

LAS FRUSTRADAS TENTATIVAS DE REFORMA DE LA FORMACION MATEMATICA DE LOS INGENIEROS EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA EN TORNO A 1900 SOBRE EL TRASFONDO DE SIMILARES REFORMAS EN ALEMANIA*

REINHARD SIEGMUND-SCHULTZE
Humboldt-Universität Berlin (Alemania)

RESUMEN

Este trabajo estudia las tentativas de reforma de la formación matemática de los ingenieros en los Estados Unidos de América en torno al último cambio de siglo en su contexto internacional, con especial referencia al entonces reciente movimiento antimatemático de los ingenieros alemanes.

ABSTRACT

This work studies the attempts to reform the mathematical education of engineers in USA around 1900 in an international context, with special reference to the previous anti-mathematical movement of German engineers.

* Subvencionado por la *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (Bonn). Traducción del alemán de Elena Ausejo.

Se trata aquí sólo de la formación *superior* de los ingenieros (*higher technical education*) en Alemania y USA hacia 1900, tal y como se impartía en las *Technische Hochschule* (TH), o bien *engineering schools, engineering colleges* o *technical colleges* de los Estados Unidos. A este respecto hay que tener en cuenta que el sistema educativo era más jerárquico y segmentado en Alemania, de manera que las escuelas industriales y de artes y oficios tuvieron desde un principio un status claramente inferior al de las TH, mientras la transición era mucho más fluida en el descentralizado sistema educativo americano.

El estudio detallado del relevante Engineering-Mathematics Symposium de Chicago (1907-08) y de sus consecuencias, entre otras fuentes, permite además extrapolar conclusiones sobre la cuestión histórica de las condiciones de institucionalización de la enseñanza e investigación de la matemática aplicada y sobre el papel de las comparaciones internacionales en historia de las ciencias.

The detailed study of the relevant Engineering-Mathematics Symposium in Chicago (1907-08) and its consequences, among other sources, also enables to extrapolate conclusions about the conditions of institutionalization of teaching and research in applied mathematics and on the role of international comparisons in the history of science.

Palabras clave: Matemáticas, Ingeniería, Educación, Alemania, USA, Siglos XIX-XX.

1. El carácter internacional de las tentativas de reforma de la formación matemática de los ingenieros hacia 1900

En una extensa reseña de los *Hauptsätze der Differential-und Integralrechnung* (Principios de Cálculo Diferencial e Integral) que R. Fricke escribiera para el uso de los ingenieros (Braunschweig, 1897), el matemático americano E.R. Hedrick señalaba en 1903 en el *Bulletin* de la *American Mathematical Society* (AMS) bajo el epígrafe de *A German Calculus for Engineers*:

"The battle which is being waged on German soil for the closer union and more complete understanding between mathematicians and engineers is of almost equal interest to the same two classes in America" [HEDRICK, 1903, p. 434].

Que Hedrick, discípulo del gran matemático y organizador científico Felix Klein (1849-1925), estuviera influenciado por el libro del discípulo de Klein, Fricke, no es de extrañar y se sitúa en la línea de relación maestro-discípulo entre la matemática alemana y americana de aquella época¹.

Que hacia 1900 las matemáticas en la ingeniería, especialmente en la electrotecnia, pero también en ingeniería mecánica y en construcción, adquirieron una importancia dramáticamente creciente también está fuera de duda. El auge de las *science-based industries* (industria química y eléctrica) produjo en todo el mundo desplazamientos del centro de gravedad en la formación de los ingenieros². Con respecto a las consiguientes exigencias de instrucción matemática de los ingenieros, piénsese especialmente en la

importancia del cálculo de operadores de Heaviside y de los métodos complejos en electrotecnia, así como del análisis vectorial -asimismo parcialmente debido al inglés O. Heaviside, aunque también a W. Hamilton, H. Grassmann y al americano J.W. Gibbs- en electrotecnia, hidromecánica y teoría de la electricidad [CROWE, 1985; KLEMM, 1966]. En la teoría de los métodos gráficos, mediante la creación de la *nomografía* por el francés M. d'Ocagne (1899), se hicieron progresos esenciales que permitieron tratar mediante figuras planas relaciones funcionales entre más de dos variables [MISES, 1921, p. 9]. En análisis numérico los alemanes C. Runge (1895) and W. Kutta (1901) produjeron en torno al cambio de siglo fundamentos esenciales para una teoría de la resolución aproximada de ecuaciones diferenciales y, por lo que respecta a la determinación exacta del error de los métodos numéricos, el trabajo del físico-matemático W. Ritz (1908) aportó avances esenciales [OSTROWSKI, 1966, pp. 103-106].

Por otra parte, con esto las necesidades de recursos matemáticos en casos particulares por parte de los técnicos no estaban todavía ni mucho menos satisfechas. El ingeniero americano George Paaswell lanzaba, por ejemplo, un *Appeal to producing mathematicians* en 1914 en el *Bulletin* de la AMS, dando una relación detallada de problemas técnicos de ingeniería que necesitaban urgentemente un tratamiento matemático. Así, por ejemplo, decía:

"The profession of building is the oldest in the world and yet how little have we progressed in the analysis of stresses in the frame itself. The knowledge of stresses in a column remains practically in the state in which Euler left it" [PAASWELL, 1914-15, p. 128].

En otro lugar de su artículo Paaswell subraya la *sore need of a text on the theory of elasticity* [p. 129], con lo que ciertamente parece aludir principalmente a la situación en los Estados Unidos³. El matemático Ch. S. Slichter describe la tendencia general hacia la penetración matemática -en un *Engineering-Mathematics Symposium* de 1907-08 que será tratado a lo largo del presente artículo- en los siguientes términos:

"It is technology that is changing - that is becoming less empirical, more systematic, more quantitative, more scientific" [SLICHTER, 1908, p. 262].

Junto a los mencionados progresos en los métodos matemáticos y a las simultáneas necesidades aún insatisfechas de los técnicos respecto de la penetración matemática había todavía un *tercer problema, el de la conciliación* de estas necesidades y esos progresos entre dos grupos profesionales distintos, matemáticos e ingenieros, que se menciona claramente en la cita de Hedrick introducida al principio. Una parte esencial de este problema de conciliación afectó naturalmente a la enseñanza en las escuelas técnicas superiores. Los

problemas generados en este ámbito fueron sin duda específicamente nacionales, fuertemente dependientes de los diversos sistemas científicos y educativos nacionales respectivos, así como de las barreras lingüísticas⁴ entre los diferentes países.

Que estos *problemas de conciliación* eran en los Estados Unidos otros que en Alemania ya lo apuntaba Hedrick en su reseña citada al comienzo:

"He [i.e. Fricke, R.S.] intentionally uses geometrical and intuitional proof when rigorous arithmetical demonstration is considered too difficult. While the reviewer believes heartily in this principle, the conjugate statement is certainly the one which needs most insistence in our American texts, for while in the past the German has been too difficult in his rigorous presentation, we in America have erred to the side of leniency" [HEDRICK, 1903, p. 435].

Por *American texts* Hedrick entendía al parecer, principalmente, textos redactados por ingenieros, cuyo aparato matemático encontraba deficiente. Para el matemático E.R. Hedrick (1876-1943), que durante toda su vida trabajó fundamentalmente por la reforma de la enseñanza matemática en las escuelas y escuelas técnicas superiores americanas⁵, un elemento esencial de ese *problema de conciliación* era aún, por lo visto, la todavía escasa familiarización de los ingenieros con la matemática más rigurosa, algo también igualmente aplicable a muchos científicos americanos⁶. Aquí se dibuja ya, cuando menos, un manifiesto *desplazamiento temporal* entre las situaciones americana y alemana del problema: el *movimiento antimatemático* de los ingenieros [HENSEL, 1989] iniciado en Alemania algunos años antes aspiraba notoriamente a adaptar mejor la fuerte instrucción matemática existente en las escuelas técnicas superiores a las necesidades de aplicación de los futuros ingenieros.

Desde la equivalencia en la aptitud científica nacional antes aquí sobreentendida, en lo que concierne a la producción industrial se enfrentaba una situación de exigencia internacionalmente idéntica en la ingeniería a diferentes tradiciones institucionales y cognitivas en ambos países⁷.

Desde el punto de vista histórico-matemático deben investigarse las siguientes cuestiones:

- ¿Hubo realmente en USA, como insinúa la cita introductoria de Hedrick, intentos de reforma para un *mejor entendimiento entre ingenieros y matemáticos* sobre la formación matemática?

- ¿Cuál fue el contenido de dichos intentos y de quién partieron?

- ¿En qué medida eran conscientes los implicados de esas diferentes tradiciones institucionales y cognitivas y en que medida fue aprovechado el ejemplo alemán renovado (como en la matemática pura)?

- ¿Qué puede aprenderse de estas discusiones para el entendimiento del fenómeno histórico que yo denomino la *tardía llegada de la matemática aplicada a los Estados Unidos*?

- Finalmente, ¿qué conclusiones pueden sacarse de este ejemplo para la cuestión histórica de las condiciones de institucionalización de la enseñanza e investigación de la matemática aplicada en general, y cómo pueden aprovecharse comparaciones interculturales como la aquí presentada?

En primer lugar, no cabe ninguna duda sobre la existencia, en torno al cambio de siglo, en USA, en Alemania y en casi todos los estados industriales, de intentos de una moderna configuración de la enseñanza matemática, tanto a nivel superior como en la educación secundaria, especialmente en lo que se refiere a una mayor consideración de los problemas de aplicación físicos y técnicos⁸.

La más clara expresión de esto es quizás la creación de la Comisión Internacional de la Enseñanza Matemática (CIEM) por Felix Klein en 1908 [TOBIES, 1979a]. Por parte de los ingenieros americanos se articularon las correspondientes ideas de reforma, especialmente en la *Society for the Promotion of Engineering Education* (SPEE), fundada en 1893. Pero también en la *American Mathematical Society* hubo algunos intentos en la misma dirección. El mejor ejemplo de ello es el discurso de clausura del presidente saliente de la AMS, E.H. Moore (1862-1932), al final del año 1902. Moore se remite [1903, p. 406], al igual que R. Fricke [1902] en un artículo publicado poco antes, al ejemplo del ingeniero inglés John Perry (1850-1920), especialmente a su *The Calculus for Engineers* (Londres, 1897) -que R. Fricke había traducido al alemán en 1902-. Para Perry los objetivos de la reforma de la enseñanza en la escuela y en la educación superior eran confluyentes y reclamaba en Inglaterra la reorganización de la enseñanza escolar, la supresión de la absoluta autoridad de Euclides en la enseñanza de la geometría, la reforzada consideración del cálculo infinitesimal y de métodos matemáticos prácticos y constructivos (dibujo, métodos gráficos) así como de ejemplos de aplicación física, química o técnica [MOORE, 1903, p. 407]. El americano Moore, como Felix Klein también matemático *puro* antes que *aplicado*, proponía -con referencia directa a Perry- para la enseñanza matemática tanto en el instituto americano (*high school*) como en la escuela superior, basándose en principios generales pedagógico-psicológicos de su colega de Chicago John Dewey, un *laboratory method*⁹. Es interesante que Moore, al menos para la

formación de los jóvenes en los institutos, admitiera las condiciones que las *escuelas de ingenieros* habrían de exigir a los principiantes, en cierta manera de prioridad frente a las necesidades de las ciencias teóricas:

"It would be desirable that, just as the systematic development of theoretical mathematics is deferred to a later period, likewise much of theoretical physics might well be deferred. Let the physics also be made thoroughly practical. At any rate, so far as the instruction of boys is concerned, the course should certainly have its character largely determined by the conditions which would be imposed by engineers" [MOORE, 1903, p. 410].

