requeridos por el problema o grupo de problemas técnicos a que su especialización profesional le conduzca. Al reunir los elementos de trabajo de todo género: teóricos y prácticos, bibliográficos y de laboratorio necesarios para su investigación, habrá de incluir entre ellos los conocimientos científicos y en particular matemáticos de que esa investigación precise. Parece lo más natural y lo más sencillo y es lo que han venido haciendo constantemente quienes en caso semejante se han encontrado.

Claro es que ello no deja de ofrecer alguna dificultad. Porque, por una parte, para saber cuáles son los métodos matemáticos más adecuados para la resolución de un determina-

do problema, es necesario tener ya un conocimiento suficiente de tales métodos y, por otra, el estudio concienzudo de éstos supone un retraso en los trabajos de investigación, no siempre compatible con las necesidades de la industria o del progreso técnico en la vertiginosa hora presente. Pero el obstáculo no es tan grave como puede parecer, porque ha de admitirse, en primer lugar, que el técnico, tras de los habituales tanteos a la terminación de sus estudios, se habrá orientado hacia un determinado campo de trabajo dentro de su propia especialidad y que, por tanto, la formación matemática complementaria que haya de adquirir como base para sus trabajos le será suficiente, salvo ligeras aunque constantes ampliaciones, para un largo período de su actividad investigadora. Y por otro lado, aunque los problemas que se proponga estudiar sean nuevos, no dejarán de ser más o menos similares a otros ya conocidos; y una adecuada preparación bibliográfica podrá orientarle respecto de las teorías y los métodos matemáticos que hayan de serle más útiles en su estudio.

Salvada esta dificultad y admitida la orientación indicada, la preparación matemática que, en mi sentir, convendrá dar al técnico durante sus años de formación, para que más tarde pueda completarla sin grave esfuerzo con los conocimientos exigidos por los nuevos problemas que haya de estudiar, habría de estar definida por una menor extensión de conocimientos matemáticos y una mayor profundidad de los mismos. Desde el momento en que no es posible dar al técnico todas las teorías matemáticas que puede necesitar más tarde, parece preferible restringir el número de las que adquiriera a cambio de poderlas estudiar más a fondo; en el sentido de que en ellas se expongan con la máxima claridad y toda la precisión posible los conceptos fundamentales de la Matemática, las líneas directrices de sus teorías, el carácter de sus métodos y la for-

ma de interpretar con ella la realidad material. Ello implica atender en la selección de las teorías que hayan de ser estudiadas, no tanto a su inmediata aplicación a la Técnica, cuanto a su carácter básico en el conjunto de la Matemática aplicada; procurando suministrar con ellas al técnico una visión de conjunto de ésta, de su espíritu y de sus métodos y, sobre todo, una formación intelectual que le hagan más fácilmente asequibles las teorías matemáticas que en cualquier momento haya de estudiar. Y ello aunque hayan de sacrificarse quizá el desenvolvimiento detallado de las teorías estudiadas y el formalismo de cálculo que su aplicación práctica pueda exigir. No quiere esto decir, claro está, que no hayan de estudiarse algunas teorías hasta llegar a su aplicación práctica, incluso numérica; ni que haya de omitirse, antes al contrario, la aplicación de tales teorías al estudio de problemas técnicos concretos, ya tales aplicaciones son medio efficacísimo para aclarar y precisar los conceptos teóricos; sino que la orientación fundamental no ha de ser tanto la de habilitar al técnico para resolver sin nueva preparación los problemas que puedan presentársele, cuanto el darle una formación intelectual con la cual pueda completar fácilmente los conocimientos matemáticos que para ello necesite en cualquier momento.

Una dificultad no pequeña ofrece para esto el no poder adivinar durante los años de formación cuáles son los futuros técnicos que habrán de ocuparse en el ejercicio corriente de la profesión y cuáles los que habrán de dedicar su actividad a una labor investigadora, ya que la orientación propuesta para el estudio de la Matemática equivale a una más completa y profunda preparación remota del técnico, pero en perjuicio al parecer de la preparación próxima que le habilite para el ejercicio inmediato de la profesión. Es ello consecuencia ineludible

de la preparación conjunta de unos y otros técnicos, porque si bien la investigación está ligada estrechamente con la práctica de la profesión, no es la misma la preparación matemática que una y otra requieren. El técnico dedicado al ejercicio corriente de la profesión estudia, resuelve y aplica, normalmente, problemas iguales en su estructura matemática a otros estudiados y resueltos ya y condensados en fórmulas y normas conocidas; aplicando conocimientos matemáticos totalmente elaborados, concretados con valores numéricos y reducidos a fórmulas prácticas. Mientras el técnico consagrado a la investigación estudia fundamentalmente y, si puede, resuelve y aplica problemas nuevos y cuya solución exige por ello teorías y métodos ya existentes pero no aplicados con anterioridad en aquel campo de la Técnica, y a veces teorías y métodos que precisamente han de crearse con tal objeto. Quiere ello decir que el profesional sabe de antemano, salvo en casos de excepción, cuáles son las teorías matemáticas que en el ejercicio de su actividad habrá de aplicar, mientras el investigador no tiene tal fortuna. El primero podría limitarse, por ello, a estudiar unas teorías matemáticas determinadas, orientando directamente su estudio hacia la aplicación práctica de las mismas por medio de métodos y fórmulas conocidas, y teniendo como ideal el quedar capacitado a la terminación de sus estudios para encargarse, sin nueva preparación, de las tareas profesionales que puedan serle encomendadas. Mientras el investigador ignora los recursos matemáticos que exigirán los problemas que habrá de estudiar y ha de orientar sus estudios, por tanto, hacia la adquisición de una sólida formación matemática, que le permita asimilar en cada momento las nuevas teorías que sus trabajos de investigación le exijan y crear los métodos y fórmulas necesarios para su normal empleo en la práctica de la profesión.

Ello plantea, pues, el delicado problema de la preparación conjunta o separada de ambos tipos de técnicos; problema de gran transcendencia para la industria y que exige un detenido estudio por parte de quienes han de resolverlo, para evitar soluciones precipitadas y simplistas. En los países que van a la cabeza del progreso técnico, en los cuales el problema está planteado también y agudizado cada día por los mismos avances de la Técnica y el aumento constante de los recursos científicos que ésta exige para resolver sus nuevos problemas, la solución que parece imponerse es la de separar ambos tipos de técnicos desde los años de su formación; separación facilitada allí por la elasticidad que tienen los planes de estudios en tales países. Pero sin dudar de que sea éste un ideal, al cual habrá de conducir forzosamente el progreso técnico y que quizá pueda implantarse gradualmente desde ahora en aquellas técnicas en que la naturaleza de éstas lo aconseje, preciso es tener en cuenta, al pensar en nuestra Patria, en las diferencias que existen entre nuestro desarrollo industrial y económico y el de aquellos países, y las condiciones tan diversas que ello impone en la actividad técnica de unos y otros. Sin que pueda olvidarse tampoco la diversa preparación que en unos y otros países reciben quienes ostentan el título de ingenieros.

Esta cuestión es de aquéllas, por otra parte, ligadas a organización de Escuelas e incluso de profesiones, que me he propuesto no abordar en estas páginas, para limitar el campo de mis reflexiones. Prescindiendo, pues, de su examen particular, referiré éstas a la actual organización de los estudios técnicos en nuestra Patria, abarcando en ellas la formación conjunta de los técnicos superiores, tanto de los que más tarde han de dedicarse a la práctica normal de la profesión, como de aquellos que han de consagrarse a la investigación.

La dificultad resultante de la formación conjunta de unos y otros, real sin duda y digna de estudio, no es tan grave, sin embargo, como parece, teniendo en cuenta, sobre todo, el elevado nivel científico de nuestras Escuelas técnicas superiores. Porque ni al técnico profesional que en ellas estudia podrá dejar de serle muy útil, como luego veremos, la formación intelectual que se obtiene con un estudio cuidadoso de los conceptos y los métodos fundamentales de la Matemática, ni el futuro investigador perderá nada con un estudio completo, hasta desembocar en el formulario, de algunas teorías matemáticas que sirvan para aclarar y precisar los conceptos fundamentales y estén elegidas entre las que sean de aplicación más característica en la práctica de la profesión. A más de que la separación entre la actividad profesional y la investigadora no es tajante, claro está; todo profesional ha de ser investigador en ocasiones y todo investigador es profesional en alguna parte de su actividad. Y el problema actual está en conseguir una formación matemática que para uno y otro tipo de actividad sea suficiente y no abrumadora.

