

De Bélidor a Navier a través de la Ecole Polytechnique: la consolidación de la ciencia de la ingeniería matemática en Francia

Janis Lungins

RESUMEN

La pregunta perenne de qué cambia y qué no cambia en historia es particularmente apropiada ahora en relación con la Revolución Francesa y algunas de las instituciones que surgieron en aquella época. Siempre ha existido un movimiento —a menudo acompañado con juicios de valor negativos— para minimizar los cambios traidos por la Revolución en la cultura y la sociedad. En lugar de tratar explícitamente con los efectos políticos y sociales que han visto un renacer de interés durante el bicentenario, este ensayo examinará una institución de educación científica y técnica que ha sido considerada por mucho tiempo como una de las grandes instituciones seminales de la Revolución —la Ecole Polytechnique. Discutiré que muchas de las características notables de la Ecole Polytechnique han sido consideradas mucho más innovadoras de lo que en realidad fueron y, sin embargo, la influencia de la revolución, a pesar de que se desvaneció muy rápidamente, permaneció fuerte bajo un nivel menos evidente pero igualmente decisivo.

ABSTRACT

The perennial question of what changes and what does not in history is particularly appropriate today regarding the French Revolution and some of the institutions which appeared at that time. There has always been a movement often accompanied with negative value judgements —to minimize the changes brought about in culture and society by the Revolution. Rather than dealing with the explicitly political and social effects that have seen a revival of interest during the bicentenary, this paper will look at an institution of scientific and technical education that has long been considered as one of the great seminal institutions of the Revolution —the Ecole Polytechnique. I will argue that many of the Ecole Polytechnique's salient features have been considered more novel

than they actually were, yet the influence of the Revolution, although mitigated rather quickly, remained strong on a less evident but equally decisive level.

He dicho antes (*Mathesis 7* (1991)) que Bélidor había tratado de enseñar un nuevo lenguaje a los ingenieros, un lenguaje que necesitaban para entender y poder aplicar las numerosas aportaciones de científicos académicos, como Daniel Bernoulli, Euler, Mariotte y otros, a las soluciones de importantes problemas de ingeniería. A esos hombres les interesaban en parte los problemas técnicos, como Condorcet (III, 27-8), lo expresó más tarde en su panegírico a Euler, por las oportunidades que los problemas prácticos ofrecían para desarrollar y demostrar su virtuosismo matemático por lo cual son mejor conocidos hoy tanto por los matemáticos como por los no matemáticos. Pero también tenían un genuino interés en los problemas técnicos en sí mismos, a fin de cumplir sus deberes como miembros de las academias científicas y a causa de las posibles aplicaciones de sus matemáticas al mejoramiento de la condición del hombre en el mundo: concepto heredado de la ideología baconiana en el siglo XVIII. Bélidor intentó sintetizar y traducir para los ingenieros la obra que sus colegas académicos más creativos habían escrito. Pero ya antes señalé que no tuvo más éxito que gente como Euler al tratar de que sus ideas formaran parte de la formación intelectual ordinaria del ingeniero común (Truesdell 241). A un ingeniero de talento, como Coulomb, se le juzgaba tanto por su trabajo diario de ingeniero y por sus habilidades prácticas (sobre todo, en la esfera de la administración y dirección) como por sus memorias referentes a la ciencia de la ingeniería que tan cálida acogida recibieron en la Academia Real de Ciencias y que muy pronto dejaron en el olvido la mayor parte de sus colegas profesionales.

Esto comenzó a cambiar a lo largo del siglo, y uno de los momentos decisivos fue sin duda la fundación de una escuela central de ingeniería militar en la ciudad guarnición de Mézières en el noreste de Francia en 1749 (Taton 1964). Había en ella un profesor permanente de matemáticas. Nollet, que también era profesor visitante de física y miembro de la Academia (de 1752 en adelante el puesto de profesor permanente de matemáticas lo desempeñó Bossut, que más tarde también sería miembro de la Academia Real de Ciencias). El taller, que estaba unido a la escuela militar y cuya misión era proporcionar a los alumnos una formación práctica en el labrado de la madera y de la piedra, contaba tam-

bién con un profesor de matemáticas, el ayudante de Bossut. A partir de 1764 ese puesto lo ocupó Monge, una de las figuras cimeras en el desarrollo de la geometría descriptiva moderna. La escuela estaba, pues, dotada de profesores de excelente calidad académica, y también se escogía rigurosamente a los alumnos por medio de un difícil examen competitivo aplicado por un miembro de la Academia Real de Ciencias. El primer examinador fue Camus, que escribió además un libro de matemáticas para sus alumnos y a quien sucedió Bossut. Este continuó la tradición de realizar exámenes rigurosos, escribiendo además una serie de libros estándar de mejor calidad que los de su predecesor. No merizó la calidad del personal docente cuando Bossut renunció por haber sido elegido miembro de la Academia de Ciencias. En efecto, cuando éste dejó su puesto en Mézières para irse a radicar en París, fue sustituido por Monge, no sólo un excelente matemático sino además un profesor extraordinario en todos los aspectos y alentador.