Internamente Moore esperaba conseguir, mediante su *laboratory method*, una mejor base para la introducción del cálculo infinitesimal entre los principiantes. Que hacia 1900 esto no era ninguna perogrullada lo expresaba Moore con la siguiente pregunta:

"Will not the twentieth century find it possible to give to young students during their impressionable years, in thoroughly concrete and captivating form, the wonderful new notions of the seventeenth century? [MOORE, 1903, p. 416].

También para Perry y para el traductor alemán de su *The Calculus for Engineers*, el profesor de la Escuela Técnica Superior de Braunschweig, Robert Fricke, el problema de la enseñanza del cálculo infinitesimal, sobre todo en las escuelas de ingenieros, era un problema clave. Según Fricke [1902, p. 241], Perry señala como su meta principal *llevar a sus lectores a no tener nunca más, como lamentablemente todavía muchos ingenieros, miedo ante los signos diferenciales e integrales*¹⁰. Fricke habla, al igual que Perry, de las *lagunas que para tantos estudiantes se abren entre las lecciones matemáticas y las técnicas*¹¹[FRICKE, 1902, p. 242].

La *laguna* entre la formación matemática y la propiamente técnica era también un problema internacionalmente agudo, al menos en los tres países aquí considerados, USA, Inglaterra y Alemania. En todas partes condujo a las correspondientes reformas, que dependieron especialmente, de las demandas y quejas de los ingenieros como denunciaba también Moore en su citado discurso:

"Why is it that one of the sanest and best-informed scientific men living, a man not himself an engineer, can charge mathematicians with killing off every engineering school on which they can lay hands? Why do engineers so strongly urge that the mathematical courses in engineering schools be given by practical engineers?" [MOORE, 1903, p. 410].

2. El movimiento antimatemático de los ingenieros alemanes antes de 1900 y el problema de la adopción de experiencias nacionales en contextos sociopolíticos distintos

Es un hecho histórico que los americanos fueron bastante menos eficaces que los alemanes en el llenado de la *laguna* entre la formación matemática y técnica en los años posteriores a 1900¹² y que, como se verá, lograron aprovechar las experiencias alemanas coetáneas o algo anteriores también menos que en la adopción del *ideal de la matemática pura* en los años anteriores. A este respecto debe ser examinada la estrecha conexión entre docencia e investigación y especialmente investigado el desarrollo de la *matemática aplicada*¹³ en USA.

Como tanto en Alemania como en USA los matemáticos de las escuelas técnicas se formaban tradicionalmente en las universidades, la consideración de las aplicaciones de las matemáticas procedentes de la ingeniería y con ello, en un segundo plano, el desarrollo de la *matemática aplicada* como área de investigación fue una conclusión que también se impuso en los Estados Unidos. Ciertamente la matemática aplicada como área de investigación existía hacia el cambio de siglo todavía bastante menos en América que en Alemania, como ya apreciaba Felix Klein -que tantos méritos había adquirido con el auge de la investigación matemática pura en USA [PARSHALL & ROWE 1984]- en 1900 en un memorándum confidencial al Ministerio de Educación prusiano:

"Los ingenieros se remiten a menudo en sus aspiraciones a las organizaciones universitarias americanas. Frente a esto constituye una curiosa contradicción el que numerosos matemáticos americanos se estén ocupando en la actualidad de hacer valorar en su patria la ciencia aritmetizada que aprendieron en las universidades europeas. Las contradicciones de las que aquí se trata trascienden incluso por encima del país concreto a toda la cultura mundial" [SCHUBRING, 1989, 214]¹⁴.

Las causas de este retraso, retrospectivamente constatable de manera indudable, de los americanos frente a los alemanes se presumen instintivamente y con toda razón en las *diferentes estructuras sociales de la ciencia alemana y americana*, especialmente en lo relativo a la aplicabilidad, así como en la larga tradición y mayor *madurez* de la ciencia alemana. Concretamente, es conocido que hacia finales del siglo XIX hubo en Alemania una matemática *sobremadurada* y decadente firmemente establecida, en primer lugar, en las universidades alemanas, pero también en las escuelas técnicas superiores (TH)¹⁵. Una reforma, esencialmente forzada por el llamado *movimiento antimatemático* de los ingenieros, aunque dirigida por un representante de la ciencia matemática *establecida* (F. Klein), condujo luego al establecimiento de diferentes vínculos institucionales y cognitivos entre la matemática aplicada y la ingeniería [HENSEL, 1989]. Pero permitió también,

al mismo tiempo, la permanencia de la matemática *pura* [PYENSON, 1983]. Después de que en 1899, con la conquista del derecho al doctorado (Dr. ing.), las escuelas técnicas superiores hubieran alcanzado la equiparación académica con las universidades, la formación *matemática superior*¹⁶ en las TH se mantuvo con pequeñas¹⁷ reducciones horarias resultantes de la ampliación de las enseñanzas y no motivadas de forma específicamente *antimatemática*. Fricke designaba como *principio reconocido* en su artículo de 1902 *que las clases de matemáticas en las escuelas técnicas superiores corresponden a matemáticos formados y sólo luego deben ser transferidas a los técnicos, si éstos son también matemáticos formados*¹⁸ [FRICKE, 1902, p. 246].

La presión ejercida por los técnicos condujo, por otra parte, a una cierta reforma de la enseñanza matemática en las escuelas superiores y la universidad, especialmente a una especialización docente -en principio todavía ampliamente facultativa- en matemática aplicada para profesores de matemáticas -ahora como antes principal destino profesional de la carrera de matemáticas- a consecuencia de una nueva regulación de exámenes en 1898 [LOREY, 1991, pp. 56-90]. Lo que faltaba todavía al cambiar el siglo eran las consecuencias institucionales de esta nueva ordenación¹⁹ y los cambios promovidos por Klein en la enseñanza escolar de las matemáticas, que posteriormente, con la llamada Reforma de Meran de 1905, recibieron un impulso considerable²⁰. Sin embargo, por varias razones, en los Estados Unidos no había una fuerte tradición matemática semejante en las escuelas técnicas superiores²¹. En primer lugar, no existía una fuerte segregación institucional entre formación ingeniera y carrera universitaria, como por condicionamientos esencialmente ideológicos ocurría en Alemania. Numerosas universidades de punta (Cornell, Yale, Harvard) tenían *Engineering Schools* desde el último tercio del siglo, y la más notable escuela técnica superior de USA, el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), adquirió hacia el cambio de siglo cada vez más el carácter de una universidad -fundamentalmente científico-técnica-. En las universidades existían generalmente secciones autónomas de matemáticas que no necesitaban legitimarse primordialmente por aplicaciones técnicas de ingeniería. Por otra parte, en las *Engineering Schools* de los Estados Unidos independientes de la universidad, por lo general científicamente inferiores, había una menor tendencia -aunque también una menor potencialidad- a contratar matemáticos de primera línea²². Además, la matemática pura se hallaba en USA hacia 1900 todavía en su fase de ascenso y emancipación y los buenos investigadores encontraban generalmente trabajo en las universidades -contrariamente a lo que ocurría en el sistema universitario alemán, cada vez más sobrecargado hacia el cambio de siglo²³-. Pese a las diferentes estructuras de sistema científico y tradiciones matemáticas indicadas, las relaciones científico-técnicas germano-americanas han representado un papel importante en el desarrollo de las relaciones entre matemáticas y tecnología en ambos países en *otros* momentos

históricos, esencialmente antes de 1900 y tras 1933. En lo sucesivo se entrará significativamente en el primero de estos dos capítulos de las relaciones científico-técnicas germano-americanas para luego comprender mejor porqué en la *fase transitoria*, entre 1900 y 1933, la influencia recíproca de ambas culturas matemáticas, al menos en lo relativo al establecimiento de la investigación matemática aplicada, fue menor.

En los últimos años treinta y primeros años de la Segunda Guerra Mundial, los emigrantes europeos, especialmente los alemanes, representaron un papel esencial estimulante para el establecimiento de la investigación matemática aplicada²⁴. Así, el secretario de la *American Mathematical Society*, R.G.D. Richardson, en 1943, también asoció el entonces constatable retraso de los americanos a las anteriores relaciones matemáticas germano-americanas entre otras razones²⁵.

"As the result of the influence of European mathematicians including Sylvester, Klein, Kronecker, and Hilbert, the prospective leaders of American mathematics -such as More, White, Osgood, Bôcher, Van Vleck, and Pierpont-when they came back to America after having studied abroad during the period 1890-1910, brought with them an enthusiasm for rigor which was to galvanize instruction and to develop this country into a leader in pure mathematics. But no one with enough influence was able to transport the ideas seething in the mind of Felix Klein, who realized that if Germany was to be strong, the country would have to foster institutes of applied mathematics like that in Applied Mechanics at Göttingen established under his influence" [RICHARDSON, 1943, 417].

Las recientes citas de Klein y Richardson plantean el problema general de la transmisión de los *estilos*²⁶ científicos, especialmente el problema de la influencia que puede ejercer la migración científica de individuos de un centro científico sobre la periferia. Fijándose especialmente en los alumnos americanos de Klein y D. Hilbert que posteriormente alcanzaron puestos decisivos, se observa que con sus profesores alemanes cultivaron casi exclusivamente²⁷ temas de investigación del área de la llamada *matemática pura*. Esto respondía también a las orientaciones científicas personales de Klein y Hilbert. El propio Klein ejercía en la época su mayor influencia sobre la matemática americana, con sus conferencias de Chicago/Evanston de 1893 [KLEIN, 1894] que, pese a su comprensión de las matemáticas con un fuerte acento peculiar en la intuición espacial como medio de conocimiento, finalmente propagaron en primer lugar la extensión del ideal elitista alemán de *investigación pura por su propia estima* en América. En la central conferencia sexta de Evanston *On the Mathematical Character of Space-Intuition, and the Relation of Pure Mathematics to the Applied Sciences*, que tocaba tangencialmente el problema de las aplicaciones, Klein destacaba en primer lugar el *heuristic value of the applied sciences*²⁸ *as an aid to discovering new*

*truths in mathematics*²⁹ [KLEIN, 1894, p. 46]. Klein recalca de modo explícito y directamente exculpatorio:

"What I have here said concerning the use of mathematics in the applied sciences will not be interpreted / as in any way prejudicial to the cultivation of abstract mathematics as a pure science" [KLEIN, 1894, pp. 48-49].

Y añadía:

"There must be considered here as elsewhere the necessity of the presence of a few individuals in each country developed in a far higher degree than the rest, for the purpose of keeping up and gradually rising the general standard" [KLEIN, 1894, p. 49].

Los matemáticos americanos, así aludidos por Klein como representantes de la humanidad superior, no se darían por enterados de las observaciones finales de la conferencia de Klein, en las que evocaba el creciente peligro de separación entre la ciencia pura y sus aplicaciones en el sistema de enseñanza superior alemán [KLEIN, 1893, p. 50]. Tanto menos cuanto que, *institucionalmente*, tal separación precisamente no existía en USA, como ya se ha señalado anteriormente.