Pues bien, de las anteriores reflexiones parece deducirse que la formación matemática más adecuada para el técnico superior, en conjunto, es un estudio cuidadoso de los conceptos fundamentales de la Matemática, de sus teorías básicas y de los métodos clave que dan origen a los métodos particulares de aplicación. Pero no un estudio intuitivo y ligero, con miras inmediatas hacia ábacos y fórmulas, sino un estudio detenido, profundo; sin largas demostraciones ni teoremas de existencia, pero con el máximo rigor posible, para habituar al técnico al estudio riguroso y preciso de todas las cuestiones que más tarde haya de tratar. Y eligiendo las teorías que han de ser estudiadas, no tanto por su aplicación inmediata a la práctica de la profesión, cuanto por su carácter fundamental en la Mate-

mática y por ser las más aptas para dar al técnico la formación matemática de carácter básico y general que necesita. Lo cual no ha de impedir, antes al contrario, que estas teorías se apliquen a la interpretación de fenómenos técnicos, con objeto de aclarar y precisar con ello los conceptos matemáticos y de habituar al técnico al análisis riguroso de dichos fenómenos. Y que se estudien en todo su desarrollo formal, hasta llegar a fórmulas prácticas y valores numéricos, aquellas de entre estas teorías que sean de aplicación más interesante en el ejercicio de la profesión.

En esta forma, quedará el técnico capacitado para resolver inmediatamente un menor número de problemas quizá de entre los que el ejercicio corriente de la profesión ofrezca; pero tendrá una sólida preparación matemática fundamental, con la cual podrá completar rápidamente los conocimientos necesarios para resolver todos los problemas corrientes y podrá asimilar además sin demasiado esfuerzo los métodos matemáticos más elevados, necesarios para el estudio de los nuevos problemas que la Técnica plantee, es decir, para la investigación. Y, sobre todo ello, tendrá una formación intelectual de precisión, rigor y claridad, que es la base de toda actividad técnica superior. No creo necesario insistir sobre ello, ya que más tarde habré de volver sobre esta cuestión.

\* \* \*

Otro camino para resolver la cuestión planteada respecto de la formación del técnico superior, en vista de la enorme extensión de conocimientos científicos y, en particular, matemáticos que los nuevos problemas exigen, puede consistir en aplicar a la investigación técnica en su grado superior la división del trabajo que hoy domina en tantos órdenes de la actividad humana y que en el orden intelectual recibe el nombre de es-

pecialización. Aplicada a nuestro caso, quiere ello decir que la investigación técnica superior no sería realizada por los técnicos solos, sino auxiliados por un grupo de científicos: matemáticos, físicos, químicos, geólogos, biólogos, etc., que habrían de estudiar y resolver la parte que a cada uno de ellos compete en los problemas planteados por la Técnica. Esta es la organización adoptada desde hace años ya en las grandes entidades industriales de diversos países: Siemens, Westinghouse, Bell Telephone, General Electric, United Steel, Crane, etc. Y no parece aventurado afirmar que es ésta la orientación que los avances de la Técnica han de imponer con más fuerza cada día. En las grandes contiendas actuales (y el progreso técnico es una de las más duras y de mayor trascendencia) el esfuerzo individual aislado es poco eficaz. Para que la investigación técnica sea realmente fructífera, parece cada día más necesario que sea obra de un grupo de investigadores que mutuamente se complementen, trabajando en estrecha colaboración.

Así organizada la investigación, no serían los técnicos sino los matemáticos que con ellos colaboraran quienes habrían de resolver los problemas matemáticos surgidos de la investigación técnica. Y la cuestión que nos habíamos planteado queda así, al parecer, automáticamente resuelta: el técnico no habrá de preocuparse ya de la Matemática.

Es ello un error total, sin embargo. Porque hay dos pasos en la investigación, entre otros, que incumben especialmente al técnico, que sólo él puede y debe realizar: el planteamiento del problema matemático y la interpretación de sus resultados. Y esta doble y difícil misión exige en el técnico, para ser debidamente cumplida, no un extenso conocimiento de métodos de resolución de problemas matemáticos, sino una sólida y aguda formación intelectual y matemática. Lo cual nos conduce, como ya habíamos indicado, a la misma conclusión

esbozada anteriormente, por lo que a los años de formación se refiere.

La primera función señalada al técnico es llegar al planteamiento concreto del problema matemático, que expresa en el lenguaje de las fórmulas el problema técnico propuesto. ¿Qué supone ello? Supone, ante todo, realizar un análisis cuidadoso y completo del fenómeno técnico, para fijar las magnitudes, constantes y variables, que lo definen; investigar las causas que intervienen en el fenómeno y los efectos que cada una produce; escoger de entre ellas las que sean fundamentales, prescindiendo de las demás o aplazando su consideración para tener después en cuenta sus efectos como correcciones del fenómeno fundamental; fijar las leyes de acción de cada una de las causas elegidas, es decir, la relación cuantitativa entre cada causa parcial y sus efectos; y llegar a extraer así de la complejidad casi infinita del fenómeno real, un esquema del mismo que permita su interpretación matemática. Que no otra cosa es el planteamiento matemático de un problema técnico. Y de la importancia y dificultad que este planteamiento suele ofrecer, puede dar fe la autorizada opinión de N. O. Myklestad, del Guggenheim Aeronautical Laboratory y del California Institute of Technology, que en su reciente obra sobre vibraciones (\*) declara textualmente: «La mayor parte del tiempo consumido en resolver un problema técnico es el empleado en reducir el complejo sistema real que en él interviene a un esquema simple.» Y téngase en cuenta que tal afirmación se refiere concretamente a problemas de vibraciones por torsión aplicados a ejes de motores (velocidades críticas) y alas de

---

(\*) Myklestad, N. O.: *Vibration Analysis*. New York, 1944.

aviones (flameo del ala), que no son precisamente un modelo de sencillez en su resolución matemática.

Ahora bien; el proceso intelectual de análisis y abstracción que el planteamiento matemático del problema supone, no **requiere** quizá una gran extensión de conocimientos matemáticos; pero **exige una** precisión de ideas, rigor de razonamiento y agudeza de análisis, que **no** son otra cosa que las características esenciales de la Matemática que hemos querido expresar con las palabras: espíritu matemático.

Y una cosa análoga sucede con la segunda función específica que al técnico hemos asignado: la interpretación de los resultados obtenidos por el matemático en su estudio. Estos resultados han de ser, claro está, confrontados con la experimentación. Si concuerdan con ella, sólo falta sacar las consecuencias prácticas que en ellos se encierran y expresarlas en normas precisas y en fórmulas numéricas. Pero si no concuerdan, es preciso revisar y corregir las bases de planteamiento del problema matemático, rectificando la elección de las causas que se habían considerado fundamentales para el fenómeno o las leyes de acción de las mismas; con la consecuencia probable de tener que **aumentar** el número de aquellas causas y **dar una** forma más compleja a estas leyes. Veintitrés son las causas que se tienen en cuenta hoy día al estudiar las oscilaciones longitudinales de las locomotoras, y los efectos de cada una de ellas sólo por métodos analíticos pueden ser dilucidados. Y en el cálculo de los motores síncronos son diez las reactancias consideradas corrientemente, cuando hace pocos años se creía suficiente considerar dos. Y el llegar a discriminar, entre todas las posibles hipótesis, cuáles son las causas del desacuerdo entre los resultados del cálculo y los **de la** experimentación, es decir, la interpretación correcta de

los resultados deducidos del problema matemático, es labor que exige la misma formación intelectual de precisión, rigor y agudeza de análisis que su planteamiento.

Pero hay otra cosa. Para plantear el problema matemático e interpretar sus resultados no es preciso saberlo resolver; pero sí es preciso tener claros los conceptos fundamentales de las teorías en que se basa y las líneas generales de éstas. Si la cuestión técnica estudiada conduce a una ecuación diferencial o un sistema de ellas, como es el caso más frecuente, no necesitará el técnico conocer el proceso formal de su resolución; pero sí le es imprescindible saber cómo se originan estas ecuaciones, cuál es su significado, qué son soluciones generales, particulares o singulares, qué son condiciones límites o de contorno, qué significado físico tienen las constantes o las funciones de integración, etc., etc. Todo lo cual no es otra cosa que la formación matemática de carácter fundamental anteriormente considerada.