Así, vemos que la formación académica de los ingenieros militares estaba no sólo bien organizada después de mediados de siglo, con un magnífico nivel y que se impartía a estudiantes cuidadosamente seleccionados y capaces de asimilarla, ocupando los matemáticos un lugar importantísimo en el programa de estudios, sino que además seguía mejorando sin cesar. Pero este panorama tan atractivo de la situación en Mézières no debe engañarnos ante un hecho importante: mientras que los administradores de gran jerarquía en el nivel ministerial de la capital apoyaban el mejoramiento general y la matematización de la enseñanza ingenieril y eran solícitos a las recomendaciones de los examinadores académicos, el verdadero jefe de la escuela era un oficial de ingeniería que enseñaba los aspectos prácticos de la profesión de ingeniero militar, sobre todo mediante sesiones de trabajo de campo y de dibujo, participando además en la evaluación del alumnado.

Más aún, se sabe que había fricción, social e intelectual, entre el personal militar y los profesores civiles de ciencia. A Bossut se le acusó de "pereza" y de dedicar demasiado tiempo a la investigación matemática, lo cual se pensaba que le distraía de sus funciones específicas en la escuela [Augoyat II, 477-78].¹ Otro hecho muy ilustrativo al respecto es el despido de Bélidor de su cátedra en la escuela de artillería de La Fère por oponerse (con toda razón) a la idea tradicional de la cantidad necesaria de pólvora para lograr el alcance máximo. Aunque salvaron su carrera otros miembros de gran jerarquía en la milicia, todo parece indicar que ni el talento ni el prestigio eran suficientes para evitar que alguien

perdiera su empleo en la escuela militar. En todo conflicto entre oficiales y profesores —incluso tratándose de profesores que tuvieran un rango militar como sucedió en el caso de Bétidor, más bien indistintamente—, aquéllos siempre tenían la ventaja.

También debe tenerse en mente que la estancia de todos los ingenieros militares en la escuela duraba dos (o, a lo más tres) años. El resto de su vida la pasaban en el cuerpo bajo el mando de oficiales militares, cuyos niveles más altos estaban monopolizados por personas que no habían asistido a Mézières. La buena redacción, los dibujos nítidos y los informes impecables, lo mismo que el valor y el ingenio en el campo de batalla, contaban más que el dominio de las matemáticas [Gillmor 16-17]. Además, la retórica que apoya a las matemáticas no ha de confundirse con un verdadero aprecio de su utilidad directa. Por ejemplo, esa disciplina iba adquiriendo cada día mayor prestigio en el ejército regular, incluso más allá de las armas técnicas, pero se reconocía su valor para inculcarle a los estudiantes los hábitos de trabajo y subordinación, así como el mejoramiento general del arte de pensar [Bien]. Es posible que el ministro de guerra d'Argenson haya querido que "todos los ingenieros hablasen el mismo lenguaje matemático" y los ingenieros y artilleros admitían su utilidad en el trabajo, pero con muy pocas aunque brillantes excepciones, se le daba poca prioridad a la investigación de la ciencia de la ingeniería [Taton 1964, 575]. Más aún, las matemáticas que utilizaban en su actividad diaria eran casi siempre los conceptos básicos de aritmética y geometría, no el álgebra y mucho menos el cálculo. En efecto, la presencia de Monge en Mézières, con su interés por la geometría descriptiva, tal vez hasta haya reforzado el énfasis que los ingenieros tendían a darle a la geometría, disminuyendo con ello el de la importancia que Bétidor le había concedido al álgebra en sus libros. Es razonable ciertamente suponer que la ingeniería militar, debido a su interés por la elaboración de mapas, el diseño de fortalezas y por la proyección de líneas de fuego, ejerció influencia sobre las matemáticas enseñadas.

Al describir los estudios en Mézières al final del Antiguo Régimen, un exalumno recuerda que, si bien los exámenes de Bossut eran extremadamente rigurosos y, en consecuencia, requerían una sólida formación matemática,

el trabajo en el aula consistía en cursos de estereotomía y sus aplicaciones. Labrado de la piedra, carpintería, perspectiva, sombreado, arquitectura

ra, nivelación, fortificación y mapas. En el segundo año se veían principalmente los levantamientos de planos de toda clase usando la tabla del topógrafo, el compás, el grafómetro y por simple observación. De esa manera, realizábamos los levantamientos de terreno de toda clase, partes de las fortificaciones y talleres. Después efectuábamos los reconocimientos visuales y escribíamos memoranda acerca de todos estos temas. Después de todo esto terminábamos con un simulacro de sitio. (Baby de la Vergne, 500)

Las reminiscencias anteriores no sólo confirman la importancia del diseño de las fortificaciones, de la topografía, del reconocimiento y de la redacción de informes, sino que nos indican que incluso la clase misma, o sea la parte "teórica" de la enseñanza de los ingenieros, se centraba en aplicaciones de carácter esencialmente geométrico.