Las consecuencias de la reforma de Klein, en eso Richardson tenía razón, no fueron perceptibles en la enseñanza universitaria alemana (y hacia allí tendían los estudiantes americanos en primera instancia) hasta después del cambio de siglo, cuando el flujo de estudiantes de los Estados Unidos ya disminuía claramente. Ciertamente cabe suponer y atribuir a matemáticos como Mason y Richardson, que posteriormente alcanzarían influencia significativa en el establecimiento científico en USA, que estudiaran detalladamente la reforma de Klein a principios del siglo en Gotinga y la juzgaran digna de imitación también para los Estados Unidos. Sin embargo, queda el problema principal, a saber, que tanto en USA como en Alemania los *estímulos esenciales* para una reforma sólo podían partir de las condiciones nacionales concretas y de fuertes grupos de intereses nacionales³⁰. También en Alemania una buena parte de los representantes de la *matemática pura* en las universidades y escuelas técnicas superiores tuvo un comportamiento muy reservado respecto de las aplicaciones técnicas de su ciencia³¹ hasta bien entrados los años 20 y fueron necesarias fuertes presiones de grupos de interés (ingenieros) y de la administración científica, así como la *subversiva* -desde el punto de vista de la matemática aplicada *reinante*, especialmente la Escuela de Berlín- estrategia de Felix Klein, para efectuar cambios.

La comparación internacional también resultó ser muy limitada para estimular las aplicaciones técnicas de las matemáticas en los Estados Unidos

debido a que la reputación del país como potencia económica se apoyaba precisamente, en buena medida, en el éxito de la ingeniería americana de la época. En este contexto cabe recordar, como ya hiciera Klein en su memoria de 1900 anteriormente citada, que la reforma alemana vino esencialmente provocada por el ejemplo *americano*, que actuó como *catalizador del desarrollo de la tecnología* [HENSEL, 1989, p. 54]. Es sabido que el influyente ingeniero mecánico y profesor de la Escuela Técnica Superior de Berlín, Alois Riedler, en un informe de 1894 sobre los establecimientos docentes técnicos americanos, redactado por encargo del Ministerio de Cultura prusiano, se quejaba, entre otras cosas, de un exceso de formación matemática en las escuelas técnicas superiores alemanas, mientras que, a este respecto, existía una mejor relación³² en USA [RIEDLER, 1894, p. 632]. Verdaderamente, para Riedler las matemáticas eran en cierto modo el paradigma (negativo) de ciencia *sólo* teórica, contemplativa, impartida en clases magistrales, nada estimulante de la actividad práctica individual del futuro ingeniero. En su lugar Riedler ponía de relieve las ventajas de los laboratorios científico-técnicos americanos en sus escuelas técnicas, frente a los que en Europa *se considera más 'científico' y también menos costoso y más cómodo impartir la enseñanza sólo mediante clases magistrales*³³ [RIEDLER, 1894, p. 510].

Al menos en este punto³⁴, la acentuación del carácter guiado de los laboratorios de pruebas americanos en los establecimientos técnicos superiores y de la participación activa de los estudiantes de ingeniería en la enseñanza, pudo Felix Klein, que también había asistido en 1893 a la muestra de enseñanza alemana en la Exposición Universal de Chicago por encargo del Ministerio de Cultura prusiano, compartir totalmente las tesis de Riedler. En efecto, Klein organizó el Instituto de Física Técnica en Gotinga, por ejemplo, siguiendo el modelo del laboratorio de la *Sibley School of Engineering* de la *Cornell University* en Ithaca [NL Klein, 21.C. s. 81] y también la introducción de prácticas en matemática aplicada en Gotinga y posteriormente - con Richard von Mises- en Berlín siguió al menos el espíritu del ejemplo americano³⁵.

Y sin embargo, es sabido que el matemático Felix Klein llegó, no es de extrañar, a conclusiones respecto del desarrollo de las matemáticas totalmente distintas de las de su oponente en el *movimiento de los técnicos*, Alois Riedler [HENSEL, 1989, pp. 52ss.]. Mientras que Riedler cuestionaba totalmente el valor de la formación matemática, aunque sin poner en tela de juicio el elevado nivel global de la formación científica en las escuelas técnicas superiores alemanas³⁶, para Klein el tema era la matemática *apropiada* para los ingenieros. Pues también la *conclusión opuesta* a la de Riedler sobre el ejemplo americano era legítima y fue reiteradamente aducida: precisamente *porque* la técnica americana era tan fuerte debía Alemania volver sobre su más

original ventaja, la potencia científica. Este tipo de conclusión se apoyaba sobre las experiencias de viajes americanos de otros científicos e ingenieros alemanes, que veían la *fuerza de la técnica americana* sobre todo en el desarrollo ulterior de la técnica ya existente sobre la base del conocimiento empírico³⁷. Por otra parte, los científicos, especialmente matemáticos, que sacaban este tipo de conclusiones, corrían a veces el peligro de recaer en antiguos clichés nacionalistas y *antiamericanos*, especialmente cuando éstos parecían traslucir el descenso, a menudo sentido, del nivel de los estudiantes americanos en Alemania³⁸.

Observando esta interesada recepción del ejemplo americano por parte de Klein y Riedler puede intuirse qué contradictoria debió de ser diez años después, al otro lado del Atlántico, la adopción del modelo alemán, especialmente las reformas de Klein, progresivamente implantadas.

3. El *Engineering-Mathematics Symposium* en Chicago 1907-8

La recepción del ejemplo alemán no estuvo, sin embargo, *únicamente* influenciada por los diferentes intereses profesionales de matemáticos, físicos e ingenieros. Como ya se ha indicado, también intervinieron las diferencias básicas entre los sistemas científicos y educativos americano y alemán y el resto de las tradiciones en las relaciones entre matemáticas y técnica. Todo esto será tratado a continuación en el ejemplo de la discusión pública más espectacular de aquellos años entre matemáticos e ingenieros de las escuelas técnicas superiores americanas, que tuvo lugar en el paso del año 1907 a 1908 en Chicago.

Se trataba de un *Engineering-Mathematics Symposium* que fue organizado conjuntamente por la Sección de Chicago de la AMS y las Secciones A (matemáticas y astronomía) y D (ciencias mecánicas e ingeniería) de la *American Association for the Advancement of Sciences* (AAAS). El verdadero organizador del Simposio era H.E. Slaughter, un discípulo de E.H. Moore posteriormente cofundador de la organización de los profesores de matemáticas americanos, la *Mathematical Association of American* (MAA, 1915)³⁹. La preparación de la reunión por un matemático, la participación de aproximadamente un centenar de matemáticos y sólo unos cincuenta ingenieros, así como las cuatro ponencias principales⁴⁰ permiten colegir que los matemáticos (de escuelas técnicas) dominaron las discusiones. En este sentido hay que tener cuidado de no comparar de manera demasiado simple estas discusiones con el *movimiento antimatemático* de los ingenieros alemanes⁴¹.

Ciertamente la organización no deja ninguna duda de que se trataba en primer lugar de demandas de los ingenieros a los matemáticos y de que la realización del evento era expresión de un creciente reconocimiento de la profesión de ingeniero también en círculos matemáticos⁴².

En los debates del *Engineering-Mathematics Symposium* se tratan los mismos problemas que en el *movimiento antimatemático* de los técnicos en Alemania unos diez años antes:

- a) ¿Son las matemáticas ciencia básica o auxiliar en la formación de los ingenieros?
- b) ¿Quién debe enseñar las matemáticas, matemáticos o ingenieros?
- c) ¿Cómo deben ser enseñadas las matemáticas?
- d) ¿Qué conocimientos previos deben exigirse de los principiantes?
- e) ¿Cuántas y que tipo de matemáticas deben ser enseñadas?
- f) ¿Qué relación debe existir entre enseñanza matemática e investigación matemática en las escuelas de ingenieros?

Las respuestas dadas en los debates a las tres primeras cuestiones fueron análogas a las dadas en la controversia entre ingenieros y matemáticos en Alemania, de modo que aquí no serán tratadas en detalle: los matemáticos veían en su especialidad una *ciencia básica*, mientras que los ingenieros mayoritariamente consideraban las matemáticas como *ciencia auxiliar*⁴³. Reformadores como Klein, Moore, Fricke y Perry insistían, por el contrario, en que las matemáticas en la formación de los ingenieros desempeñaba a la vez ambas funciones (cuestión a)⁴⁴. Aunque a regañadientes, los ingenieros americanos participantes en los debates debieron admitir que *la enseñanza matemática debía ser impartida por matemáticos* y así lo era sólo porque apenas había suficientes graduados en escuelas de ingeniería interesados en una actividad como docente matemático (cuestión b)⁴⁵. Ciertamente la enseñanza de la mecánica, que en el siglo XIX había desempeñado un papel central, junto con la geometría descriptiva, en la impartición de las matemáticas a los estudiantes de ingeniería estaba pasando progresivamente, en USA como en casi todas partes internacionalmente, de los matemáticos a los ingenieros⁴⁶. Con respecto al tipo de impartición pedagógica de las matemáticas, ya en la reforma alemana, en parte según el modelo americano, se acentuaba el *papel de los ejercicios* (cuestión c)⁴⁷. En esta última cuestión, la pedagogía matemática, afloraron sin embargo ya más claramente las diferencias nacionales entre Alemania y USA, especialmente la diferente preparación de los estudiantes en la escuela⁴⁸.

Mucho más claras todavía fueron estas diferencias en la respuesta a las cuestiones d), e) y f), ya que las bases de discusión eran bien distintas en Alemania y en USA.

Las diferencias yacen fundamentalmente en los dos planos generales siguientes:

1) Los diferentes ideales educativos⁴⁹ y la diferente estructura administrativa del sistema científico⁵⁰.

2) La antigua tradición de la *school culture* en la formación de los ingenieros alemana y, en conexión con ella, una más larga tradición de investigación en ingeniería en Alemania en comparación con las escuelas técnicas superiores americanas⁵¹.

Sobre el trasfondo de estos dos planos generales pueden entenderse mejor las respuestas que dio el *Engineering-Mathematics Symposium* de Chicago en 1907-08 a las anteriores cuestiones *d)*, *e)* y *f)*. Especialmente quedará claro que, debido a las diferencias citadas, algunos intentos de recepción de las reformas alemanas estaban necesariamente condenados al fracaso.

Alexander Ziwet (1853-1928), de Breslau⁵², fue el participante en el Simposio de Chicago que, en su ponencia principal, *The Teaching of Mathematics to Engineering Students in Foreign Countries*, más directamente estableció la comparación entre la formación de los ingenieros en Alemania y en los Estados Unidos⁵³.

Sobre la preparación matemática para la ingeniería dada en la escuela en Alemania y USA (cuestión *d)* Ziwet dice:

"The mathematical requirements for admission are about the same in Germany as with us: algebra, geometry, trigonometry. Not a few students now enter the German engineering college with some knowledge of analytic geometry and even of calculus, but many still come without this knowledge. The important point is that the preparatory training in mathematics (including arithmetic) is distributed systematically and continuously over a period of nine years.

... It is obviously quite impossible to attain in a four-year high-school course the results attained in the nine-year course of a German Gymnasium, Realgymnasium, or Oberrealschule. This difference in preparation must always be kept in mind in making comparisons between German and American universities" [ZIWET, 1908, p. 110].

Adicionalmente hay que apuntar que el sistema educativo alemán, pese a la diferenciación de los tipos de escuela comenzada en 1890, exigía una fuerte enseñanza obligatoria en matemáticas, mientras que en el sistema americano, *más liberal*, orientado más bien a la formación de masas, los estudiantes podían seleccionar ya en la *high school* de forma creciente sus materias de

estudio (*elective principle*), lo que condujo no pocas veces a una supresión de la enseñanza matemática⁵⁴.

Así como el verdadero nivel de preparación de los futuros estudiantes de ingeniería no puede deducirse fácilmente de las muy diversas condiciones de admisión de cada escuela técnica superior de los Estados Unidos, los planes de estudio obligatorios para matemáticas vigentes en 1908 en las escuelas de ingenieros americanas tampoco dan ninguna aclaración precisa sobre las diferencias entre Alemania y USA (cuestión *e*). Ziwet señalaba:

"The mathematical courses offered in the German engineering colleges and required for a degree cover plane and solid analytic geometry, differential and integral calculus and differential equations -i.e., about the same subjects that are required in this country" [ZIWET, 1908, p. 110].