Y aún hay más. Otro paso delicado del proceso que conduce al planteamiento matemático del problema y que es misión específica del técnico puntualizar, es la significación física de las condiciones matemáticas que se admiten y las hipótesis que en el problema técnico se establecen implícitamente al aplicar determinados procesos matemáticos en su resolución. El hecho de que el matemático, por ejemplo, al resolver el problema, derive una, dos, o en vez una función o tenga en cuenta infinitamente pequeños de tal o cual orden tan solo, supone unas determinadas condiciones físicas que él desconoce y que el técnico debe aquilatar. Es trivial el caso de que al buscar una solución distinta de la  $0, 0, 0, \dots$  en el sistema de ecuaciones que plantea el pandeo de las barras de una celosía, el hecho de eliminar ciertas incógnitas para re-

solver el sistema, puede ocultar soluciones en que estas incógnitas no sean cero, siéndolo las restantes, y que representen justamente las condiciones de pandeo buscadas. Como es bien sabido que el despreñar, en el planteamiento del problema de pandeo, los infinitamente pequeños de orden superior al primero, como parece obvio, implica automáticamente que las figuras de equilibrio que se encuentran sean de equilibrio neutro, en contra de la realidad, y no pueda decidirse cuál es la figura de equilibrio que corresponde al valor de la carga; siendo preciso introducir las derivadas de orden superior de los recorridos para determinar las posiciones de equilibrio estable más allá del primer pandeo. Y una cosa análoga sucede al estudiar los modos de vibración de una viga o las velocidades críticas de un árbol en una máquina. La interpretación física de las hipótesis que envuelve la aplicación de un determinado método matemático es cuestión harto delicada y a la cual no suele otorgarse toda la atención que merece en el estudio de la Matemática aplicada; en la confianza de que el problema técnico, por ser real, ha de tener una solución propia, fácilmente discernible en los resultados. Y esta cuestión para ser debidamente aquilatada, exige en el técnico la misma formación intelectual varias veces indicada.

Parece, pues, deducirse, como consecuencia de las reflexiones expuestas, que dada la enorme extensión de conocimientos matemáticos que los avances de la Técnica exigen para resolver los nuevos problemas por ella planteados, la preparación que el técnico superior reciba durante los años de su formación ha de ser más en profundidad que en extensión; más que a capacitarle para que pueda resolver inmediatamen-

te los problemas corrientes que la Técnica presenta, ha de orientarse su preparación a darle una formación intelectual y matemática que le permita, en cualquier momento, completar fácilmente sus conocimientos, para abordar con fruto dichos problemas, por elevados que sean, si ha de resolverlos él mismo, o que le habilite para plantearlos matemáticamente y sacar después las consecuencias técnicas de su solución, si es un matemático quien a su lado los ha de resolver. Tal es la conclusión básica que a mi parecer se obtiene.

Y es interesante observar, aunque ello parezca una digresión, que en la enseñanza de la Química industrial, una de las ramas de la Técnica que en los últimos años ha conseguido más fundamentales avances, es esta misma la orientación seguida actualmente en los Estados Unidos de América, en Alemania y en Inglaterra. Hasta no hace muchos años, en los cursos y en los tratados de Química técnica se estudiaban con detalle procesos concretos de fabricación: ácido sulfúrico, carbonato sódico, amoníaco, colorantes, azúcar, porcelanas, etc.; hoy día, en cambio, se estudian en ellos tan sólo y con amplia base teórica, los procesos generales de fabricación, llamados ordinariamente unidades: filtración, evaporación, desecación, destilación, combustible y hornos, transmisión del calor, etc.; en la seguridad de que quien, provisto de una amplia base teórica, domine estas técnicas generales, supuesto conocido, claro está, el mecanismo íntimo del fenómeno al cual han de ser aplicadas, podrá capacitarse rápidamente para dirigir un proceso particular de fabricación. Y es que no deja de ser una ilusión el creer que un técnico, a la terminación de sus estudios, haya de estar habilitado, en general, para encargarse sin más de un trabajo técnico cualquiera; cuajado siempre de mil detalles insignificantes pero necesarios, que sólo la práctica puede enseñar. Si el técnico tiene una sólida formación inte-

lectual y una amplia preparación técnica de carácter general, con gran facilidad se hará cargo de la marcha concreta de cualquier proceso; y si no la tiene, difícilmente llegará a dominarlo en la medida necesaria para lograr en él sustanciales avances.

Aplicado a nuestro caso, quiere ello decir que, en lugar de una preparación matemática, a base de conceptos y razonamientos intuitivos, ábacos, tablas y formularios, que le permita resolver inmediatamente un cierto número de problemas técnicos corrientes, es preferible dar al técnico superior, en cuanto habilitado para una posible labor de investigación, una sólida base de conceptos, teorías y métodos matemáticos fundamentales, estudiados con toda la precisión y el rigor posibles; sin fatigosas demostraciones, que deberán ser omitidas, en general (a condición de no sustituirlas por otras incorrectas y engañosas), pero fomentando el hábito de la precisión en el planteamiento de las cuestiones y del rigor en su estudio; eligiendo las teorías, no precisamente por su aplicación inmediata a tal o cual tipo de problemas técnicos particulares, sino más bien por su carácter básico y de amplia trascendencia en el conjunto de la Matemática; estudiando la relación de las teorías consideradas con la formulación matemática de los fenómenos reales, como medio para precisar conceptos y métodos matemáticos, por un lado, y para habituar, por otro, al correcto análisis de los fenómenos; y desarrollando completamente, de entre estas teorías, hasta llegar a la resolución numérica, aquéllas que sirvan de base para la resolución de algunos problemas técnicos específicos. En una palabra, procurando dar al técnico superior una base matemática amplia y sólida de carácter general y, sobre todo, aquella formación intelectual que el estudio severo de la Matemática proporciona y que está caracterizado por la precisión en los conceptos, el

rigor en el razonamiento y la claridad en la expresión. Es decir: menos Matemáticas y más espíritu matemático.

\* \* \*

Escritas las anteriores páginas, llegó a mis manos impensadamente una interesantísima conferencia pronunciada en 1935 por Robert E. Doherty, Decano a la sazón de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Yale y Presidente en la actualidad del Carnegie Institute of Technology de Pittsburgo (\*). Y esta conferencia comienza recordando otra pronunciada por el insigne Charles Steinmetz, uno de los creadores de la moderna Electrotecnia, como presidente del American Institute of Electrical Engineers, dedicada a la enseñanza técnica en Norte América y cuyo contenido condensa Doherty en las siguientes palabras del propio Steinmetz: «Si fuera totalmente suprimida la mitad o más de la mitad de las materias de Electrotecnia, así como de otras ramas, que nuestro actual sistema docente se esfuerza en enseñar y el resto fuera enseñado de modo que fuese perfectamente comprendido, con especial atención a los principios y métodos generales, el fruto de tal enseñanza sería muy superior al actual y de mayor eficacia en la vida práctica.» Steinmetz resume, pues, la orientación que a su juicio debe darse a la enseñanza técnica en estos tres puntos: reducción de materias, estudio profundo de las restantes y atención especial a los principios y métodos generales. No he de ocultaros que la coincidencia de opinión tan autorizada con las reflexiones expuestas en las anteriores páginas no pudo menos de impresionarme; pero sólo os ruego que no olvidéis sus últimas palabras, refutación anticipada de una

---

(\*) Doherty, R. E.: *An Undeveloped Phase of Engineering Education. General Electric Review* (Vol. 38, núm. 4, 1935).

objeción, que más tarde habré de recoger. Y continúa la conferencia de Mr. Doherty, dedicada precisamente a la formación de los técnicos investigadores en general, haciendo ver la necesidad de atender a ella de modo específico y señalando las condiciones fundamentales que a su juicio debe llenar y que condensa en el cultivo en los futuros técnicos de las seis cualidades siguientes: 1.<sup>a</sup> Hábito del pensamiento científico. Es decir (son palabras de Doherty), capacidad para analizar racionalmente una situación y sacar de ella una conclusión inteligente, constructiva y segura. 2.<sup>a</sup> Expresión clara y lógica. Lo cual es más, dice el autor, que el uso de una fraseología y puntuación correctas, porque envuelve la previa ordenación del pensamiento en una estructura lógica que se traduzca en su exposición. 3.<sup>a</sup> Comprensión auténtica de los conceptos científicos fundamentales. Y agrega: Un conocimiento más o menos vago de las leyes fundamentales de la Física, por ejemplo, puede ser base suficiente para estudiar fórmulas técnicas ya elaboradas y aplicarlas a los problemas típicos de ingeniería; pero en modo alguno es suficiente para el análisis científico de los problemas; el cual exige conocimientos perfectamente ordenados, claros conceptos físicos y una total comprensión del significado de las leyes fundamentales. 4.<sup>a</sup> Perspectiva histórica del desarrollo político, económico y social de los pueblos que más han influido en nuestra actual civilización. 5.<sup>a</sup> Una cultura equilibrada; en la cual incluye una amplia dosis de elementos literarios y artísticos, para evitar que el técnico se convierta en una fría máquina de captar hechos. Y 6.<sup>a</sup> Capacidad para cooperar con otros en actividades comunes; cualidad que a su juicio debe ser fomentada ya en los años de formación.