La celebración del bicentenario de la Revolución Francesa en Francia, acontecimiento que no se había previsto en absoluto, dio origen generalmente a una valoración positiva que se reflejó en la proliferación de escritos tendientes a enaltecer el aniversario. La centralidad de la Revolución en la historiografía moderna, la tendencia natural de los historiadores a poner los hechos dentro de nichos cronológicos bien definidos y el poder intelectualmente coercitivo de designaciones como "Antiguo Régimen" naturalmente nos hacen suponer que hubo una ruptura radical en la sociedad francesa antes de la Revolución y después de ella. De cuando en cuando vale la pena reconsiderar si esto fue realmente así, pero esa cuestión sería demasiado vasta para este trabajo. Me gustaría limitarme a un examen más modesto de algunas ideas revisionistas de la educación matemática. Se ha dicho que personajes de tendencias políticas radicales y de gran influencia intelectual, sobre todo d'Alembert, atacaron injustamente la enseñanza matemática que normalmente se impartía durante el Antiguo Régimen. Esta tendencia fue retomada y ampliada no sólo por los políticos revolucionarios que intentaron presentar un contraste radical y negativo entre la sociedad pre-revolucionaria y la que habían creado, sino también por historiadores no sofisticados que han aceptado sin espíritu crítico esas versiones como verdaderas. Un corolario de este punto de vista es que la fundación de la Ecole Polytechnique no fue el gran logro que habían proclamado la mayor parte de los historiadores de las matemáticas y de la ingeniería, lo mismo que los historiadores generales de la Revolución. La enseñanza allí impartida no ofrecía nada de excepcional en comparación con la enseñanza que se realizaba en Francia antes de la Revolución.

En términos generales rechazo esta opinión, pero antes me gustaría mencionar parte de la evidencia que respalda esto.

No cabe duda que la instrucción de las matemáticas que se daba en algunos de los numerosos colegios dirigidos por las órdenes religiosas era de buena calidad y que estaba al alcance de un amplio sector de la población [Taton 1964]. La instrucción matemática que se impartía en las escuelas militares era incluso mejor y se utilizaban en ellas los mejores libros de texto disponibles de la época. En efecto, muchos de los fundadores y de los primeros profesores de la Ecole Polytechnique (Monge, Prony, Hachette, Ferry) colaboraban en las escuelas del Antiguo Régimen y la Ecole Polytechnique cosechaba los frutos de una rica tradición ya existente. Y algunos de los más brillantes matemáticos y científicos, pertenecientes a este grupo, se habían formado en la escuela durante los primeros años de su fundación y habían aprovechado la instrucción preparatoria que se impartía en las escuelas del Antiguo Régimen.

La Ecole Polytechnique del periodo revolucionario, en sus inicios, al democratizar el reclutamiento de los estudiantes aumentando el número de los examinadores y los centros de exámenes y atenuando temporalmente los requisitos de éstos, sufrió un retroceso del nivel académico de los estudiantes aceptados. La transición a un control más riguroso de los exámenes de admisión refleja en gran parte un retorno a las normas del Antiguo Régimen, en que un pequeño grupo de examinadores, todos ellos matemáticos eminentes y miembros de la Academia de Ciencias ejercían gran autoridad e influencia en la escuela [Langins 1987b]. Muchos de los rasgos característicos estructurales de la escuela que permanecieron tras un periodo de fluidez en la primera década de su existencia, como la organización militar, los exámenes competitivos y el predominio de las matemáticas en el programa de estudios, fueron una reafirmación de los criterios y políticas del Antiguo Régimen [Langins 1990].

Sin embargo, el resultado de la Revolución no fue en modo alguno insignificante, pese a que no sea tan palpable como los aspectos que hemos mencionado antes. La influencia de la Revolución marcó un hito de la educación en Francia, aun cuando no haya influido directamente en el contenido del programa de estudios ni en los aspectos principales de la instrucción matemática. Hubo dos formas importantes en que esto se manifestó. En primer lugar, se limitó de manera considerable la influencia de los militares y de los oficiales de ingeniería militar. Es verdad que después de 1804 la escuela fue militarizada, que su comandante Lacuée era general y que su director de estudios, Cayvernon (la persona

con mayor autoridad sobre la enseñanza diaria) era oficial de ingeniería militar y enseñaba fortificación en la escuela. También existió un fuerte control militar, sobre todo en el periodo del imperio napoleónico y, en ocasiones, la escuela se vio obligada a contribuir a satisfacer las necesidades militares durante las guerras del Directorio y del Imperio, pero los profesores civiles nunca más volvieron a estar subordinados como lo habían estado en las escuelas del Antiguo Régimen (Fourcy 277-306). En efecto, originalmente uno de los principales motivos subyacentes para la creación de la *École Polytechnique*, era la profunda desconfianza que inspiraban los cuerpos de oficiales aristócratas a los políticos revolucionarios. El general Lacuée, nombrado comandante por el propio Napoleón, presidía un consejo de profesores que gozaban no sólo de prestigio a nivel nacional sino incluso en toda Europa. Entre ellos había auténticas personalidades de un régimen que procuraba siempre identificarse con el progreso de la ciencia. El cuerpo de maestros que supervisaba la escuela y controlaba el plan de estudios después de 1800, el *Conseil de Perfectionnement*, incluía no sólo representantes de los servicios armados y civiles del estado, sino también miembros del profesorado y de la Academia de Ciencias. Algunos de los integrantes de este consejo, entre ellos Monge, Berthollet y Laplace, además de ser miembros del *Institut* que había reemplazado a la Academia Real de Ciencias después de la Revolución, también eran miembros de la alta jerarquía de la nobleza imperial. Gozaban no sólo de fama como intelectuales, sino además de gran aceptación social. La Revolución (especialmente durante el periodo del Directorio) y el Imperio vieron un significativo aumento de la visión política y social de la ciencia y de los científicos que en parte se manifestó en el control de algunas instituciones sociales como la *École Polytechnique*. Si bien esta influencia no fue tan grande como quiere hacernos creer cierta mitología de la Revolución, fue sin duda mucho mayor que antes de ella. En algunos aspectos muy importantes la Revolución Francesa constituyó una victoria sin precedentes (aunque de carácter temporal que sólo vería sus frutos en la Tercera República) de los profesores, en especial de los de ciencias. Y la *École Polytechnique* es el ejemplo más importante de ello.