En primer lugar hay que señalar que Ziwet no alude al segundo pilar de la formación matemática, la *geometría descriptiva* difundida por G. Monge en 1795 como *lenguaje de los ingenieros* [KLEMM, 1966, p. 76]. A este respecto el matemático Townsend criticaba en Chicago que *descriptive geometry [...] has degenerated into little more than mechanical drawing* [TOWNSEND, 1908, p. 77]. El propio ingeniero Swain recomendaba enseñar la geometría descriptiva a fondo, a saber *as it is taught in Germany* [SWAIN, 1908, p. 259], y el matemático C.I.A. Waldo señalaba:

"The German schools teach descriptive geometry as a mathematical subject, the American schools as a body of problems to be solved by rule on the drawing board. The former method makes descriptive geometry the finest discipline of the four years' course, from the other method little educational benefit arises"⁵⁵.

Parte esencial de la cuestión sobre el *tipo* de matemáticas a impartir (cuestión *e*) era, naturalmente, el problema de la certeza de su aplicabilidad. También en este punto algunos de los matemáticos e ingenieros reunidos en Chicago procuraban aprender del ejemplo alemán. Ziwet aludía en su ponencia a las recomendaciones de la Conferencia de Meran de 1905 [TOBIES, 1979b], que sobre todo colocaban en primer plano de la enseñanza escolar la *intuición geométrica* y el *pensamiento funcional* [ZIWET, 1908, p. 112]. Sin embargo, merece la pena destacar que algunos de los participantes en los debates de Chicago malinterpretaron claramente estas recomendaciones y las acomodaron a las limitadas necesidades de reforma en la formación de los ingenieros que ellos mismos sentían. El profesor del MIT e ingeniero de construcción G.F. Swain, por ejemplo, interpretaba la observación de Ziwet sobre la *intuición geométrica* principalmente como difusión de la geometría descriptiva y proyectiva y decía: *these studies train the imagination, which analysis does not* [SWAIN, 1908, pp. 259-260]. Swain continuaba censurando que las ramas

geométricas de las matemáticas estuvieran *now comparatively neglected since the powerful modern methods in analysis have been introduced* [p. 258]. No deja de ser notable que el ingeniero Swain incluyera expresamente la *geometría proyectiva* en estas *ramas geométricas potenciadoras de la intuición*⁵⁶. Esta se enseñaba en aquella misma época en Alemania cada vez en más estrecha relación con la geometría descriptiva [STACKEL, 1914, p. 165], pero fue progresivamente rechazada como *demasiado teórica*⁵⁷. Tampoco la estática gráfica de Culmann, en su fundamentación proyectiva, fue apenas aceptada por los ingenieros europeos de 1875 [SCHOLZ, 1989, p. 207], aunque los matemáticos la aceptaron finalmente como una especie de nexo entre la matemática pura y las aplicaciones en los exámenes de matemática aplicada de 1898 [SCHOLZ, 1989, p. 258]. Por el contrario, el americano H.T. Eddy rechazaba, en una conferencia de 1893, la fuerte fundamentación proyectiva de la estática gráfica de Culmann como *too learned for practical use by busy men* [PARSHALL & ROWE, 1994, p. 318] y el promedio de familiaridad de los físicos e ingenieros americanos con la geometría proyectiva clásica no debió ser muy elevado⁵⁸.

Aunque Swain era uno de los más destacados profesores de ingeniería americanos dedicados a la investigación y con su insistencia en la utilidad intuitiva de la geometría descriptiva y proyectiva tradujo momentáneamente bien la reforma alemana⁵⁹, parece haber tenido, como la mayoría de sus colegas ingenieros en Alemania y América, ciertas reservas respecto de los métodos más modernos de la matemática aplicada⁶⁰. En cambio Klein, en la Conferencia de Meran de 1905, con la doble expresión de *intuición geométrica* y *pensamiento funcional*, había querido ya evitar una estrecha limitación de la matemática aplicada a la geometría *tradicional* en el sentido de la geometría descriptiva y proyectiva. La doble expresión de Klein se realizaría más bien en los modernos *métodos gráficos* en el sentido de la nomografía de D'Ocagne, por una parte, o en los métodos para la integración numérica de ecuaciones diferenciales ordinarias de C. Runge por otra. Ciertamente estos métodos estaban descuidados en USA, como constató Runge en 1909 durante su estancia como profesor de intercambio en la *New Yorker Columbia University* [RUNGE, 1949, pp. 142-143]. Contrariamente a la opinión de Swain, las disciplinas geométricas tradicionales no entraron en las tendencias de desarrollo de la matemática aplicada en los años siguientes⁶¹.

La geometría descriptiva tuvo pues un lugar excesivamente relevante y escasamente progresivo en el *Engineering-Mathematics Symposium* de Chicago debido a los inconvenientes de la enseñanza americana en este terreno. Aquí reaparece claramente el *desplazamiento temporal* citado al principio entre el estado del debate en Alemania y en América, que hacía a Hedrick abogar por unas matemáticas más fuertes en la formación de los ingenieros. Algo similar

ocurría también con la *física matemática*, cuyo valor en la formación técnica fue acentuado algo más de lo conveniente por un físico presente, antiguo presidente de la AMS que a la sazón lo era de la *Carnegie Institution of Washington*, Robert S. Woodward, en su ponencia principal⁶². Woodward apuntó incluso:

"I would urge the pursuit of mathematical physics more. It is only by the cultivation of this branch of study and investigation that we can keep alive the sources of engineering knowledge" [WOODWARD, 1908, p. 138].

Townsend [1908, p. 76], al igual que E.H. Moore en su discurso de 1902 anteriormente citado, advirtió contra *going too far afield by teaching mathematical physics*. Ciertamente la idea de la *matemática aplicada* de muchos matemáticos americanos en la década siguiente vino fuertemente determinada por las aplicaciones de las matemáticas a la física, lo que en su origen podría estar relacionado con la fuerte conexión entre electrotecnia y física⁶³.

También en este punto influyentes matemáticos y físicos americanos malinterpretaron claramente el sentido de la reforma de Klein, que aspiraba al acercamiento entre matemáticas e ingeniería [TOBIES, 1988, p. 261], con lo que se perdió la tendencia principal de una *matemática aplicada* dirigida a las aplicaciones industriales⁶⁴. Fuera el acento principal sobre la *física matemática* una desviación o bien expresión de una necesidad de rectificación existente también en este terreno en USA, el caso es que el *cálculo infinitesimal* y la *teoría de ecuaciones diferenciales*, a menudo citados en este contexto, tuvieron una significación creciente en las aplicaciones técnicas de las matemáticas, especialmente en electrotecnia y mecánica. Ya se ha aludido al principio a la matematización de la tecnología, que se dejaba sentir en todo el mundo, especialmente con el ascenso de la *science-based industries*.

La enseñanza del cálculo infinitesimal servía ya en el siglo XIX como criterio esencial de la *cientificidad* o *modernidad* de un establecimiento docente técnico superior⁶⁵. A principios del siglo XX la enseñanza de las ecuaciones diferenciales asumió paulatinamente el papel de dicho criterio. De todas formas -en una cierta contradicción con una afirmación de Ziwet citada anteriormente-, tras un vistazo, que Townsend echó en Chicago [1908, p. 73], en 1907 las ecuaciones diferenciales (generalmente sólo ordinarias) sólo estaban incluidas en los planes de estudio de unas pocas escuelas técnicas americanas de punta (Case, MIT), e incluso en 1943 el americano Stevenson [1942-43, p. 672] aún criticaba la ausencia de ecuaciones diferenciales al menos en los cursos introductorios de las escuelas técnicas⁶⁶.

Pero incluso contra la enseñanza básica del cálculo infinitesimal había todavía en 1907 múltiples reservas, y no sólo en las escuelas técnicas superiores americanas⁶⁷. El matemático A.S. Hathaway ya había señalado en 1900 que *mathematical analysis is not so directly useful to the average engineer als the mathematician might expect* [HATHAWAY, 1900-01, p. 266]. En consecuencia, según Hathaway, presumiblemente un 75% de todos los ingenieros en ejercicio habían olvidado como se deriva y se integra [p. 267]. Hathaway ponía de relieve el papel del análisis infinitesimal sobre todo como *mental training* y consideraba mucho más importante el uso de los números complejos en la nueva técnica de corriente alterna [p. 270]. Todavía 25 años después Whited evaluaba la proporción de ingenieros que realmente utilizaría el cálculo infinitesimal en un 10% [WHITED, 1926-27, p. 616]. Tenía en mente la cuestión emergente de los ingenieros como gerentes industriales, que iba a reclamar una extensión de los *culture studies* a las escuelas técnicas (economía política, derecho comercial, psicología, etc.) y para los que el *mental training* que suponía el cálculo infinitesimal no sólo no bastaba, sino que, además, por el contrario, exigía demasiado tiempo de formación. Efectivamente, una buena parte de los debates sobre el lugar de las matemáticas en las escuelas técnicas americanas debe abordarse *también* bajo el punto de vista de que la profesión de ingeniero alcanzaba entonces una amplia relevancia social y de que la *cientificación* de la formación también abarcaba el ascenso de las ciencias sociales⁶⁸.

Ziwet llama la atención sobre el hecho de que la cuestión de la formación del ingeniero *medio* y de las necesidades *medias* de conocimientos matemáticos en la vida profesional es bien distinta de la de las *posibilidades* de una verdadera formación matemática básica en las escuelas de ingenieros:

"I believe that the scientific standard is decidedly higher in the German than in the American engineerng college [...] It is quite possible that ultimately the average German engineer knows no more mathematics than the average American engineer. All I wish to maintain is that, in my opinion, an able German student, in his Technische Hochschule, or engineering university, can gain a more thorough scientific equipment than an equally able American student in his alma mater" [ZIWET, 1908, p. 109].

La cuestión de la oferta de temarios matemáticos superiores está indudablemente en estrecha relación con la de la posibilidad de *investigación* matemática y de ingeniería en las escuelas de ingenieros americanas (cuestión *f*). Aquí no se trataba sólo de las matemáticas. Entre los participantes del Simposio de Chicago era indiscutible que entonces *casi ningún* establecimiento docente técnico superior de los Estados Unidos cultivaba de manera significativa la investigación en ingeniería o científico-matemática [*Engineering-Mathematics Symposium*, pp. 75, 79, 109]. Como causas de

esta situación se cita a menudo la larga tradición del *on-the-job learning* en la formación americana de los ingenieros [LAYTON, 1987], la deficiente organización central-estatal de una *school culture* en ingeniería [SEELY, 1993; LUNDGREEN, 1990], la excesiva carga docente e insuficiente preparación científica de los profesores [TERMAN, 1927, p. 387] y los incentivos financieros de la industria⁶⁹. La frecuente insistencia en las necesidades del ingeniero *medio* parece haber sido además expresión de un cierto recelo antielitista en el sistema educativo americano⁷⁰. Todavía veinte años después del debate de Chicago, F.E. Terman informaba en la revista *Science* de que la mayoría de las publicaciones en revistas de electrotecnia provenían de autores de la industria y no de las universidades o escuelas de ingenieros⁷¹. En este contexto Terman llama la atención de nuevo sobre el hecho de que ingenieros americanos famosos como Steinmetz, Pupin y Tesla se formaron en Europa [TERMAN, 1927, p. 388]. D.C. Jackson, del MIT, que representaba a una institución en cierto modo de excepción⁷², informaba también en 1927 de que sólo una escasa octava parte de los estudiantes americanos en los establecimientos docentes técnicos superiores llevaban a cabo un *graduate study*, esto es, investigación sencilla tras el primer grado académico (*Bachelor of Science in Engineering*). Para ello serían insuficientes también las condiciones materiales -especialmente las bibliotecas- en la mayoría de las escuelas de ingenieros [JACKSON, 1927, pp. 134-135].