El tema desarrollado por Doherty en su interesantísima conferencia, es mucho más amplio, como véis, que el considerado en estas mis reflexiones. Por eso prescindo, no sin es-

fuerzo, de comentar los tres últimos puntos por él desarrollados, relativos a una cuestión que constituye en mí una antigua preocupación y que ha sido objeto en ocasión no lejana de unas sencillas reflexiones por mi parte, abogando por que el prestigio del sabio o del técnico o del artista no llegue a hacernos olvidar al hombre que aquel prestigio puede alcanzar. Referida a nuestro caso técnico, la cuestión puede expresarse diciendo, con las propias palabras de Doherty, que en la formación técnica es la primera palabra y no la segunda la que debe tener la primacía. Y considerada en toda su generalidad, constituye actualmente, en opinión de Mr. Richard Pattee, profesor de la Universidad de Washington y miembro destacado de la National Catholic Welfare Conference, uno de los tres problemas fundamentales de las universidades norteamericanas. Y de toda la enseñanza moderna, me atrevería yo a agregar.

Pero limitándonos a la cuestión que en estas páginas me he propuesto considerar, vemos que la orientación señalada por Doherty en los tres primeros puntos referidos, como esencial para la enseñanza técnica superior en Norte América, coincide plenamente con la marcada por Steinmetz: rigor de análisis, claridad de expresión y dominio completo de los conceptos y leyes fundamentales. Y ésta es también la opinión del eminente ingeniero naval Sir William H. White, Director durante muchos años de Construcciones Navales del Almirantazgo inglés, quien al discutir, en una conferencia pronunciada en Cambridge en el último año de su vida, (\*) la conveniencia de dar a los técnicos una formación matemática especialmente

---

(\*) White, W. H.: *The Place of Mathematics in Engineering Practice*. International Congress of Mathematicians (Cambridge, 1912).

orientada hacia sus aplicaciones técnicas o una formación genuinamente matemática y de carácter general, se inclina decididamente por la segunda, basándose en su experiencia como alumno, como profesor y como técnico y aduciendo, como razón para ello, que el estudio a fondo de la Matemática y en general de las Ciencias, desarrolla una mayor amplitud de visión y una mayor capacidad para la investigación técnica original, y previniendo contra los peligros de una prematura especialización en el estudio de los métodos particulares de resolución de problemas matemáticos. Y no es otra la orientación que en Francia mantiene, con su magnífico prestigio la Ecole Polytechnique, que suministra a la selección de técnicos superiores que por sus aulas pasan, una formación científica y en particular matemática, de cuya solidez y altura son exponente los nombres de los grandes matemáticos que han venido rigiendo sus enseñanzas.

Es la misma preocupación en todos por el estudio detenido de los conceptos fundamentales de la Matemática y de sus teorías básicas y métodos generales y, sobre todo, por la formación intelectual que este estudio contribuye a desarrollar y que es esencial para el técnico superior. Porque no ha de olvidarse que si la Matemática es insustituible como instrumento para el estudio cuantitativo de los fenómenos, no es menos importante como esquema de razonamiento y, en tal concepto, es instrumento poderoso de formación intelectual, siempre que en su estudio se atienda principalmente, como aconseja Steinmetz y el mismo Sir White, a los principios y métodos generales, en toda su pureza y con todo rigor, y no a los métodos particulares y abreviados de casuística aplicación.

Siendo de advertir que tal formación intelectual no es sólo de fundamental importancia para el técnico superior consagra-

do a la investigación, sino en cualquier orden de actividad técnica. Y es el mismo Robert E. Doherty, por ejemplo, quien lo afirma de modo rotundo en el prólogo de su reciente obra de *Matemáticas para Ingenieros* (\*); obra publicada, no por una Facultad de Ciencias, ni siquiera por una Escuela de Ingeniería, sino por la General Electric Company para uso de sus técnicos. En ella señala Mr. Doherty el hecho concluyente de que los técnicos que han seguido los cursos superiores organizados desde hace bastantes años por la General Electric Company para su propio personal, destacan lo mismo en el estudio de los problemas técnicos propiamente dichos que en las cuestiones de organización y en los asuntos comerciales. Y agrega: «La cosa que parece pesar más en el campo profesional es una inteligencia cultivada.» (Observad que no dice los conocimientos asimilados por esa inteligencia, sino el hecho de una inteligencia cultivada, es decir, la formación intelectual.) Y continúa: «El lugar preeminente que la Matemática y la Física ocupan en estos cursos superiores no sólo suministra una buena preparación para el trabajo técnico especializado, sino que da también una rigurosa disciplina en el análisis, es decir, en el arte de pensar.»

Aún es más concreto en sus afirmaciones el profesor Karl Pearson, autoridad indiscutible en la enseñanza técnica en Inglaterra, quien escribe: «Durante diez y seis años me he ocupado en formar ingenieros; y aquellos de mis antiguos discípulos que más tarde se han distinguido en su profesión, no son los que insistían en los hechos y las fórmulas, preocupándose tan sólo por lo que en su opinión había de serles útil en la práctica; sino los que ponían atención en el método, los que pensaban más en los razonamientos que en las fórmu-

---

(\*) Doherty, R. E. y Keller, E. G.: *Mathematics of Modern Engineering*. (New York, 1945).

las y aceptaban incluso el estudio de materias especializadas como medio de desarrollar sus hábitos de observación, sin limitarse a coleccionar hechos útiles. Ellos lograron ir más allá de los hechos, los procesos y las fórmulas habituales en la profesión y desarrollaron otros nuevos: hicieron progresar la Técnica. Su conocimiento del método y sus facultades de observación les capacitaron para satisfacer nuevas necesidades y dar lo que de ellos se esperaba; que no eran ciertamente conocimientos estereotipados, sino frutos prácticos de un sólido saber.» A lo cual añade Mr. Pearson, en coincidencia impresionante con Mr. Doherty: «La única especie de formación técnica que la nación necesita es la que consiste en enseñar a los técnicos a ver y a pensar.»

\* \* \*

Si algún temor hubiera tenido ante el resultado de mis propias reflexiones, opiniones tan autorizadas lo hubieran desvanecido. Y el arte de pensar, fundamental según ellos para el técnico superior, es lo que ha de perfeccionar en él principalmente la Matemática, a través de un estudio menos extenso que profundo de sus conceptos, sus teorías y sus métodos básicos. Una preparación matemática casuística y particularizada, a base de tablas, fórmulas y problemas, podrá servir para resolver mecánicamente los problemas usuales y trillados; pero nunca será suficiente para abordar los problemas nuevos, para la investigación. Por eso en la preparación matemática del técnico superior ha de utilizarse esta ciencia como instrumento de formación intelectual tanto o más que como instrumento de resolución de problemas particulares. Es fundamental dar al técnico el hábito de pensar con precisión, de razonar con rigor, de analizar con finura; que son estas las cualidades básicas para todo trabajo técnico de altos vuelos.

No son las únicas, claro está; porque es obvio que sin una amplia base de conocimientos concretos nada podría hacer el técnico en su profesión. Pero estos conocimientos son como los elementos de trabajo y es aquella formación intelectual la que ha de utilizarlos debidamente para lograr el fin propuesto.