Más aún, los intentos míseros de las fuerzas armadas por hacer que la *École Polytechnique* fuera más sensible ante sus necesidades, hicieron que su instrucción tuviera una aplicación inmediata menos práctica y que aumentara la importancia de la enseñanza de las matemáticas. En efecto, los cursos más aplicados inicialmente programados para impar-

irse en la escuela fueron transferidos a las llamadas "escuelas de aplicación" para las profesiones específicas (como las escuelas de ingeniería militar y de artillería en Metz, la Ecole des Ponts et Chaussées y la Escuela de Minas en París).² En un principio la Ecole Polytechnique había querido mantener un ideal politecnico de un programa enciclopédico científico que sirviera no sólo para los ingenieros, sino también para los científicos e incluso para quienes tan sólo desear una formación científica general. Y había luchado por conservar esa orientación pese a las intromisiones, sobre todo las de los cuerpos de ingeniería militar y artillería, afrontando además problemas financieros que afectaban a materias como la química. Pero para 1799, ya se había convertido, como señaló Cabanis, en una escuela de teoría y durante los primeros decenios del siglo XIX había perdido casi todos sus cursos prácticos.

Un efecto más general de la Revolución es lo que Palmer (Cap. 2) ha llamado la "nacionalización" de la educación. La Revolución aceleró tendencias en la educación tales como la centralización, aumentando el predominio de las instituciones públicas sobre las privadas, a la vez que ofrecía mayor accesibilidad desde el punto de vista geográfico y social y un mayor interés por la utilidad. Ello significaba en la práctica que la Ecole Polytechnique estaba en una mejor situación financiera que las antiguas escuelas y abierta en teoría a todas las clases sociales. Su gran visión y prestigio, que ni siquiera escuelas como Mézières, tenían ejercía además un profundo efecto sobre la enseñanza de las matemáticas en Francia. No obstante la naturaleza menos tangible de estas características (el prestigio no es fácil de percibir en la realidad), sus efectos de ninguna manera dejaron de ser importantes.³ Ciertamente, sopesándolos, superan muchos de los aspectos heredados del Antiguo Régimen por su influencia en la evolución de la educación matemática e ingenieril en Francia.

¿Pero cuál fue el efecto verdadero que la enseñanza de la escuela tuvo en la educación ingenieril y en el desarrollo de la ingeniería? ¿Qué tan correcta es la opinión de Bertrand Gille de que "Monge fundó la Ecole Polytechnique para darles a todos los técnicos (*techniciens*) educados en las escuelas "prácticas" que habían aparecido entre 1750 y 1780, una cultura científica que les permitiera fundamentar su conocimiento" y que "... Monge quería hacer de sus ingenieros buenos matemáticos y físicos" (Gille 222)? También los historiadores de la ingeniería han considerado que la escuela constituye un punto importante de transición en el desarrollo de la ingeniería moderna. Timoshenko (67-70) ha subrayado la importancia de sus conferencias sobre las

ciencias para los ingenieros, y Straub [152-3] ha señalado que Navier, que se graduó en ella, creó la nueva ciencia de la estática de la construcción, llamada también análisis estructural. A pesar del gran número de ilustres matemáticos que produjo, la misión oficial que en un principio tuvo la escuela fue la de ser una escuela de ingeniería, como lo refleja su nombre original: *École Central des Travaux Publics*. El ideal de la ingeniería en la *École Polytechnique* era complejo y no tardó en sufrir un cambio fundamental: dejó de estar vinculado estrechamente al modelo enciclopédico del siglo XVIII de la práctica de la ingeniería para convertirse en una auténtica ciencia de la ingeniería. Navier, quien se había graduado en la *École Polytechnique* y que después fue profesor en ella y también en la *École des Ponts et Chaussées*, representa la culminación de una tradición que comienza con Bélidor y que está magníficamente simbolizada en la reimpression y edición de dos grandes obras de Bélidor por parte de Navier: *la Science des Ingénieurs* y *la Architecture hydraulique* en 1813 y en 1819, respectivamente.

Navier formaba parte de una tradición de formadores de ingenieros a quienes interesaba el desarrollo de una ciencia de la ingeniería, pero era al mismo tiempo un competente matemático e ingeniero trabajador. Es relevante entonces plantear la cuestión de si la importancia relativa de esta tradición educativa es mayor o menor que el efecto que los factores externos en el impulso de la obra de Navier la resistencia de materiales y la dinámica de fluidos, ¿Se debieron el magnífico desarrollo posterior de ingeniería y su matematización más a la existencia de la *École Polytechnique* o al tardío comienzo de la Revolución Industrial en Francia que impuso exigencias especiales a la construcción?