4. Resumen: consecuencias del debate de Chicago y posibilidades y necesidades de reforma en USA

El debate en Chicago condujo al establecimiento de una Comisión, presidida por el matemático E.V. Huntington, que en colaboración con la *Society for the Promotion of Engineering Education* profundizó en la elaboración de un *Syllabus of Mathematics*, esto es, un plan de estudios de matemáticas patrón para escuelas técnicas superiores que fue publicado en 1914 [ARCHIBALD, 1938, p. 78].

Que en el establecimiento de este plan de estudios siempre hubo ciertos problemas de entendimiento entre matemáticos e ingenieros lo subraya Stäckel en su informe CIEM de 1914 sobre la formación matemática de los ingenieros en el contexto internacional:

"Lo difícil que es determinar la selección de la materia sobre consideraciones abstractas se hizo patente en la elaboración del Sillabus of Mathematics [...] En la reunión de Pittsburgh del año 1911 surgió una fuerte contienda a propósito de las cantidades complejas, que faltaban en el borrador presentado. Pero no eran los matemáticos los que estaban en su favor, sino los ingenieros eléctricos, lo cual ciertamente no es de extrañar en la patria de un Proteus Steinmetz. Los ingenieros

eléctricos lograron que se añadiera una sección sobre las cantidades complejas y sus aplicaciones" [STÄCKEL, 1914, p. 162]⁷³.

Efectivamente, parece que, como Stäckel escribe no por casualidad, precisamente los ingenieros de los Estados Unidos relativamente más orientados hacia las matemáticas, los ingenieros eléctricos, eran capaces de influenciar la formación matemática de los ingenieros. Inversamente, fue precisamente la falta de una fuerte tradición de la ingeniería en los establecimientos docentes técnicos superiores en otras áreas lo que impidió que se llevara a cabo un movimiento de reforma similar, una saludable presión sobre las matemáticas como en Alemania. La ausencia de presión por parte de grupos de intereses como los ingenieros en Alemania determinó precisamente que, contrariamente a lo esperado por algunos contemporáneos⁷⁴, los matemáticos puros en USA pudieron retirarse a la actividad científica tradicional⁷⁵.

Las ventajas institucionales de la ciencia americana, especialmente el establecimiento de *Engineering Schools* en las universidades punteras, en ningún caso produjo *automáticamente* una estrecha cooperación interna entre matemáticas e ingeniería⁷⁶. En la revista de la SPPE, el *Journal of Engineering Education* (JEE), aparecen aún en los años veinte las antiguas quejas sobre la descoordinación y escaso provecho científico del sistema americano de formación de los ingenieros. Tampoco la ausencia de una autoridad central en el sistema americano de educación y ciencia, que históricamente a menudo promovió la flexibilidad en el establecimiento de disciplinas sectoriales⁷⁷, fue favorable para la organización de una voluntad de reforma, como ocurriera en Alemania en la colaboración de Felix Klein con el Ministerio de Cultura prusiano⁷⁸. En 1930, en relación con el *Report* de la SPEE y los abultados estudios comparativos internacionales de W.E. Wickenden, la estandarización y la *cientifización* de los planes de formación parecen haber hecho progresos decisivos al mismo tiempo que la profesionalización de los ingenieros (especialmente la concesión de una licencia estatal) [LUNDGREEN, 1990, p. 72]. Pero la progresivamente emergente necesidad de formación de *matemáticos industriales* especializados estaba a principios de los años 40 en los Estados Unidos todavía insatisfecha⁷⁹.

Sobre el ejemplo del informe de Wickenden de 1930, como sobre algunos otros de este artículo, se puede percibir en qué medida las comparaciones internacionales, incluso entre los mismos contemporáneos, han influenciado la historia de las ciencias, pero también cómo retrospectivamente posibilitan una mejor comprensión de los desarrollos nacionales específicos.

NOTAS

1 Sobre la adopción entre 1876 y 1900 por parte de las universidades americanas de los ideales de investigación matemática *pura*, orientada a problemas autogenerados, florecientes en Alemania véase principalmente PARSHALL & ROWE [1994].

2 Noble señala que en 1928, en las escuelas técnicas superiores americanas, el número de estudiantes en ingeniería eléctrica sobrepasó ya en un 50% al de ingenieros mecánicos y civiles, mientras que los ingenieros químicos, que ciertamente eran los que menos métodos matemáticos utilizaban, alcanzaron aproximadamente la mitad de las cifras de matrícula de los ingenieros mecánicos [NOBLE, 1977, p. 39].

3 Véase al respecto la reseña de Truesdell sobre *History of Strength of Materials* de S. Timoshenko (1953), en la que deplora la "scantness of American engineer's education, which left them unable or at least disinclined to read works in foreign languages" [TRUESDELL, 1984, p. 253].

4 Véase la cita de Truesdell de la nota anterior.

5 Cf. ARCHIBALD [1938, p. 228]. Hedrick participaba activamente en la *Society for the Promotion of Engineering Education* (SPEE), entre otras, y publicó en 1909, en colaboración con O.D. Kellogg, su compañero de estudios de la época de Gotinga (1901), el libro *Applications of the Calculus to Mechanics*.

6 Véase a este respecto SERVOS [1986].

7 Hedrick escribe: "It is a mistake to imagine that the German brain is constructed so differently from the American, that the German Fuchs can grasp niceties of the calculus which necessarily escape the American sophomore. Nor is it logical to presume that the tasks of an engineer differ materially in the two countries" [HEDRICK, 1903, p. 434]. *Fuchs* era el estudiante principiante en Alemania, mientras que el *sophomore* en los USA estaba ya en su segundo año de *College*. Aquí se plantea también la diferente preparación de los estudiantes en la escuela. Cuando menos el citado postulado de igualdad fue cuestionado en más de una publicación sobre la enseñanza matemática en aquellos años, por ejemplo por el americano D.E. Smith, que en 1912 se hizo cargo del informe final de la *Comisión Internacional de la Enseñanza Matemática* (CIEM), con el tema *Intuition and Experiment in Mathematical Teaching in the Secondary Schools*, en el que, en total comunión con su maestro Felix Klein [1894, p. 46], reflexionaba sobre la influencia de los *racial habits* [SMITH, 1912, p. 369] sobre el entendimiento matemático.

8 Un ingeniero de puentes americano educado en Francia (Modjeski) habló en el simposio de 1907-08 de la "present agitation in France and Germany, especially in France, looking toward the curtailment of the current mathematical program in the engineering schools, on the ground that it is unnecessarily extensive, considerably more so than in this country" [*Joint Meeting ...*, 1907-08, p. 276]. Con ello no se refuta la opinión de Hensel sobre que no hubo en otros países movimientos antimatemáticos públicos internamente complejos comparables a la situación alemana. Por lo demás, Hensel también se remite a la ausencia -hasta entonces- de comparaciones internacionales detalladas en la bibliografía [HENSEL, 1989, p. 5].

9 PARSHALL [1984, pp. 169-170]. Asociada al *Department of Pedagogy* de Dewey en Chicago existía una *Laboratory School* en la que las potencialidades docentes de la *experiential philosophy* de Dewey, construída sobre la experiencia, se ensayaban sobre niños de primaria [PARSHALL, 1984, p. 170]. La designación *método de laboratorio* estaba en el ambiente ante el auge de las ciencias experimentales y a la vista de las conclusiones, en el sentido de atraer directamente a los ingenieros alemanes de los laboratorios científicos a las escuelas técnicas americanas para la transformación de su enseñanza. En 1936 Walther [p. 9] señala que la denominación de *laboratorio matemático* se remonta a C. Runge. De todas formas hacia 1936 el significado de *laboratorio* estaba esencialmente orientado hacia la utilización de nuevos instrumentos de cálculo.

10 "seine Leser dahin zu bringen, daß sie nicht mehr, wie leider noch viele Ingenieure, vor den Differential- und Integralzeichen Angst bekommen".

11 "Lücke, welche sich für so manchen Studierenden zwischen den mathematischen Vorlesungen und den technischen öffnet".

12 Así se desprende de valoraciones retrospectivas de ingenieros y matemáticos de los años 30 y 40, por ejemplo FRY [1941] y RICHARDSON [1943], según las cuales los matemáticos puros de alguna manera no tomaron conciencia de su retraso respecto de la matemática europea, especialmente la matemática aplicada alemana, hasta la guerra. Estas valoraciones serán parcialmente citadas en lo sucesivo para poder ordenar mejor los acontecimientos aquí centrales de 1907-08.

13 En este punto hay que llamar la atención sobre la relatividad y la condicionalidad histórica del concepto de matemática aplicada, cuya comprensión no ha sido históricamente uniforme ni siquiera por parte de los matemáticos -por ejemplo, MISES [1921, p. 1]-. Scholz [1989] prefiere la distinción entre matemática *autónoma* y *heterónoma* (heteronomer). En lo sucesivo quedan en primer plano aquellos estímulos históricos de la matemática aplicada que resultaron de la necesidad de llenar la *laguna* entre educación matemática y técnica.

14 "Die Ingenieure berufen sich in ihren Bestrebungen vielfach auf amerikanische Universitätseinrichtungen. Demgegenüber bildet es einen merkwürdigen Gegensatz, daß zahlreiche amerikanische Mathematiker z.Z. damit beschäftigt sind, die arithmetisierte Wissenschaft, die sie an europäischen Universitäten gelernt haben, in ihrem Vaterlande zur Geltung zu bringen. Die Gegensätze, um die es sich hier handelt, greifen eben durchaus über das einzelne Land auf die ganze Kulturwelt über".

15 Ya la contratación de A. Clebsch en la TH Karlsruhe en 1858 introdujo a un matemático *puro* en una escuela técnica superior alemana, un hecho que debe situarse en el contexto de la aspiración de las TH al prestigio y equiparación con las universidades [HENSEL, 1989, p. 15]. A continuación matemáticos de muchos quilates como R. Dedekind, F. Klein, W. Dyck, O. Blumenthal, E. Steinitz, C. Runge, L. Lichtenstein y otros ejercieron al menos temporalmente en TH alemanas.

16 La *matemática superior* comprendía fundamentalmente geometría analítica y cálculo infinitesimal. La enseñanza en *geometría descriptiva*, al igual que la formación matemática especial de los ingenieros eléctricos, apenas fue objeto de disputa.

17 Una excepción fue la TH·Berlin-Charlottenburg, donde por obra y gracia de Riedler hubo fuertes reducciones horarias para las matemáticas [HENSEL, 1989, p. 78].

18 "daß die mathematischen Vorlesungen and den technischen Hochschulen in die Hand eines geschulten Mathematikers gehören und nur dann einem Techniker übertragen werden dürfen, wenn derselbe zugleich ein geschulter Mathematiker ist".

19 La primera cátedra de matemática aplicada fue la de Carl Runge en Gotinga a partir de 1904. En algunas universidades (Jena, Bonn, Greifswald, etc.) se obtuvieron cátedras extraordinarias para matemática aplicada [TOBIES, 1988]. Sólo en 1920 se creó en la puntera universidad alemana de Berlín una cátedra de matemática aplicada, que ocupó Richard von Mises.