Una observación he de hacer aquí para desvanecer una objeción posible. Podría pensar alguno que arrastrado por mis reflexiones he olvidado su finalidad inicial: la formación técnica. Porque un hombre dotado de la preparación matemática amplia y sólida propugnada y de la formación intelectual que ella procura, llegará a ser quizá, pensará alguno, un hombre de ciencia, acaso un hombre de laboratorio, pero nunca un técnico. Y ello sería verdad, si aquella formación fuese exclusiva. Pero claro es que para el técnico ha de ser tal formación la base tan sólo sobre la cual edificar el sistema de conocimientos concretos y datos experimentales que constituyen la esencia de su profesión. Y en esta formación técnica es donde habrá de adquirir el contacto con los hechos y el sentido de la realidad material indispensable para el técnico y cuya importancia fundamental nadie puede desconocer. Lo que yo estimo es que aquella formación básica no será obstáculo, sino ayuda poderosa, para que el técnico interprete debidamente la realidad y sus problemas, con toda la enorme complejidad que presentan. Sin que la precisión y el rigor de su formación matemática, si es consciente, le hayan de inducir a manejar los datos de la realidad y los instrumentos de la Técnica en forma inadecuada a su naturaleza. Un técnico habituado a la precisión y al rigor en sus juicios, no pedirá nunca a los resultados de un problema técnico, por ejemplo, una certeza y una exactitud que no se encuentran en sus datos, aproximados y aleatorios siempre en la Técnica. Ni llegará a olvidar la importancia que los problemas de organización y los aspectos

económicos y sociales tienen siempre en las cuestiones técnicas. El testimonio de Mr. Doherty antes recordado lo proclama con la experiencia, al señalar el hecho de que los técnicos que han seguido los cursos superiores de Matemática y de Física organizados por la General Electric Company destacan después entre sus compañeros, lo mismo en el terreno técnico propiamente tal que en las cuestiones de organización y en los asuntos comerciales. Y esta misma es la opinión de Mr. Pearson, al asegurar que aquellos de sus alumnos que después hicieron progresar la Técnica son los que ponían atención en el método, los que pensaban más en los razonamientos que en las fórmulas y no se limitaban a coleccionar hechos útiles. Y no es otra la opinión de Steinmetz en las palabras subrayadas anteriormente, en las cuales augura a los técnicos con una formación menos extensa, pero más profunda y orientada hacia los principios y métodos generales, un mayor éxito en la práctica. Es la inteligencia cultivada, que pesa sobre todo en la Técnica, según Doherty. Es la capacidad para ver y pensar, a que reduce Pearson en esencia la formación que el técnico necesita.

Y adviértase que con todo ello no pretendo establecer una superioridad de la Matemática sobre otras disciplinas. Nada de eso. Lo que considero de la máxima importancia para el técnico, y para el que no lo es, es aquella formación intelectual, aquel arte de pensar caracterizado por la precisión, el rigor y la claridad; pero estas cualidades, que pueden fomentarse con un estudio adecuado de la Matemática, no son Matemática, ni se logran exclusivamente con el cultivo de esta ciencia, aunque para el técnico sea éste el medio más apropiado para lograrlas. Y aún diré más. La importancia atribuida en las anteriores reflexiones, con un vigor que acaso juzguéis excesivo, al estudio concienzudo de la Matemática y a la formación intelectual,

rigurosa y precisa, que ésta procura, no me hace olvidar que hay algo en la Técnica que no es Matemática, ni es rigor, ni es precisión, ni siquiera un puro razonar y que es indispensable al técnico para ser completo: la intuición técnica. Esa especie de instinto que guía al técnico en sus investigaciones, insinuándole el camino que ha de seguir para alcanzar el objetivo propuesto; y por otro lado le advierte, con fuerza a veces incontrastable, que la solución encontrada para tal o cual problema práctico no puede ser correcta, sino que ha de ser efecto de algún error en el planteamiento o en el desarrollo de la cuestión. Esa intuición que salva al técnico de muchos errores y no pocos fracasos y que sólo es fruto, quizá subconsciente, de muchas obras proyectadas, realizadas y vividas a lo largo de los años. Intuición que debe fomentarse durante los años de formación del técnico, pero que no puede adquirirse en ellos plenamente y cuya consideración detenida no es propia de estas páginas, porque no es fruto del cultivo de la Matemática, sino del correr de la propia vida.

\* \* \*

En resumen: La imposibilidad de que el técnico superior pueda adquirir durante sus años de formación todos los conocimientos matemáticos que más tarde habrá de exigirle la resolución de los nuevos problemas planteados por la Técnica, nos ha llevado a propugnar para él un estudio de la Matemática más intenso que extenso, es decir, un estudio detenido y riguroso de los conceptos fundamentales, las teorías básicas y los métodos generales de esta Ciencia, aun a trueque de reducir para ello la extensión de las materias expuestas, y atendiendo en la selección de éstas a su carácter fundamental en el conjunto de la Matemática aplicada, más que a su utilidad inmediata para la resolución de tal o cual problema técnico

particular. Ello podrá implicar en algún momento una menor preparación próxima para la resolución concreta de algún problema técnico corriente; deficiencia subsanada en gran parte, por lo demás, al cursar las materias técnicas o de aplicación, en que los métodos generales son aplicados. Pero un tal estudio, detenido y riguroso, da, en cambio, al técnico una firme base matemática, que le permite completar rápidamente, si de ello ha menester, los conocimientos necesarios para resolver los problemas corrientes que la profesión le ofrezca y le facilita además el asimilar en todo momento las teorías y los métodos matemáticos más elevados, que la investigación técnica pueda exigirle algún día. Y sobre todo, contribuye a desarrollar en él aquella formación intelectual, caracterizada por la precisión en los conceptos, el rigor en el razonamiento y la claridad en la expresión, que el estudio profundo de la Matemática procura y que los autores citados en estas páginas afirman, con una valentía de concepto y de frase que nunca me hubiera atrevido a emplear, que es la base indispensable de toda labor técnica superior.

En la orientación así marcada, no es, pues, la extensión de las materias lo esencial, sino la acertada selección de éstas y la manera, sobre todo, concienzuda y precisa, de exponerlas y estudiarlas. Es el cómo lo que importa en ella más que el cuánto. Es un estilo, hecho de precisión de concepto y finura de análisis, que ha de informar la enseñanza toda de la Matemática, si ésta ha de ser realmente eficaz. Por eso la orientación con ello expresada es en cierto modo independiente de organización de escuelas y planes de estudios. Y por eso he mantenido mis reflexiones en un terreno general y abstracto, sin entrar en detalles de asignaturas, programas ni materias, para mejor destacar la esencia de la cuestión, que a todos por igual afecta. Ni hubiera sido tampoco discreto en mí el entrar

en pormenores tales, variables de una Escuela a otra y ligados con el plan completo de sus estudios y los detalles de su organización, que sólo a ellas competen.

Y con ello termino estas sencillas reflexiones. Nada nuevo hay en ellas quizá. Y no están avaloradas tampoco por una información documental completa, que en vano me he esforzado en reunir. Pero acaso no sean con todo inoportunas, en esta hora de renovación, para insistir en cuestión tan importante para la Técnica española como es la formación de quienes han de dirigirla e impulsarla. No ha sido otro el objeto de mis palabras. En la encrucijada que las exigencias de la Técnica plantean con más fuerza cada día, obligando a elegir entre un estudio amplio pero somero de la Matemática y de carácter práctico, en la formación de los técnicos superiores, y un estudio menos extenso pero más profundo de los principios y recursos fundamentales de esta ciencia, mis reflexiones ante vosotros son una sencilla pero resuelta aportación en favor del segundo término de la disyuntiva.

Harto comprendo que es menguada mi autoridad para marcar la ruta obligada en cuestión de tal transcendencia. Pero las reflexiones expuestas en las páginas anteriores no tienen pretensión tan excesiva; son tan sólo unos sencillos datos aportados al estudio de un problema, cuya importancia reclama la colaboración, modesta o elevada, de cuantos puedan influir en su acertada resolución. Por eso mis palabras envolvían además una aspiración callada, que os he de confesar ahora, profesores e ingenieros ilustres que me escucháis, y que encierra más interés que todas mis sencillas reflexiones. La de atraer con ellas vuestra atención benévola hacia un problema que juzgo fundamental para el progreso técnico y para el desarrollo in-

dustrial y económico de España y obtener así el concurso valioso de vuestro saber y vuestro prestigio para su estudio detenido y acertada orientación. Si he tenido la fortuna de lograrlo, no habrá sido inútil mi sencilla aportación en esta hora. Y la sinrazón palmaria con que el afecto me ha traído a este puesto, podrá recibir siquiera esta exigua justificación.