Una de las obras más conocidas durante la vida de Navier fue su *Rapport et Mémoire sur les ponts suspendus* de 1824, donde habla de su misión oficial de 1821 en Inglaterra, a donde fue para estudiar los puentes suspendidos. Este libro puede considerarse como una reacción ante los adelantos logrados en la práctica más que como resultado de un programa autónomo de investigación de ingeniería. Acaso es muy significativo que Charles Dupin, siempre atento a los progresos de los ingleses e interesado en que Francia los imitara, elogió esta obra afirmando que "gracias a la investigación del señor Navier, Francia que inicialmente era el país más rezagado en un nuevo tipo de construcción, se colocará muy pronto a la vanguardia".⁴ Así, se pensaba que el análisis teórico era un medio de sobrepassar el atraso técnico.

El propio Navier dice que antes de su época, un siglo después de haber sido publicada *La Science des Ingénieurs* de Bélidor, la investigación dedicada al equilibrio de los arcos y a la presión del suelo sobre los revestimientos favorecía más el progreso de las matemáticas que el mejoramiento del arte de la construcción.

La mayor parte de los constructores determinan las dimensiones de las partes de los edificios o de las máquinas atendiendo a la costumbre establecida por el ejemplo de las obras actuales. Rara vez toman en consideración los pesos que [dichas partes] soportan y la resistencia que ofrecen. Esto plantea pocos problemas cuando las obras que construimos se asemejan a las realizadas en el pasado y cuando no nos separamos de los límites acostumbrados en las dimensiones y pesos. Pero no podemos proceder de la misma manera cuando las circunstancias nos obligan a ir más allá de esos límites o cuando nos interesan edificios de un nuevo tipo sobre los cuales la experiencia nada nos ha enseñado [Navier I, lxxxiv].

Descubrimos aquí un tema ya presente en Bélidor: que una ingeniería científica que basada en las matemáticas permitirá a los ingenieros ser más audaces e innovadores en sus diseños, ya que la seguridad del diseño puede calcularse en lugar de obtenerse siguiendo determinada rutina ya establecida. Si uno quiere o necesita romper con las limitaciones de la rutina, la ciencia más que la historia serán la verdadera guía del ingeniero.

Pero la innovación técnica adopta multitud de formas. Krauskis ha descrito la respuesta norteamericana, tan empírica y experimental, a los nuevos problemas del diseño de puentes suspendidos y la ha comparado específicamente con lo que podría llamarse el estilo politecnico francés de afrontar el mismo reto. Pero este "estilo politecnico" era complejo, elusivo, de múltiples facetas y evolucionó rápidamente en los años inmediatamente posteriores a la fundación de la escuela en 1794.

En los primeros años de existencia de la Ecole Polytechnique se hacía mucho hincapié en las técnicas geométricas por medio de la geometría descriptiva. Una ojeada a su primer programa de estudios nos revelará la importancia inicial de esta disciplina [Langins 1987a]. En el primer año del curso de tres años en 1794, los alumnos le dedicaban 50% de su tiempo y apenas una doceava parte al "análisis aplicado a la geometría". Aquí era patente la influencia de Monge, y en cierto modo la de la antigua Escuela Militar Real de Ingeniería en Mézières. La geometría descriptiva tenía claras aplicaciones en el cálculo de líneas de fuego y áreas de defensa

en el diseño de fortalezas, puesto que simplificaba el problema de desenfilada, en el cual las soluciones anteriores exigían laboriosos métodos de tanteo (ensayo y error). La estereotomía, la perspectiva, la teoría del sombreado y la fabricación de relojes de arena eran también aplicaciones prácticas de esa disciplina y gozaban tal vez de mayor aceptación entre los ingenieros que el análisis estructural algebraico.

Pero ya en el siglo XIX un eminente exalumno, Théodore Olivier, se quejaba de que a partir de 1806 la escuela de Monge se había convertido en la escuela de Laplace, una escuela de ingenieros se había transformado en una escuela de matemáticos y en ella el análisis había triunfado sobre la geometría descriptiva. Esta queja merece un análisis más detenido del que puede ofrecerse aquí y bastará un breve comentario sobre la afirmación de Olivier.

La geometría descriptiva, tal como la entienden los matemáticos contemporáneos y como el propio Olivier la usó al publicar sus libros sobre ella, de hecho no decayó en forma sustancial. En 1794 absorbía cerca de 17% del tiempo de cada alumno durante el curso de tres años. Ese porcentaje había disminuido a 13% en el curso de dos años durante 1806 y se mantenía en un 11,5% en 1827 [Fourcy 376-79]. Parte esencial en la formación del alumnado eran las clases de geometría, junto con las sesiones prácticas en los salones de dibujo. Taton [1951] ha señalado la importancia de Monge en el renacimiento de la geometría en las matemáticas, de trascendencia semejante a la de Desargues en el siglo XVII y que tuvo sucesores como Poncelet y Branchon, ambos exalumnos de la Ecole Polytechnique.

Sin embargo, Olivier tiene razón al afirmar que el tiempo dedicado al análisis en la escuela había ido aumentando constantemente. De hecho, eso había sucedido aún antes de lo que él sugirió. En 1806, el análisis se dedicaba 23,5% del tiempo de estudio a lo largo de un curso de dos años, cifra que representa un incremento superior a ocho veces el que se le dedicaba en 1794 [Fourcy 376-79]. Más aún, muchos de los cursos prácticos inicialmente impartidos en la escuela habían sido reducidos o transferidos a las "escuelas de aplicación" mencionadas antes. Todo ello daba a la escuela una orientación más teórica.