20 La Conferencia de Meran dio recomendaciones que incluían el especial desarrollo en la enseñanza escolar de la *intuición* y el *pensamiento funcional* [TOBIES, 1979b]. Especialmente esta última formulación representaba un compromiso, ya que Klein tampoco aquí consiguió una promoción ulterior, a saber la consolidación de la enseñanza infinitesimal en las escuelas superiores [TOBIES, 1979b]. El mismo discípulo de Klein, R. Fricke, cargó también en el citado artículo de 1902 contra esta promoción [pp. 244-245]. La Conferencia de Meran fue seguida atentamente también en el extranjero, especialmente en USA [ZIWET, 1908], y se intentó sacar conclusiones para las propias condiciones específicas nacionales - véase más adelante-.

21 La ausencia de matemáticos prominentes orientados hacia la investigación en los establecimientos docentes técnicos superiores americanos fue sin duda una muy importante causa del tardío reconocimiento de la necesidad de la investigación matemática aplicada por parte de los matemáticos americanos. La *mainstream* de los matemáticos americanos podía así, por ejemplo, sacar la impresión de que las quejas de los ingenieros sobre la formación matemática se debían, sencillamente, a que los matemáticos de las escuelas técnicas no eran *lo suficientemente buenos*.

22 Esta menor predisposición está también en relación con el retraso de los americanos en la investigación en ingeniería en general, que será abordado más adelante -véase SEELY [1993]-.

23 Expresión de esta *sobrecarga* es, por ejemplo, que buenos matemáticos alemanes como O. Bolza, H. Maschke y temporalmente también E. Study buscaron hacia finales del siglo XIX posibilidades de empleo en USA -véase PARSHALL & ROWE [1994]-.

24 Sobretudo R. Courant en New York, Th. von Kármán en el *California Institute of Technology* en Pasadena, Richard von Mises en Harvard (Cambridge) y W. Prager en la *Brown University* en Providence.

25 Richardson adujo luego motivos adicionales, especialmente los problemas de la educación escolar americana, en los que se entrará más adelante al hilo de las discusiones de 1907-08.

26 Este problema no va a ser discutido aquí en su generalidad teórico-científica. Debe advertirse, sin embargo, que Layton se refirió en 1987 al dominio de un *Engineering Style* americano en el siglo XIX y a que el estilo europeo, entre otras cosas más orientado hacia una argumentación matemática, no pudo

establecerse. Contrastando esta tradición con el hecho de que el *estilo* de la investigación matemática americana era muy semejante al alemán quizás se reconocen, en esta discrepancia, causas históricas de las dificultades en la formación matemática de los ingenieros americanos hacia 1900.

27 Excepciones fueron quizás H. Mason y R.G.D. Richardson, pero su influencia en USA la lograron más bien como administradores que como investigadores.

28 Entre las que Klein incluía la geometría.

29 Klein decía más adelante:

"I have shown (in my little book on Riemann's theories) that the Abelian integrals can be best understood and illustrated by considering electric currents on closed surfaces. In an analogous way, theorems concerning differential equations can be derived from the consideration of sound-vibrations; and so on" [KLEIN, 1894, p. 46].

Sólo en un segundo plano propuso Klein el desarrollo de un "abridged system of mathematics adapted to the needs of the applied sciences" [KLEIN, 1894, p. 48].

30 Esto sirve también, *mutatis mutandis*, para la *adopción del ideal de la universidad alemana* en lo que respecta a la investigación básica matemático-científica, una adopción que vino determinada esencialmente por los desarrollos internos americanos tendentes a la profesionalización de las ciencias y a la reforma de los tradicionales *Liberal Arts Colleges* [PARSHALL & ROWE, 1984].

31 Véase al respecto la carta de P. Stäckel a F. Klein de 9 de abril de 1914, en la que se lamenta de la pobre actitud colaboradora de la mayoría de los matemáticos de las escuelas técnicas superiores con la reforma de Klein [SCHUBRING, 1989, pp. 190-191]. Con respecto a la reserva de los matemáticos de la universidad alemana hacia la matemática aplicada todavía en los años 20 véase SIEGMUND-SCHULTZE [1993].

32 Que Riedler al menos reconocía la superioridad de la educación alemana en geometría descriptiva se deduce de que censuraba "la falta de una enseñanza de la construcción ordenada, cuya sustitución por 'Dibujo' no satisface las más elementales exigencias" [RIEDLER, 1894, p. 512; más al respecto, en p. 508, sobre los elementos que comprende el *Mechanical Drawing*; véanse también más adelante las correspondientes afirmaciones de americanos que admiten esto].

33 "für *wissenschaftlicher* und wohl auch weniger kostspielig und für bequemer gehalten (werde), die Belehrung nur durch *Vorlesungen* zu erteilen".

34 Otro punto adicional de coincidencia entre Klein y Riedler fue, al parecer, la apreciación de la participación del capital privado en el patrocinio de la investigación. En relación con la *Cornell University* Riedler escribe:

"Estos patronatos extraordinariamente ricos que se encuentran en muchas escuelas americanas constituyen una página de gloria en la historia del altruismo americano; de tales ejemplos [...] tenemos nosotros pocos similares que confrontar" ("Diese außerordentlich reichen Stiftungen, die sich bei vielen amerikanischen Schulen befinden, bilden ein Ehrenblatt in der Geschichte des amerikanischen Gemeinsinnes; solchen Beispielen [...] haben wir nur wenig ähnliche an die Seite zu stellen" [RIEDLER, 1894, p. 510]).

35 A este respecto véanse más adelante las observaciones de A. Ziwet sobre el reciente éxito de los cambios en la enseñanza en las escuelas técnicas superiores alemanas [ZIWET, 1908].

36 Públicamente, en una cierta actitud defensiva, Riedler escribe incluso:

"Que las escuelas técnicas americanas son inferiores frente a las nuestras es totalmente incontestable" ("Daß die amerikanischen technischen Schulen an sich gegenüber den unserigen minderwertig sind, ist gar nicht bestreitbar" [RIEDLER, 1894, p. 632]).

37 HENSEL [1989, p. 56].

De todos modos los dos informes experimentales citados de W. Hartmann (1893) y A.V. Borries (1894) se refieren a la construcción de máquinas herramienta y a los ferrocarriles. En electrotecnia, en la que trabajaban emigrantes europeos como C. Steinmetz, la situación era, al parecer, otra.

38 En una de las más conocidas opiniones de un matemático en una escuela técnica superior alemana a propósito del *movimiento antimatemático* se dice:

"Los ingenieros alemanes no querrán imitar el método de ciertos estudiantes extranjeros que vienen a nosotros, porque sólo quieren cazar, a poder ser rápidamente, algunas recetas técnicas [...] para un objetivo concreto [...] Estos son los peores especialistas técnicos; de ellos saldrán astutos hombres de negocios, pero nunca ilustres ingenieros" ("Deutsch Ingenieure werden das Verfahren gewisser ausländischer Studenten nicht nachahmen wollen, die zu uns herüberkommen, weil sie nur möglichst schnell für einen bestimmten Zweck [...] einige technische Rezepte erhaschen wollen [...] Das sind die schlimmsten technischen Spezialisten; aus ihnen werden wohl geriebene Geschäftsleute, aber niemals hervorragende Ingenieure" [PAPPERITZ, 1899, p. 20]).

39 La fundación de la MAA vino provocada [PARSHALL & ROWE, 1994, p. 419] por una *growing tension between teaching and research* en USA. Los matemáticos investigadores de la AMS no habrían estado dispuestos a admitir entre ellos a los profesores de matemáticas. Similares tendencias escisionistas entre profesores e investigadores las hubo también en la misma época en Alemania, pero fueron algo atenuadas por la fundación de la *Reichsverband deutscher mathematischer Vereine* (Federación de Sociedades Matemáticas Alemanas) en los años 20 [MEHRTENS, 1986, p. 310].

40 Presentadas por dos matemáticos, un físico teórico y un ingeniero en ejercicio.

41 Como es sabido, en 1895 se tomó un acuerdo de organización corporativa directriz, la *Verein deutscher Ingenieure* (VdI, Sociedad de Ingenieros Alemanes), a la que en 1897 los 33 profesores de matemáticas de las escuelas técnicas superiores -o sea, una clara minoría en estos establecimientos- hubieron de presentar una declaración al menos parcialmente crítica [HENSEL, 1989, pp. 282-285].

42 El mismo físico Woodward, originariamente formado como ingeniero, parece aludir a una tradición de esnobismo y autoenquistamiento elitista de los matemáticos americanos cuando en el Simposio sobre los ingenieros dice:

"They have won a place in public esteem without which it would have been impossible to hold such a conference as we are holding to-day. This esteem has been won in spite of much opposition, coming especially from the older academic institutions" [WOODWARD, 1908, p. 137].

43 Esta contradicción afloró especialmente pronunciada en las contribuciones del ingeniero G. Swain [1908] y del matemático Slichter [1908].

44 Fricke expresó esta doble función del siguiente modo:

"Perry, aún siendo él mismo un técnico, ha acreditado la correcta apreciación de las matemáticas como 'ciencia auxiliar básica' de la técnica" ("Perry, obgleich er selber Techniker ist, [hat] sich doch die richtige Würdigung der Mathematik als einer 'grundlegenden Hilfswissenschaft' der Technik bewährt" [FRICKE, 1902, p. 241]).

La doble función de las matemáticas aparecía también cognitivamente en la geometría descriptiva (dibujo y métodos gráficos, SCHOLZ [1989] y en el doble problema de la construcción de modelos y la solución particular -aritmética y gráfica-.

45 TOWNSEND [1908, p. 78]; SWAIN [1908, p. 261]. En este aspecto influyeron los puestos mucho mejor pagados de la industria y el relativamente escaso -en comparación con Alemania- prestigio social de los profesores en una *Engineering School*. En un *Report of the Investigation of Engineering Education 1923-1929* la SPEE dice todavía en 1930:

"Why is it that in America an engineer who has gained some distinction in industry almost automatically declines a call to a professorship on the ground that his present work is more significant and stimulating, while in Germany he almost automatically accepts it as a step to higher responsibility and public honor?" [*Report...*, p. 69].

46 STÄCKEL [1914, p. 165].

Ciertamente Stäckel recomendó que la mecánica, debido a su posición básica, fuera enseñada bajo diferentes aspectos por las tres bandas en cuestión, físicos, ingenieros y matemáticos. W.L. Duren se lamentaba de la pérdida de la mecánica para los matemáticos también en el plano de la investigación y señalaba la dinámica topológica de Birkhoff como *only part of mechanics left to mathematics* [DUREN, 1989, p. 406]. En la época del *movimiento antimatemático* en Alemania la mecánica todavía era mayoritariamente impartida por matemáticos [HENSEL, 1989, p. 23].

47 Ziwet dijo en su ponencia principal de Chicago sobre nuevos desarrollos en las escuelas técnicas superiores alemanas:

"These exercises are a comparatively recent innovation. In my time the student had nothing but lectures; to gain a working knowledge of the subject he had to take a text-book and work for himself. Even now, these exercises are optional; they probably exist everywhere, although the table may not show them" [ZIWET, 1908, p. 110].

Sobre la implantación internacional de *ejercicios* en la formación matemática de los ingenieros véase STÄCKEL [1914, p. 161].

48 El ingeniero del MIT Swain señalaba en su comunicación:

"In Germany, where the students in the universities have had the advantage of a thorough preliminary training, they may be able to appreciate lectures on mathematical subjects, although I doubt even this in the case of the average student. For students in our American universities, however, I believe that lectures in mathematics are almost useless, except for a very small number of students" [SWAIN, 1908, p. 260].

49 Formulado simplifícadamente: la formación de masas democrática americana frente la formación de élites alemana.

50 Simplifícadamente: sistema americano descentralizado frente a sistema alemán centralizado.

51 Este plano en parte depende históricamente del primero. Sobre la contraposición entre *school culture* y *shop culture* en la formación de los ingenieros véase LUNDGREEN [1990]. La *shop culture*, esto es, la tradición de *on-the-job learning* [LAYTON, 1987, p. 163] se mantiene sobre todo en Inglaterra, aunque también en USA, por más tiempo que en Alemania.