# DISCURSO DE CONTESTACION

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. JOSE G. ALVAREZ UDE

SEÑORES:

**P**ERMITIDME comenzar evocando un recuerdo. Corría el mes de junio de 1893. En sus primeros días había yo salvado, la, por mí, como por todos mis compañeros, considerada como terrible prueba del examen de Geometría descriptiva, y se anunciaba para el día 29 la recepción en esta Academia del que, entonces, era catedrático de esta asignatura en la Facultad de Ciencias y fué mi mejor y más querido maestro, don Eduardo Torroja y Caballé. Venciendo la timidez, producto del respeto que me inspiraba, a él acudí pidiéndole una invitación que me permitiese oírle su Discurso acerca de los medios empleados por la moderna Geometría para alcanzar el grado de generalidad y simplificación que la distingue de la Geometría antigua. Amablemente, me la facilitó y pude asistir al acto con fervor y unción semejantes a la que hubiera puesto si se tratase de un acto religioso: tales eran la admiración y el cariño que profesaba a mi maestro, y que el tiempo pasado y el recuerdo de sus lecciones y su vida, dentro y fuera de la cátedra no han hecho sino aumentar. ¡Quién había de decirme entonces que, al cabo de algunos años, llegaría a sucederle en la cátedra y un día, el de hoy, sería el encargado de llevar la voz de la Academia en la recepción del más legítimo continuador de su admirable obra, su hijo Antonio! Comprenderéis mi emoción

en estos momentos y no extrañaréis que, tanto como al nuevo académico, dedique las pocas palabras que he de pronunciar, a la memoria del maestro inolvidable, que más influyó en mi formación y en mi vida. El conocimiento de esta devoción mía hacia el padre y de mi fraternal amistad con sus hijos es, sin duda, la causa única que ha impulsado a nuestro Presidente a designarme para contestar el admirable Discurso que acabamos de oír, haciéndome con ello un honor que agradezco profundamente, aunque lamentando el mal trato que, sin merecerlo, sufrís, con ello, vosotros y la Academia.

\* \* \*

Es posible que llevar un apellido ilustre ayude en algunos empeños de la vida y, dándolo por cierto y efectuando un audaz *paso al límite*, nuestro nuevo compañero, cegado por el amor de buen hijo y buen discípulo, cree que sólo al apellido debe, por gracia, lo que es justicia estricta, realizada contra sus deseos: su elección como miembro de número de esta Academia; pero, lo que sí es cierto, es que el apellido gravita mucho cuando quiere llevarse con dignidad y que, frecuentemente, su brillo oscurece los méritos de los hijos y aun de los padres de quien lo enalteció: tal, p. ej., el conocido caso de Bolyai. Con Antonio Torroja, no ocurre así: en la valoración de su mérito el apellido no supone un coeficiente de ampliación, sino, más bien, de reducción y, contra lo que él supone, fué elegido no por ser Torroja, sino a pesar de serlo.

Muestra, en efecto, siempre la Academia un gran celo por su prestigio, procurando que sólo pertenezcan a ella las personas eminentes en las ciencias que cultiva, siquiera, como institución humana que es, alguna vez se equivoque, y la singularidad de lo que podría llamarse «el caso Torroja», en que tres hermanos pudieran ser simultáneamente miembros, no

sólo de la misma Academia, sino de la misma Sección, la obligaban a afinar y extremar el rigor de sus juicios, para no dar ocasión a suspicacias razonables, como lo hizo, y cuanto más profundizaba al aquilatar la obra matemática del nuevo académico, tanto mayores aparecían sus méritos; y así, como resultado final de tan concienzudo examen, tuvo una doble complacencia: la de adquirir con él un positivo gran valor nuevo y la de que éste fuese continuador de aquel otro, también valiosísimo, para el que todos guardamos devoto y siempre vivo recuerdo.

No haría falta, dicho esto, justificar públicamente el llamamiento hecho por la Academia a Antonio Torroja; pero, por no romper con una costumbre tradicional y, también, porque no es la Matemática ciencia popular ni, por tanto, generalmente conocida la valía de los hombres que a ella dedican lo más y mejor de sus vidas, habré de recordar, sumariamente, los méritos a que antes aludía.

Miembro correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, desde 1919 y de número de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (1924), cuya Secretaría general ocupa desde 1930, es D. Antonio Torroja y Miret, Ingeniero de Minas, Doctor en Ciencias exactas e Ingeniero geógrafo, ha sido Profesor auxiliar en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid y catedrático en la de Zaragoza, y lo es, actualmente, de Geometría proyectiva y descriptiva en la de Barcelona y de Mecánica aplicada en el antiguo Instituto de Electricidad y Mecánica aplicadas, hoy Escuela de Peritos industriales, en la misma gran ciudad catalana, fué propuesto en virtud de concurso-oposición para la cátedra de Estudios Superiores de Geometría de la Universidad de Madrid, cátedra que por causas ajenas a la Ciencia y la Universidad, no llegó a desempeñar, y aún podrían agre-

garse a esta enumeración algunos etc. etc., con mayor contenido real que el usualmente encerrado en tan socorridas abreviaturas.

Esta escueta relación no da, sin embargo, idea de los merecimientos contraídos por Torroja. Relaciones semejantes, y más dilatadas, podrían mostrarlas personas cuyos únicos méritos, de existir, serían el tesón y la habilidad, en todos los sentidos de la palabra, empleados para lograrlas. No así Antonio Torroja, quien, con definida vocación docente, gran inteligencia y ejemplar voluntad ha superado amplia y eficazmente lo que sólo hubiera sido el cumplimiento del deber, aun a juicio del más exigente espíritu. Seguramente recordaréis muchos las bellísimas frases dedicadas a D. Eduardo Torroja por Rey Pastor en su Discurso de ingreso: pues, aplicadlas, sin atenuaciones, a su hijo, que también para él merecían haber sido escritas.

Difícilmente se podrá encontrar quien tan feliz y brillantemente siga las huellas de su padre y continúe su obra, no repitiéndola o imitándola, sino ampliándola y elevándola, pero con modos muy semejantes. Aquellas condiciones de modestia, austeridad y seriedad por todos reconocidas en D. Eduardo Torroja, son igualmente atributos de su hijo Antonio, y a él miran sus alumnos con la misma admiración, el mismo cariño y el mismo respeto con que mirábamos a su padre los que tuvimos la fortuna de ser sus discípulos; la misma fina ironía, sin acritud; el mismo rigor en el razonamiento; la misma precisión y sobriedad en el lenguaje; la misma habilidad para estimular y dirigir el razonamiento; hasta el mismo hermetismo desconcertante para los alumnos y la misma aparente sequedad de carácter que oculta un paternal amor a éstos, se encuentran en el hijo, como se encontraban en el padre. Lo que por mí mismo he podido apreciar y lo que he sabido por tes-

timonio imparcial de los mejores discípulos de Antonio Torroja, me permiten asegurarlo así. En demostración de las indicadas cualidades podrían aducirse muchos hechos, pero no es necesario; quiero, sin embargo, fijarme en dos de ellas, las últimamente enunciadas: en una, por ser la que, con manifiesto error, más nos impresionaba, y en la otra, porque constituyendo, quizá, la característica más eficiente del maestro, nos pasaba inadvertida en los primeros momentos y ha sido después la más admirada y la que más habríamos deseado poseer.

Entre otras anécdotas que a esto se refieren, voy a referir dos, de notable paralelismo, en las que, junto a D. Eduardo y a su hijo, figuramos, respectivamente, yo y uno de los más brillantes alumnos de Antonio Torroja, hoy meritísimo Profesor.

En la muy lejana época en que yo era estudiante, en Madrid, y en la relativamente próxima en que lo fué, en Barcelona, este profesor a quien me refiero, los alumnos de Geometría descriptiva eran en pequeño número, lo que permitía que el diálogo entre profesor y discípulo fuese, prácticamente, casi diario y, por tanto, que al final del curso, cada uno, como suele decirse, se supiese de memoria al otro. Pues bien, me contaba este compañero, homólogo mío en el desconcierto y su secuela, el miedo, que al llegar el examen, a pesar de no poder acusarse de falta de trabajo, y de su gran inteligencia (esto, naturalmente, no me lo decía él, pero es cierto y por eso lo digo yo) temía un fracaso, porque nada podía inducir acerca del juicio que merecía a D. Antonio. En cuanto a mí, la misma razón me llevo más lejos: la mañana en que había de ser examinado, después de ponerme a bien con Dios (que en esos momentos, entonces, como ahora, es cosa probada: el fervor religioso aumenta extraordinariamente), advertí a mi pobre padre (q. e. p. d.) que yo había hecho todo lo que había podido, y era verdad, pero que, seguramente y sin remedio, sería sus-

pendido. La igualdad de casos se conservó en la brillantez de los resultados que, en ningún momento (yo, al menos), pudimos imaginar. Las apariencias encubrían, engañándonos, la bondad y la indulgencia de los maestros, de que tantas pruebas hemos tenido más tarde: aún vibra de emoción mi homólogo al recordar la felicitación que, con ocasión de uno de sus más resonantes triunfos, recibiera de su antiguo profesor, y pocas cosas tan confortadoras y ejemplares he tenido en mi vida como la ayuda y la paternal amistad con que me honró el bonísimo D. Eduardo.