Además, los nexos prácticos de la geometría descriptiva con la estereotomía, la perspectiva y la esciografía (temas del curso de geometría descriptiva en la Ecole Polytechnique y todos relacionados con los talleres prácticos de labrado de madera y carpintería) se debilitaron por la organización, tamaño y ubicación de la escuela. En Mézières y en la Ecole

des Ponts et Chaussées, la experiencia práctica al parecer desempeñó un papel central en la formación de los estudiantes, quienes pasaban mucho tiempo bajo la supervisión de artesanos y maestros en el taller especial anexo a la escuela. El propio Monge había comenzado su carrera en Mézières en ese taller. Más aún, el trabajo allí realizado se completaba con una gran experiencia en el campo: en las campañas anuales veraniegas de construcción del Corps des Ponts et Chaussées que en el simultáneo de sitio de los estudiantes de ingeniería militar. En un principio, también la Ecole Polytechnique tenía talleres y destinaba cierto tiempo para efectuar un mes de prácticas de campo en el tercer año de estudios. Pero esta clase de actividad la limitaron radicalmente las restricciones financieras y los problemas materiales que suponía emprender un serio trabajo de campo en un gran centro metropolitano como París. Las visitas a los establecimientos industriales favorecidas por el primer profesor de física, Has-senfratz, no lograron llenar este hueco y a menudo los estudiantes no veían en ellas más que una forma de distracción.

Un resultado correlativo de todo esto fue un cambio radical en el enfoque pedagógico de la Ecole Polytechnique: se pasó de lo que podríamos llamar modo tutorial de enseñanza a la lección formal. Esta última modalidad fue mínima en todas las escuelas técnicas del Antiguo Régimen, o sea las escuelas de artillería, la escuela de ingeniería y la Ecole des Ponts et Chaussées. Es probable que incluso el trabajo escolar en la escuela de artillería y de ingeniería militar estuviera dedicado, como se advierte en las memorias de un estudiante ya citado antes, en gran medida a la solución de problemas prácticos más que a las lecciones. En la Ecole des Ponts et Chaussées se daba mucha instrucción mutua entre los alumnos más avanzados; y si había necesidad de una instrucción más avanzada los estudiantes recibían en el exterior lecciones particulares o bien asistían a las conferencias casi públicas que se daban en París.

Una vez más, hay evidencia de que esta tradición continuó en la Ecole Polytechnique en sus primeros años, pero se sabe asimismo que no duró mucho tiempo. Al propio Monge no le gustaban las lecciones prolongadas y su esquema de enseñanza del curso sobre geometría descriptiva consistía en una explicación introductoria, de media hora aproximadamente, acerca de un problema para todos los alumnos. Después éstos se retiraban y, en grupos individuales, resolvían el problema en sus salones de dibujo. Al día siguiente la lección tenía en cuenta el avance en la tarea del día anterior y, en ocasiones, se repetía o se afinaban los detalles de la tarea asignada. Pero en otros cursos, como los de

análisis, mecánica, física y química, predominaba un estilo expositivo más formal. A medida que el análisis y la mecánica empezaron a absorber mayor tiempo de estudio, también aumentó el número de lecciones formales.

En la *Ecole des Ponts et Chaussées* también parece haber habido un fuerte rechazo contra las lecciones formales. La idea de un curso oficial impuesto a un estudiantado uniforme parece haber tenido poco apoyo, y se prestaba poca atención a las necesidades y capacidades de cada estudiante. Las necesidades de las guerras revolucionarias ocasionaron la partida prematura de los alumnos más avanzados que llevaban el peso de la enseñanza. A esto se añadía el influjo de grupos extraordinariamente numerosos de alumnos inexpertos y con una preparación muy deficiente, cuyos formación anterior también era deficiente en extremo por el deterioro de la enseñanza secundaria durante la Revolución. Ambas circunstancias obligaron a una renuente administración de la *Ecole des Ponts et Chaussées* a recurrir a medidas desesperadas de reestructuración pedagógica. En efecto, una de las causas principales de la fundación de la *Ecole Polytechnique* tiene sus orígenes en esas necesidades de la *École des Ponts et Chaussées*.

Así, la coyuntura política y militar particular creada por la Revolución y el crecimiento desmesurado del alumnado en la *Ecole Polytechnique* originaron una radical transformación pedagógica a la que los historiadores debieran prestar mayor atención. No sólo la formación en ingeniería y matemáticas vino a colocarse en el centro de atención de la vida cultural e intelectual de Francia al ser trasladada a París y al acrecentarse la población estudiantil, según se dijo antes; además, el crecimiento cuantitativo propició la introducción de cambios cualitativos en la naturaleza de la enseñanza que hasta entonces había sido la norma en los planteles tecnológicos. Aun cuando los estudiantes seguían trabajando en los salones de dibujo, en los talleres y en el campo, decayó la importancia relativa de este elemento en su formación académica: había grupos más numerosos y más formales, con un programa adaptado a las necesidades de un alumno ideal y no de los que asistían a las clases.