52 Véase: "Alexander Ziwet-in memoriam". *Bulletin AMS*, 35 (1929), 259-260. Ziwet, que se graduó en la TH de Karlsruhe en 1880 como ingeniero de construcción y posteriormente ejerció como matemático en el *College of Engineering* de la Universidad de Michigan, publicó en 1894 las Conferencias de Evanston de Klein [KLEIN, 1894].

53 Vale la pena señalar en primer lugar que Ziwet se refería sobre todo al ejemplo alemán que, como él mismo señala, conoce mejor, aunque al mismo tiempo supone que la formación teórica de los ingenieros franceses se sitúa a un nivel incluso superior al alemán [ZIWET, 1908, p. 109]. Esto arroja una luz tanto sobre el carácter internacional del problema como sobre la primacía del ejemplo alemán, condicionada por las biografías personales de los matemáticos y técnicos americanos.

54 W.L. Duren [1989] presentó por esta razón elocuentes quejas sobre el desarrollo del sistema educativo americano y el descuido de las matemáticas, intelectualmente especialmente exigentes, que en su opinión alcanza hasta nuestros días.

55 *Engineering-Mathematics Symposium*, p. 294. Recuérdese también la opinión que A. Riedler se había formado ya en 1894 sobre la geometría descriptiva en las escuelas técnicas americanas.

56 Según Seely [1993], era una de las pocas excepciones entre los ingenieros americanos que importaron a los Estados Unidos el *European style of engineering*, en el caso de Swain los *advanced methods of structural analysis* [p. 364].

57 MISES [1921, p. 8]. Mises criticaba, sin embargo, que el rechazo de la fundamentación proyectiva de la geometría hubiera llegado tan lejos, aunque "los problemas inmediatos de la representación gráfica no pueden justificar una extensa formación en geometría descriptiva" ("die unmittelbaren Aufgaben der zeichnerischen Darstellung eine weitgehende Ausbildung in der darstellenden Geometrie nicht rechtfertigen können" [MISES, 1921, p. 8]).

58 Por ejemplo, así escribe el discípulo de Klein M. Bôcher a su maestro en 1892:

"No se como es en Alemania, pero aquí y también en Inglaterra los físicos saben bien poco de la geometría proyectiva" ("Ich weiß nicht wie es in Deutschland ist, aber hier zu Lande und auch wohl in England wissen die Physiker herzlich wenig von der projektiven Geometrie" [NL Klein 8, Nr. 153, Bôcher an Klein 27.6.1892, S.5]).

59 En este sentido, ambas geometrías tuvieron eco en los exámenes de 1898.

60 De todas formas no queda totalmente claro a que se refiere Swain con *powerful modern methods of analysis*. Podría estar aludiendo también a los más

modernos métodos de la física matemática, que los ingenieros raramente utilizan, como los de Poincaré en mecánica celeste o las ecuaciones integrales de Hilbert en dinámica de gases. Los métodos gráficos tenían tradicionalmente preeminencia entre los ingenieros, debido al ahorro de tiempo que supusieron en comparación con el invertido en los cálculos de los astrónomos del siglo XIX.

61 El influyente matemático jefe de Bell, Th. Fry, observaba en un informe sobre *Industrial Mathematics* de 1941:

"The student of modern mathematics will be impressed at once by [...] the heavy emphasis on algebra and analysis, and the almost *complete absence of geometry* beyond the elementary grade [...] It is not easy to say why advanced geometry plays no larger part in industrial research; however, the fact remains that it does not" [FRY, 1941, p. 269].

El punto de vista geométrico todavía conservaba su importancia tanto en matemática pura como en física e ingeniería (especialmente en la construcción de modelos).

62 También el discurso de Woodward como presidente de la AMS el 28 de diciembre de 1899, que fue publicado en la revista alemana *Naturwissenschaftlichen Rundschau* bajo el título de *Die Fortschritte der angewandten Mathematik im letzten Jahrhundert* (Los progresos de la matemática aplicada en el último siglo), revelaba su idea de la *matemática aplicada* exclusivamente orientada a la física matemática. Este acento puede estar en relación con el hecho de que la mejora de la formación matemática de los físicos estaba entonces en USA aún más a la orden del día que en Europa [SERVOS, 1986]. Además la ingeniería eléctrica se apoyaba fuertemente, como es natural, en principios básicos de la física.

63 Véase a este respecto BUTLER [1992, pp. 198ss.], que establece una bifurcación de la matemática aplicada en física matemática y matemática para la ingeniería en los años 20. Entre los matemáticos aplicados predominan los trabajos sobre los fundamentos de la teoría de la relatividad, como los de la Escuela de Princeton de los años 20 (L. Eisenhart, O. Veblen y otros). En 1937 el matemático aplicado J.L. Synge, nacido en Irlanda y a la sazón contratado en Toronto, criticaba el predominio de la física matemática abstracta en USA. Oldenburger habló en 1942 de *two schools into which [applied mathematics] can be divided [...] mathematical physics and engineering mathematics* [OLDENBURGER, 1942-43, p. 435].

64 En su informe *Industrial Mathematics* de 1941 Fry observa a este respecto:

"A student with strong theoretical interests who enrolls in physics these days is almost certain to spend most of his time on modern mathematical physics, which insists almost as little on fidelity to experience and experiment as does 'pure mathematics' [...] At the moment, therefore, engineering schools must be looked upon as the most hopeful sources of industrial mathematicians" [FRY, 1941, p. 265].

65 Lundgreen [1990, p. 66] se refiere, en este contexto, a un *symbolic threshold of calculus in mathematics*.

66 Al parecer, en la enseñanza de las ecuaciones diferenciales hubo tras 1908 incluso retrocesos. Así, por ejemplo, H.W. Tyler, vicepresidente de la *Society for the Promotion of Engineering Education*, advertía en una discusión en 1927 de los

retrocesos en la enseñanza del cálculo infinitesimal "following the fate of differential equations, now taken only by students who expect to specialize in higher design" [TYLER, 1926-27, p. 315]. Indudablemente Tyler no incluía, sin embargo, a los estudiantes de electrotecnia en su juicio. Nótese que Stäckel, en su informe comparativo internacional de 1914, señala que la necesidad de la enseñanza de las ecuaciones diferenciales debe ser reconocida de forma generalizada [STÄCKEL, 1914, p. 162].

67 Como ponen de manifiesto las observaciones de Fricke y Perry citadas al principio.

68 Noble explora en su libro sobre todo *este* aspecto, dirigido a las ciencias sociales, del ascenso del *corporate capitalism* en USA. Noble señala que en 1924 dos tercios de los licenciados de las escuelas de ingenieros americanas ejercieron funciones gerenciales en la industria en los quince años posteriores a su graduación [NOBLE, 1977, p. 41]. Los *culture studies* requirieron en breve el 20% del tiempo de formación en las escuelas de ingenieros.

69 Esto era, según un informe americano de la CIEM de 1960, realizado bajo la dirección de E.B. van Vleck, un problema singular precisamente para la matemática *aplicada*, pues las profesiones lucrativas le eran especialmente próximas:

"The side-tracking of genuine mathematical talent to engineering work is most seriously felt in applied rather than in pure mathematics. Precisely here, where the American mind might be expected to scintillate with flashes of genius, there is a real poverty of talent" [VAN VLECK, 1910-11, p. 95].

70 Los debates sobre una contradicción entre *excellence* y *democracy* en el sistema científico y educativo americano, en atención a la notable exigencia de cualidades especiales para las matemáticas, llegan hasta la actualidad. Véase, por ejemplo, DUREN [1989].

71 W.E. Wickenden escribe a este respecto en un influyente informe comparativo internacional de 1930:

"The Germans, whose life depends on maintaining technical preeminence, have little fear of our universities, but that of our industrial research laboratories is giving them serious concern" [WICKENDEN, 1930, p. 1009].

72 Noble [1977, pp. 136ss.] pone de relieve que el *Massachusetts Institute of Technology* era ya en los años 20 un líder internacional en la enseñanza y la investigación electrotécnica. Aquí hubo también estrecha colaboración entre ingenieros como V. Bush y matemáticos como N. Wiener. Véase: HENSEL, S. "Bridging the Boundaries between Mathematics and Engineering: Operational Calculus and 'Electrical Mathematicians' in the work of Vannevar Bush" [Ms. 1992].

73 "Wie schwierig es ist, auf Grund abstrakter Erwägungen die Auswahl des Stoffes festzulegen, das zeigte sich bei der Bearbeitung des Syllabus of Mathematics [...] Auf der Versammlung zu Pittsburgh im Jahre 1911 erhob sich nämlich ein heftiger Kampf um die komplexen Größen, die in dem vorgelegten Entwurf fehlten. Allein, nicht die Mathematiker waren es, die zu ihren Gunsten eintraten, sondern die Elektroingenieure, was freilich in der Heimat eines Proteus Steinmetz nicht zu verwundern ist. Die Elektroingenieure haben es durchgesetzt,

daß ein Abschnitt über die komplexen Größen und deren Anwendungen hinzugefügt wurde".

74 Gutzmer creía en 1903 que la ausencia de *intereses parciales* - sean los de los ingenieros o los académicos [GUTZMER, 1903, p. 349] posibilitaría una reforma de la enseñanza americana en el sentido de la consideración de las aplicaciones.

75 W.L. Duren criticaba en un artículo muy emotivo la ocasión de reforma desperdiciada y el estancamiento de la matemática americana en la investigación pura. Sobre el discurso de Moore de 1902 Duren dijo: *He did not see what was happening* [p. 406]. La separación de intereses entre los profesores de matemáticas y los matemáticos investigadores se hizo especialmente patente con la fundación de la *Mathematical Association of America* en 1915. Mientras que en Alemania, a consecuencia de la Reforma de Klein, se fundaba, entre otras cosas, el *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* (Revista de Matemática Aplicada y Mecánica) en 1921 y se creaba un sistema de instancias de comunicación entre profesores de matemáticas e investigación, así como entre matemática pura y aplicada [MEHRTENS, 1986, p. 319], en USA, por ejemplo, la fundación del *Quarterly of Applied Mathematics* no se produjo hasta 1943.

76 Como demandaba también Townsend en su ponencia de Chicago

"in those universities having large engineering departments [...] a closer correlating of the work of the mathematical department with the theoretical work in engineering and mathematical physics" [TOWNSEND, 1908, p. 79].

El *Report* de la SPEE de 1930 informaba todavía de que las matemáticas para estudiantes de ingeniería en las grandes universidades eran generalmente impartidas por matemáticos ajenos a las *Engineering Schools* [Report..., 1930, p. 291]. Quizás fuera una circunstancia afortunada para el desarrollo de la matemática aplicada alemana el que Klein fracasara en su proyecto de unión de las escuelas técnicas superiores con las universidades, de modo que la institucionalización de la *matemática aplicada* en las universidades se llevó a cabo como *compromiso*.

77 Así argumenta, por ejemplo, Ben-David [1971, p. 1495]: la estadística matemática pudo establecerse más fácilmente en los años 20 en USA debido a la estructura democrática y flexibilidad de los *Departments* americanos y su cooperación interna, frente a la rigidez del sistema de institutos de las universidades alemanas.

78 El americano J.W.A. Young advertía ya en 1906 contra un malentendido al que el multiforme sistema de educación americano podía conducir. A primera vista se tenía la impresión de que en América *se corría siempre tras la última novedad* [YOUNG, 1906, p. 132], pero la ausencia de una administración central causaba el que "en los Estados Unidos los cambios radicales generalmente nunca tuvieran tan rápido efecto como en Alemania y Francia".