En cuanto a la habilidad para provocar y dirigir el razonamiento y ligar unas cuestiones con otras, dando al alumno la impresión de ser él mismo quien iba descubriendo las verdades geométricas, era extraordinaria la de mi maestro y seguramente la que mayor bien nos produjo a sus discípulos. Entre otros abundantes recuerdos que conservo, he aquí uno. Habíamos llegado al final del curso y, terminada la explicación del largo y densísimo programa, siempre explicado completo, quedaban dos días de clase, que D. Eduardo dispuso dedicar al esclarecimiento de nuestras dudas. El más joven de los compañeros, acaso por ello más ingenuo, sacando fuerzas de flaqueza, cuando, al empezar la clase, fuimos invitados para exponer nuestras dudas, fué el único que se atrevió a hacerlo. Su pregunta, única, pues no hubo lugar para más, parecía no exigir más de dos minutos para ser contestada; la realidad, sin embargo, fué que en la respuesta se invirtieron los noventa minutos, que, sin perdonar uno, duraban las clases, y que quien, sin estos antecedentes, hubiera asistido a aquella, habría creído que no se trataba de explicar ningún punto dudoso o difícil, sino de un rápido repaso de las cuestiones fundamentales de toda la asignatura, todas tan sencillas, que sobre ellas podía discurrir sin tropiezo, guía ni esfuerzo, un mozalbete

cualquiera, como era aquel alumno. La opinión nuestra, de todos los compañeros, era muy otra: sabíamos que, pese a todas las apariencias, sólo la acción del maestro era capaz de producir tales admirables efectos, y que, al terminar la clase, el discípulo, que durante ella no había dado la menor señal de cansancio, sino que en cada momento mostraba vivo estímulo de seguir más, estaba agotado. Ninguno nos atrevimos a proponer más cuestiones.

Habilidad parecida a esta de D. Eduardo tiene su hijo Antonio.

Merece señalarse, como final de esta igualdad de condiciones de ambos, una serie de coincidencias, también, de formación, buena parte de las cuales, lo mismo podrían ser causa que efecto de aquella igualdad. Doctores en Ciencias exactas los dos, unen a este Título, correspondiente a ciencia pura, otros de aplicada: los de Perito agrónomo y Arquitecto, el uno, y de Ingeniero de Minas el otro. Durante cinco años, fué D. Eduardo Torroja, Ayudante del Observatorio astronómico de Madrid y durante igual tiempo desempeñó el cargo de Ingeniero geógrafo, y, precisamente en el mismo Observatorio, los dos últimos, Antonio Torroja. Cinco años también fué el primero Profesor sustituto de Geometría descriptiva en la Universidad de Madrid, y en ella Profesor auxiliar de ésta, entre otras disciplinas, el segundo. Poco más de un año, fué Catedrático en la Universidad de Valencia el padre, y uno lo fué, en la de Zaragoza, el hijo. Y, finalmente, cuarenta años, hasta su jubilación, desempeñó D. Eduardo la cátedra de Geometría descriptiva en la Universidad de Madrid y tiempo igual lo desempeñará Antonio en la Universidad de Barcelona, si como, para bien de la juventud y la Matemática españolas es de desear, Dios le concede vida y salud para llegar a la jubilación forzosa. En verdad, merecería haber sido consignado

este paralelismo de vidas, a dos columnas, como las propiedades correlativas en Geometría, a que en gran parte han sido dedicadas ambas vidas.

\* \* \*

Si la obra de formación matemática realizada por Antonio Torroja en el ejercicio de su profesión docente, justificaría, por sí sola, su ingreso en la Academia, no lo merece menos por sus trabajos de investigación. El suyo es uno de los casos en que no se puede aplicar la frase, ya vulgar, «quien no puede investigar, enseña», que establece una incompatibilidad, a priori, entre la investigación y la docencia. La frase, tan despectiva para ésta, ha contribuído mucho, sirviendo de comodín, al frecuente, lamentable descuido y poco aprecio de la cátedra y al engrosamiento, por moda, y sin razón bastante, de las filas de los profesionales de la investigación. Investigación y especialización son absolutamente necesarias y merecen toda consideración y ensalzamiento cuando realmente merecen tales nombres, pero no cuando se llevan a extremos como los que todos conocemos: un señor que cuenta las veces que figura la preposición *de* en un capítulo del «Quijote» o las en que aparece la cifra 7 en los cubos de los mil primeros números naturales forma, por este solo hecho, en la falange de los investigadores y de él se dice, o él dice de sí mismo, que es especialista en literatura cervantina o en Teoría de números, respectivamente; considerando como especialista no al que sabe todo, o casi todo, lo que se sabe de una cosa y, además, muchas otras, sino al que sólo sabe una. Torroja ha investigado y, como en cuanto ha hecho, lo ha hecho seriamente y con positivos resultados, sin abandono y con exquisita y cuidada atención a sus cátedras. Para convencerse de ello, basta una rápida ojeada a sus publicaciones, a pesar

de que su modestia y la severidad con que juzga su propia labor hacen que sólo sea una mínima parte de su obra. Sería impropio de la ocasión un análisis crítico de estos trabajos; no lo es, en cambio, la recomendación de su lectura, que, por fuerza, ha de ser detenida y meditada.

Su primer trabajo fué la «Nota sobre un problema de Geometría» presentada al Congreso celebrado por la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias en Valencia, el año 1910, que contiene una elegante solución geométrica de un problema fundamental en la llamada «orientación de las vistas», en Fotogrametría, sólo resuelto antes analíticamente por Hauck, en forma trigonométrica por José M.<sup>a</sup> Torroja y geoméricamente, de modo muy artificioso, por Schmidt. Del mismo problema dió, tres años más tarde, en la Revista de la Sociedad Matemática Española, una solución simple, de carácter proyectivo.

En el mismo orden de trabajos es muy de señalar el que lleva por título «El estereógrafo» (Valladolid, 1915), que contiene el fundamento, descripción y manejo del Estereógrafo ideado por Antonio Torroja, que sustituye, ventajosamente, al Tablero Pulfrich, utilizado en Fotogrametría cuando no se dispone de un estereo-autógrafo.

Siguiendo el camino iniciado por D. Eduardo Torroja y los nuevos conceptos establecidos por el mismo en su «Teoría geométrica de las líneas alabeadas y de las superficies desarrollables», al exponer de un modo geométrico puro la Teoría general de la curvatura de superficies, publicó Antonio Torroja en la Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en 1912, un notable y muy completo «Estudio geométrico de la curvatura de las superficies alabeadas, en general», estudio teórico del que es digno complemento, de carácter práctico, el contenido en la Nota «Deter-

minación gráfica de la curvatura de una superficie alabeada».

Los problemas fundamentales de la representación, en Geometría descriptiva, han sido objeto de profunda investigación de Torroja. Fué el primer resultado de ellos publicado, un «Resumen del sistema general de dos proyecciones» (Oporto, 1921); a él siguió la muy notable Memoria «Representación gráfica de espacios superiores» (Barcelona, 1924), una de las de mayor mérito y originalidad de Torroja, elogiosamente citada por Hadamard (*Le problème de Cauchy et les equations aux derivées partielles linéaires hyperboliques*, 1932, pág. 10). Se habían estudiado, antes, casos particulares de este problema por matemáticos de la valía de Veronese, Schoute, González-Quijano y Perazzo, generalizando las correspondencias entre la figura representada y sus proyecciones, utilizadas en los sistemas de representación del espacio tridimensional, pero sin la debida sistematización y, sobre todo, sin resolver el problema relativo a la posibilidad de generalizaciones capaces de conducir a sistemas más generales o más ventajosos. El problema lo plantea magistralmente Torroja, partiendo del concepto general de sistema de representación, como conjunto de las correspondencias entre el sistema representado y sus imágenes, e imponiendo sucesivamente las condiciones a que han de satisfacer éstas, para lograr el fin propuesto.

Para el espacio ordinario, de tres dimensiones, la sistematización y síntesis de los sistemas de representación había sido objeto de estudios muy interesantes por Staudigl, Müller, Nicodemi y del Re, entre otros, pero Torroja va más lejos y examina y resuelve la cuestión, con toda generalidad, para los espacios lineales, cualquiera que sea el número de sus dimensiones, llegando a establecer el sistema más general de representación puntual de un espacio multidimensional, que conserva las propiedades proyectivas, estudiar sus caracteres y

modo de aplicación y fijar las condiciones que conviene imponerle para facilitar su empleo, y, por último, a deducir, como casos particulares, los más sencillos, de Schoute-Quijano y Perazzo.