La producción de buenos libros de matemáticas fue un fenómeno que comenzó durante el siglo XVIII en gran parte por la proliferación de exámenes centralizados y rigurosos en matemáticas para la admisión en las escuelas técnicas militares (*Dhombres*). También este proceso se aceleró durante la Revolución Francesa y después de ella, época que presenció el ingreso de muchos científicos y matemáticos en la docen-

cia. Tal hecho tuvo un efecto apreciable en la preparación de libros de texto y despertó el interés por los elementos de la enseñanza en ambas acepciones del término "elemento". También aquí conviene precisar que gran parte de este ímpetu no sólo se debe a la necesidad de enseñar, sino también a la de enseñar a grandes grupos anónimos.

También es evidente que la importancia del análisis en el programa de estudios aumentó si tomamos en cuenta sus humildes inicios. En gran medida ello refleja el influjo de los principales examinadores, quienes siguieron siendo académicos y matemáticos. En 1795 fueron re-instalados Laplace y Bossut, que habían cumplido las funciones de examinadores para los cuerpos de artillería y de ingeniería militar, respectivamente, y que habían sido dados de baja por un breve lapso durante el Terror. Laplace, en particular, ejerció una profunda influencia en la escuela desde 1796; y tanto él como Bossut daban mucha importancia a las matemáticas en los exámenes de admisión y en los de graduación.

Al considerar y juzgar todo esto, puede decirse que la *Ecole Polytechnique*, pese a tener sus raíces tan reales y vitales en el sistema de formación ingenieril del Antiguo Régimen, era, o mejor dicho, pronto se convirtió en una nueva institución. Era nueva por su tamaño y por la subsecuente reestructuración de los criterios pedagógicos, por su prominencia en el panorama cultural y político de Francia y por el predominio de las matemáticas y del análisis matemático en la escuela. Este predominio no se debía a las conferencias de Lagrange, a las cuales pocos asistían, ni a sus artículos en el periódico de la escuela, sino que era resultado de la política académica interna, la mudación de la tradición del Antiguo Régimen de la instrucción matemática para los ingenieros y la reorganización del sistema de instrucción técnica en Francia (al fundarse las "escuelas de aplicaciones" mencionadas antes). También esto contribuyó a consolidar la posición de análisis, que de verdad se convirtió en el lenguaje común de los ingenieros y que finalmente fue aceptado como tal por ellos. Más aún, ahora sólo había una fuente común de enseñanza de la ingeniería para quienes deseaban una instrucción formal. Ya no existían dos polos de la formación de ingenieros (la *Ecole des Ponts et Chaussées* y la *Escuela Real de Ingeniería Militar en Mézières*) como sucedía antes de la Revolución. A partir de ese momento la *Ecole des Ponts et Chaussées* y la *Escuela de Ingeniería Militar* serían ramificaciones de una sola institución, cuya misión era introducir a los ingenieros en el lenguaje de su profesión.

Es durante la Revolución y después de ella cuando no sólo crece la influencia de profesores de matemáticas en las escuelas de ingeniería, sino que vemos a los ingenieros, tales como Navier, que son matemáticos competentes y hasta originales enseñando a los ingenieros. No se trata simplemente de científicos que comienzan a enseñar los avances más modernos de la ciencia y de las matemáticas durante la Revolución, sino también de ingenieros que empiezan a enseñar la ciencia y las matemáticas. Tal vez eso habría sucedido igualmente, debido a la sustitución natural de la antigua generación prerrevolucionaria de ingenieros por una nueva generación formada en Mézières, pero el proceso se aceleró sin duda por los cambios institucionales que acompañaron al nacimiento de la Ecole Polytechnique. Ahora no sólo se contaba con un excelente grupo de profesores de ingeniería, sino que además había alumnos capaces de asimilar y aplicar sus enseñanzas, bajo la guía de ingenieros de mayor edad y categoría que habían aceptado sin reservas la nueva ciencia de la ingeniería. Aunque Navier, como Coulomb, era miembro de la Academia de Ciencias y publicaba trabajos en sus *Mémoires*, así como en otras revistas científicas, también editaba sus artículos en otro tipo totalmente novedoso de revista, los *Annales des Ponts et Chaussées* y la *Journal du génie civil*, revistas dedicadas a la ciencia de la ingeniería y leídas por ingenieros que podían entenderlas.

La creación de una ciencia de la ingeniería matemática, vislumbrada con toda claridad por Bélidor quien siguió en esto los pasos de Galileo y de algunos miembros de las sociedades científicas de principios del siglo XVIII, fue un proceso lento pese a las excepcionales aportaciones de hombres como Coulomb. La ciencia de la ingeniería, tal como la conocemos hoy, finalmente logró cimentarse a principios del siglo XIX, y la Ecole Polytechnique desempeña un papel central en este proceso. Este papel no es sólo la producción de los científicos de la ingeniería de gran talento y numerosos como nunca antes, sino también la creación de un medio propicio para la ciencia de la ingeniería. Para esto se requirió una profunda reorientación de la formación del ingeniero (con lo cual se completó un proceso iniciado en el siglo XVIII); aumentó el prestigio de la ciencia de la ingeniería; se acrecentó la participación de la ciencia en la ingeniería, y se crearon tanto la necesidad como la oportunidad de un discurso común expresado en publicaciones especializadas. La Ecole Polytechnique fue no sólo una prueba institucional de la importancia que las matemáticas tenían en Francia, sino que fue también además un

signo de la preeminencia que la ciencia de la ingeniería matemática tenía sobre la práctica tradicional.