79 Fry escribe entonces bajo el efecto de la quema [FRY, 1941, p. 241, 246]:

"Though the United States holds a position of outstanding leadership in pure mathematics, there is no school which provides an adequate mathematical training for the student who wishes to use the subject in the field of industrial applications rather than to cultivate it as an end in itself. Both science generally, and its industrial applications in particular, would be advanced if a group of

suitable teachers were brought together in an institution where was also a strong interest in the basic sciences and in engineering".

FUENTES

NL Klein - Fondo (*Nachlaß*) Felix Klein, Niedersächsische Staats - und Universitätsbibliothek Göttingen, Sección de Manuscritos.

BIBLIOGRAFIA

ARCHIBALD, R.C. (1938) *A Semicentennial History of the American Mathematical Society, 1888-1938*. New York, American Mathematical Society, vol. 1 [reprinted New York, Arno Press, 1980].

BEN-DAVID, J. (1971) *The scientist's role in society. A comparative study*. Englewood Cliffs, Prentice Hall.

BUTLER, L. (1992) *Mathematical Physics and the American Mathematics Community*. Chicago, Tesis Doctoral inédita.

CROWE, M.J. (1985) *A History of Vector Analysis*. New York, Dover.

DUREN, P. (ed.) (1988-89) *A Century of Mathematics in America*. Providence, AMS, 3 vols.

DUREN, W.L. (1989) "Mathematics in American Society". En: P. Duren (ed.), *A Century of Mathematics in America*. Providence, AMS, II, 399-447.

"Engineering-Mathematics Symposium". *Science*, 28(1908), 65-79, 109-113, 129-138, 257-268, 289-299.

FRICKE, R. (1902) "Über den mathematischen Hochschulunterricht". *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung (JDMV)*, 11, 236-247.

FRY, Th. (1941) "Industrial Mathematics". *The Bell System Technical Journal*, 20, 255-292.

GUTZMER, A. (1903) "Verbesserung des mathematischen Unterrichts in Nordamerika". *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung*, 12, 348-349.

HATHAWAY, A.S. (1900-01) "Pure Mathematics for Engineering Students". *Bulletin American Mathematical Society*, 7, 266-271.

HEDRICK, E.R. (1903): "A German Calculus for Engineers". *Bulletin AMS*, 9, 434-442.

HENSEL, S. (1989) "Die Auseinandersetzungen um die mathematische Ausbildung der Ingenieure an den Technischen Hochschulen in Deutschland Ende des 19. Jahrhunderts". En: S. Hensel; K.N. Ihmig & M. Otte, *Mathematik und Technik im 19. Jahrhundert in Deutschland*. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1-111.

HENSEL, S.; IHMIG, K.-N. & OTTE, M. (1989) *Mathematik und Technik im 19. Jahrhundert in Deutschland*. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht.

JACKSON, D.C. (1927) "Graduate Study in the Engineering Schools". *The Journal of Engineering Education*, 18, 125-135.

"Joint Meeting of Mathematicians and Engineers at the University of Chicago". *Bulletin AMS*, 14(1907-08), 269-282.

KLEIN, F. (1894) "On the Mathematical Character of Space-Intuition, and the Relation of Pure Mathematics to the Applied Sciences". En: F. Klein, *Lectures on Mathematics*. New York, MacMillan, 41-50.

KLEMM, F. (1966) "Die Rolle der Mathematik in der Technik des 19. Jahrhunderts". *Technikgeschichte*, 33, 72-96.

LAYTON, E.T.Jr. (1987) "European Origins of the American Engineering Style of the Nineteenth Century". En: N. Reingold & M. Rothenberg (eds.), *Scientific Colonialism. A Cross-Cultural Comparison*. Washington D.C., Smithsonian Institution Press, 151-166.

LOREY, W. (1911) *Staatsprüfung und praktische Ausbildung der Mathematiker an den höheren Schulen Preußens und einigen norddeutschen Staaten*. Leipzig & Berlin.

LUNDGREEN, P. (1990) "Engineering Education in Europe and the U.S.A., 1750-1930: The Rise to Dominance of School Culture and the Engineering Professions". *Annals of Science*, 47, 33-75.

MEHRTENS, H. (1986) "Angewandte Mathematik und Anwendungen der Mathematik im nationalsozialistischen Deutschland". *Geschichte und Gesellschaft*, 12, 317-347.

MISES, R. von (1921) "Über die Aufgaben und Ziele der angewandten Mathematik". *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 1, 1-15.

MOORE, E.H. (1903) "On the Foundations of Mathematics". *Science*, 17, 401-416.

NOBLE, D.F. (1977) *America by Design. Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism*. Oxford/New York/Toronto/Melbourne, Oxford University Press.

OLDENBURGER, R. (1942-43) "Pure and Applied Mathematics". *Journal of Engineering Education*, 33, 432-437.

OSTROWSKI, A. (1966) "Zur Entwicklung der numerischen Analysis". *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung*, 68, 97-111.

PAASWELL, G. (1914-15) "An Appeal to Producing Mathematicians". *Bulletin AMS*, 21, 127-130.

PAPPERITZ, E. (1899) *Die Mathematik an den Deutschen Technischen Hochschulen*. Leipzig, Veit.

PARSHALL, K.H. (1984) "Eliakim Hastings Moore and the Founding of a Mathematical Community in America, 1892-1902". Reprinted in: P. Duren (ed.) (1988) *A Century of Mathematics in America*. Providence, AMS, II, 155-175.

PARSHALL, K.H. & ROWE, D.E. (1994) *The Emergence of the American Mathematical Research Community, 1876-1900: J.J. Sylvester, Felix Klein, and E.H. Moore*. Providence, R.I./London, American Mathematical Society & London Mathematical Society.

PYENSON, L. (1983) *Neohumanism and the Persistence of Pure Mathematics in Wilhelmian Germany*. Philadelphia, American Philosophical Society.

REINGOLD, N. & ROTHENBERG, M. (eds.) (1987) *Scientific Colonialism. A Cross-Cultural Comparison*. Washington D.C., Smithsonian Institution Press.

Report of the Investigation of Engineering Education 1923-1929. Pittsburgh, Society for the Promotion of Engineering Education, vol. 1, 1930.

RICHARDSON, R.G.D. (1943) "Applied Mathematics and the Present Crisis". *American Mathematical Monthly*, 50, 415-423.

RIEDLER, A. (1894) "Amerikanische technische Lehranstalten". *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 38, 405-409, 507-514, 608-615, 629-636.

ROWE, D. & McCLEARY, J. (eds.) (1989) *The History of Modern Mathematics*. Volume II: *Institutions and Applications*. Boston, Academic Press.

RUNGE, I. (1949) *Carl Runge und sein wissenschaftliches Werk*. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht.

SCHOLZ, E. (1989) *Symmetrie, Gruppe, Dualität: Zur Beziehung zwischen theoretischer Mathematik und Anwendungen in Kristallographie und Baustatik des 19. Jahrhunderts*. Berlin, Deutscher Verlag der Wissenschaften.

SCHUBRING, G. (1989) "Pure and Applied Mathematics in Divergent Institutional Settings in Germany: The Role and Impact of Felix Klein". En: D. Rowe & J. McCleary (eds.), *The History of Modern Mathematics*. Boston, Academic Press, II, 171-220.

SEELY, B. (1993) "Research, Engineering, and Science in American Engineering Colleges: 1900-1960". *Technology and Culture*, 34, 344-386.

SERVOS, J. (1986) "Mathematics and the Physical Sciences in America, 1880-1930". *Isis*, 77, 611-629.

SIEGMUND-SCHULTZE, R. (1993) "Hilda Geiringer-von Mises, Charlier Series, Ideology, and the Human Side of the Emancipation of Applied Mathematics at the University of Berlin during the 1920s". *Historia Mathematica*, 20, 364-381.

SLICHTER, Ch.S. (1908) "The Teaching of Mathematics to Students of Engineering: From the Standpoint of the Professor of Mathematics in the Engineering College". *Science*, 28, 261-263 [cf. *Engineering-Mathematics Symposium*].

SMITH, D.E. (1912) "Intuition and Experiment in Mathematical Teaching in the Secondary Schools". *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung*, 21, 363-383.

STÄCKEL, P. (1914) "Die mathematische Ausbildung der Ingenieure in den verschiedenen Ländern". *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung*, 23, 149-169.

STEVENSON, A.R. (1942-43) "What Mathematical College Training Industry Expects from Young Engineers". *Journal of Engineering Education*, 33, 670-675.

SWAIN, G.F. (1908) "The Teaching of Mathematics to Students of Engineering: From the Standpoint of the Professor of Engineering". *Science*, 28, 257-261 [cf. *Engineering-Mathematics Symposium*].

Syllabus of Mathematics. Pittsburgh, Society for the Promotion of Engineering Education, 1914.

SYNGE, J.L. (1937-38) "The Missing Link between the Engineer and the Mathematician". *The Journal of Engineering Education*, 28, 122-131.

TERMAN, F.E. (1927) "The Electrical Engineering Research Situation in the American Universities". *Science*, 65, 385-388.

TOBIES, R. (1979a) "Zur internationalen wissenschaftsorganisatorischen Tätigkeit von Felix Klein (1849-1925) auf dem Gebiet des mathematischen

Unterrichts". *NTM - Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin*, 16(1), 12-29.

TOBIES, R. (1979b) "Zur wissenschaftsorganisatorischen Tätigkeit von Felix Klein (1849-1925) im Rahmen der Breslauer Unterrichtskommission". *NTM*, 16(2), 50-63.

TOBIES, R. (1988) "Felix Klein und die Anwendungen der Mathematik". *Wissenschaftliche Zeitschrift Universität Jena, Naturwissenschaftliche Reihe*, 37(2), 259-270.

TOWNSEND, E.J. (1908) "Present Condition of Mathematical Instruction for Engineers in American Colleges". *Science*, 28, 69-79 [cf. *Engineering-Mathematics Symposium*].

→ TRUESDELL, C. (1984) *An Idiot's Fugitive Essays on Science*. New York/Berlin, Springer.

TYLER, H.W. (1926-27) "Discussion: The Engineering Course as a General Education, May, 1926". *The Journal of Engineering Education*, 17, 315-316.

VAN VLECK, E.B. (1910-11) "The preparation of College and University Instructors in Mathematics". *Bulletin of the American Mathematical Society*, 17, 77-100.

WALTHER, A. (1936) "Zur Behandlung der Mathematik auf der Technischen Hochschule". *Technische Erziehung*, 11, 13-19.

WHITED, E.W. (1926-27) "The Engineering Course as a General Education". *The Journal of Engineering Education*, 16, 615-620.

WICKENDEN, W.E. (1930) "A comparative Study of Engineering Education in the United States and in Europe". En: *Report of the Investigation of Engineering Education 1923-1929*. Pittsburgh, Society for the Promotion of Engineering Education, I, 748-1015.

WOODWARD, R.S. (1900) "Die Fortschritte der angewandten Mathematik im letzten Jahrhundert". *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 15, 249-252, 262-266, 273-276.

WOODWARD, R.S. (1908) "The Point of View in Teaching Engineering Mathematics". *Science*, 28, 134-138 [cf. *Engineering-Mathematics Symposium*].

YOUNG, J.W.A. (1906) Die Reformbewegungen im mathematischen Unterrichte in den Vereinigten Staaten Nordamerikas". *Jahresbericht der Deutschen Mathematikervereinigung*, 15, 131-141.

ZIWET, A. (1908) "The Teaching of Mathematics to Engineering Students in Foreign Countries". *Science*, 28, 109-113.