Parecía agotada la cuestión con esta Memoria, y realmente lo está, mientras la correspondencia entre los espacios considerados sea biunívoca, sin excepción; pero las condiciones impuestas de biunivocidad entre los puntos del espacio representado y los grupos de puntos de los espacios imágenes, y de que las rectas estén representadas por grupos de rectas tienen como consecuencia la existencia de elementos de excepción, — los puntos de cada espacio, centro de proyección, que tienen indeterminada su proyección sobre el espacio, imagen correspondiente—, y surge así un nuevo problema: el de la posibilidad de evitar los elementos de excepción. En una comunicación al Congreso Internacional de Matemáticos reunido en Bolonia el año 1928, lo resuelve Torroja llegando a establecer la necesidad de que haya elementos de excepción, cuando los espacios considerados son de números diferentes de dimensiones, y que el sistema de representación puntual de un espacio lineal sobre otros de esta misma naturaleza, más perfecto entre todos los constituídos por correspondencias biunívocas entre los puntos del primero y grupos de puntos de los demás, es el que hace corresponder, a las rectas de aquél, grupos de rectas de éstos.

Citemos, finalmente, para no alargar demasiado esta relación, los trabajos sobre «Homografías cíclicas de un espacio de  $n$  dimensiones» y «Cuádricas invariantes en una homografía» (Barcelona, 1929) y aun no habremos dado cuenta de la labor investigadora de Antonio Torroja, en la que figuran delicadas cuestiones de Axiomática y otras expuestas en sus cursos monográficos.

\* \* \*

Por razón de obligada cortesía, si no fuera reglamentario y tradicional, he de hacer ahora un brevísimo comentario a la disertación del Sr. Torroja que con tanto agrado acabamos de oír. Su tema es de evidente interés general y, por ello, ha sido tratado muchas veces, llegándose a conclusiones muy dispares, que podrían acotarse entre las compendiadas en estas dos frases: ¡Basta de Matemáticas! y «Todas las matemáticas son pocas». Para el Sr. Torroja, cuya singular formación técnica y matemática le da una enorme autoridad en esta materia, la cuestión no estriba tanto en la cantidad, como en la calidad, más aún, en el matiz y en los modos de la enseñanza.

Partiendo del hecho inconcuso de la necesidad de la Matemática superior para la resolución de gran número de problemas técnicos, es indudable, sin embargo, que no puede aspirarse a que alguien, técnico o no, conozca y domine toda la Matemática; y nadie, tampoco, puede prever la naturaleza de los problemas matemáticos que los progresos de la técnica haya de plantear en el futuro, aun siendo próximo, ni en consecuencia, cuáles habrán de ser las teorías matemáticas que será preciso aplicar, y para obviar tan difíciles circunstancias sólo pueden seguirse los dos caminos que, con gran acierto, indica y examina Torroja: capacitar al técnico mediante una apropiada formación en que, con menos Matemáticas, quizá, se logre un mayor espíritu matemático, gracias al cual pueda completar fácilmente los conocimientos que en cada momento necesite, o que la investigación técnica se realice, sí, por los técnicos, pero con la colaboración de un grupo de científicos, entre ellos matemáticos, solución impuesta por la realidad, con más fuerza cada día; y en este caso, como, forzosamente, el técnico ha de ser quien plantee el problema matemático e interprete los resultados de su solución, también será preciso que posea una sólida y aguda formación intelectual y matemática.

Por uno y otro camino se llega, pues, a la misma conclusión: la necesidad de formar un espíritu matemático.

Se ha dado con ello un gran paso para resolver el problema, pero aun falta mucho para lograr su solución completa. En efecto: ¿qué es y cómo puede formarse ese pretendido espíritu matemático? Toda definición es difícil; y, más que por esta dificultad, sin duda por parecerle innecesario, dada la condición de las personas a quien se dirige, no lo ha definido Torroja, aunque llegue a decirnos que en estas solas dos palabras resume la precisión de ideas, el rigor del razonamiento y la agudeza de análisis, características esenciales de la Matemática. Ciertamente, esto es algo, pero no todo; podría decirse, siguiendo el pensamiento y las expresiones de Pascal, que es el «esprit de géométrie» y habrá de ser completado con el «esprit de finesse», que no da la Matemática. Con el primero sólo, se discurrirá rectamente sobre axiomas preestablecidos, pero no se percibirá la múltiple variedad de pormenores y matices de la realidad, y difícilmente se plantearía bien el problema matemático del técnico y mucho más difícilmente, todavía, se interpretarían sus resultados. La feliz conjunción del «esprit de géométrie» con el «esprit de finesse» es la que puede conducir al acierto en ambos casos, y el lograrla no es sólo obra de estudio y voluntad: el «esprit de finesse» más bien será fruto de experiencia y aun de graciosa donación de Dios.

En cuanto a la formación, ha de obtenerse, a juicio de Torroja, mediante el estudio cuidadoso de los conceptos fundamentales de la Matemática, de sus teorías básicas, tengan o no inmediata aplicación y de los métodos clave; y pocos serán quienes no piensen así, aunque a ninguno se le escape la gran dificultad de tal formación. Donde es seguro que aparecerá la diversidad de opiniones es al pasar de estas ideas generales, por fuerza un poco abstractas, a la determinación de las nor-

mas concretas adecuadas para una formación igualmente válida para el técnico, cuya actividad sea la meramente profesional, y para el investigador, y el primer punto en que es de suponer falte la unanimidad de pareceres es al juzgar de la posibilidad y de la conveniencia de esta formación única, que muy probablemente dificultaría la preparación de los técnicos y lo mismo podría impedir la existencia de excelentes profesionales, poco sensibles a los encantos de la ciencia pura y de la investigación, que apartar del ejercicio de la técnica, llevándolos al exclusivo cultivo de la Matemática, a otros en quienes despertaría una mayor afición a ésta, y no habría que ir muy lejos para mostrar ejemplos vivos de la efectividad de estos peligros. Por algo se ha establecido en otros países la plausible distinción entre Ingeniero diplomado y Doctor Ingeniero. Torroja cree que la diversidad de formaciones de ambos tipos de técnicos desde el principio, es un ideal al que ha de conducir forzosamente el progreso técnico, pero no conveniente aun en España, atendido su desarrollo industrial y económico, y quizá tenga razón. Por ahora, al menos, es un hecho y, cualesquiera que sean nuestras opiniones, de él hay que partir, y siempre quedará el problema de formular las indicadas normas, que es preciso afrontar, pese a las dificultades que ofrece. Por estimar inoportuna la ocasión y, también, por su acostumbrada excesiva modestia, no lo ha hecho hoy Torroja, que atendida la trascendencia de la cuestión, juzga necesarias otras colaboraciones y, justificadamente, pone su confianza en la de la Academia. No puede, en efecto, ésta limitarse a suscribir con su aplauso, como lo ha hecho, las ideas expuestas, sino que, tras su maduro, merecido examen, debe concluir propuestas prácticas. Acaso ningún organismo tan adecuado para ello. Situada al margen y por encima de todos los particularismos, cuenta en su seno con eminentes profesores de ciencia

pura y aplicada, y técnicos y científicos de todas las ramas, que conocen y viven el problema y, al incorporársele Antonio Torroja, completa un conjunto de autoridad difícilmente superable, en nuestro país, para tal cometido, y sus conclusiones en esta materia podrían ser aceptadas por todos y, previas las adaptaciones que lo específico de cada técnica exigiera, contribuir eficazmente a la resolución de uno de los problemas de mayor interés para nuestra patria.

\* \* \*

Termino, señores, como empecé, por un recuerdo. En el año actual se cumple el centenario del nacimiento de D. Eduardo Torroja y Caballé, que no debe pasar inadvertido. Buena parte de mis palabras dedicadas al elogio, debido en justicia y por la ocasión, a su hijo, estaban también inspiradas en homenaje a mi maestro, homenaje pobrísimo para lo que su memoria merece. Ninguno sería más digno de él, ni más eficaz, que la difusión de su obra, cosa prácticamente imposible hoy, por estar agotadas sus publicaciones. ¡Qué gran bien podría hacer la Academia si la facilitase, tomando bajo sus auspicios la edición de las Obras completas de Torroja! En tal labor, correspondería el más activo y eminente puesto a nuestro nuevo compañero. Al darle la bienvenida, en nombre de la Academia, ya ve, con esto, en cuánto estimamos la obra que en ella puede realizar.