Así, la reedición de las obras famosas de Bélidor por Navier (obras escritas casi un siglo antes) es algo simbólico en varios sentidos. Primero, indica una continuidad entre la ciencia de la ingeniería de Bélidor y Navier, a pesar de la reelaboración casi indispensable del innovador trabajo de Bélidor y la incorporación de nuevos trabajos. Segundo, indica la existencia de una audiencia que había asimilado más allá de sus expectativas lo que para Bélidor era el lenguaje de los ingenieros. Tercero, su autor es un hombre que ocupaba un lugar intrínsecamente destacado, y no marginal, en una institución educativa cuya misión era cultivar y desarrollar las matemáticas, la ciencia y la ingeniería como disciplinas afines. La ciencia de la ingeniería ahora descansaba sobre cimientos muy sólidos.

Notas

1. Taton [576] dice que no ha podido encontrar el original de este informe.
2. La ley por la que se crean las escuelas de aplicaciones se conoce con el nombre de ley de 30 de venidimario, año IV [22 de octubre de 1795]. Su texto se reproduce en Guibault, VI, 839-50.
3. Véase la observación de Stendhal: "... nous en sommes adorateurs à Lagrange y a Monge" [1, 325].
4. Citado por Barré de Saint-Venant en su edición de Navier [1, lxxv].

Bibliografía

- Augeyot, Antoine-Marie. 1860/64. *Aperçu historique sur les fortifications, les ingénieurs et sur le Corps du Génie en France*. 3 vols. Paris: Tauxem/Dunanté.
- Bien, David. 1983. Military Education in 18th Century France: Technical and Non-Technical Determinants. *Science, Technology and Warfare - Proceedings of the Third Military History Symposium*. USAF Academy R-P May 1969. Monte D. Wright and Laurence J. Paszek. (Eds.) Washington, D.C.: US Govt. Printing Office.
- Boay de la Vergne, F.E.A. 1842. *Anecdotes, Bon Mots, Sautes, Balourdages, Eccentricités, Evénements singuliers avec quelques souvenirs de l'École de Mézières à l'usage des élèves de bon aloi*. Metz.
- Boyer, Carl B. 1968. *A History of Mathematics*. Reprint Princeton: Princeton University Press, 1985.
- Dhombres, Jean. 1945. French Mathematical Textbooks from Bézout to Cauchy. *Historia Scientiarum* 28, 91-137.
- Condorcet, M.J.A.N.C. de. 1787. *Oeuvres de Condorcet*. A. Condorcet O'Connor and P. Arago. (Eds.) 12 vols. Paris: Firmin Didot.

- Fatouy, A. 1827 *Histoire de l'École Polytechnique*. J. Dhombres (Ed.). Facsimile reprint with notes and commentary. Paris: Berlin, 1987.
- Gille, Bertrand 1964 *Les ingénieurs de la Renaissance*. Paris: Hermann.
- Gillman, C. Stewart 1971. *Columb and the Evolution of Physics and Engineering in Eighteenth-Century France*. Princeton: Princeton University Press.
- Gaillaume, Jacques. 1891/1907 *Procès-verbaux du Comité d'Instruction publique de la Convention nationale*. 6 vols. Paris: Imprimerie Nationale.
- Kranakis, Eda. 1982. *Technological Styles in America and France in the Early 19th Century: The Case of the Suspension Bridge*. University of Minnesota Ph. D. Thesis.
- Langsdorf, J. 1990. *The Ecole Polytechnique and the French Revolution*. Mexico, *México y de las Técnicas* 13, 91-105.
- Langsdorf, J. 1987a. *La République avait besoin de savants*. Paris: Belin.
- Langsdorf, J. 1987b. *Sur l'enseignement et les examens à l'École polytechnique sous le Directoire. à propos d'une lettre inédite de Laplace*. *Revue d'histoire des sciences* 40, 145-177.
- Navier, Claude-Louis-Marie-Henri 1864 *Résumé des Leçons données à l'École des Ponts et Chaussées sur l'Application de la Mécanique à l'Établissement des Constructions et des Machines*. 2 vols. 3rd ed. Paris: Dunod.
- Olivier, Théodore. 1850. *Monge et l'École Polytechnique*. *La Revue scientifique et industrielle du Docteur Quéneville*. February.
- Palmer, R. R. 1985. *The Improvement of Humane Education and the French Revolution*. Princeton: Princeton University Press.
- Stendhal 1949. *Vie de Henry Armand*. 2 vols. Paris: Le Livre.
- Taton, René. 1964. *L'École royale du génie de Mézières. Enseignement et Diffusion des Sciences en France au XVIIIe siècle*. R. Taton (Ed.). Pp. 559-615. Paris: Hermann.
- Taton, René. 1951. *L'Œuvre scientifique de Monge*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Timoshenko, Stepan P. 1953. *History of the Strength of Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Truesdell, C. 1984. *An Ideal's Fugitive Essays in Science, Methods, Criticism, Training, Circumstances*. New York: Springer.

