
MIRANDO HACIA ATRÁS

Sección a cargo de

Francisco A. González Redondo

Leonardo Torres Quevedo (1852-1936) 1ª Parte. Las máquinas algébricas¹

por

Francisco González de Posada y Francisco A. González Redondo

1. INTRODUCCIÓN: LA FIGURA DE LEONARDO TORRES QUEVEDO

¿De quién hemos de hablar? Leonardo de Torres y Quevedo (Santa Cruz de Iguña, Santander, 28 de diciembre de 1852 - Madrid, 18 de diciembre de 1936) ha pasado a nuestra historia social de la Ciencia y de la Técnica bajo la celebridad de *genial inventor*, expresión, entre otras más o menos similares, con la que lo trataron usualmente desde el inicio del siglo XX, es decir, a partir de sus cincuenta años. Esta condición social de *inventor* se consagra con motivo de la difusión en los foros científico-técnicos y culturales españoles del informe-dictamen que los prestigiosos científicos franceses Deprez, Poincaré y Appell hicieron a *l'Académie des Sciences* de París, en la sesión del 2 de abril

¹Los contenidos de este artículo constituyen una versión revisada y actualizada de tres trabajos anteriores:

A) Los capítulos 1º y 3º del libro *Leonardo Torres Quevedo*, publicado en 1992 por Francisco González de Posada, en la Colección “Biblioteca de la Ciencia Española” (Fundación Banco Exterior, Madrid), con la colaboración de Francisco A. González Redondo.

B) El artículo de Francisco A. González Redondo y Lourdes de Vicente Laseca, *Leonardo Torres Quevedo y la Sociedad Matemática Española*, publicado en 1999 en las Actas del III Simposio “Leonardo Torres Quevedo: su vida, su obra”, pp. 269-283, Ed. de F. González de Posada y F. A. González Redondo (Amigos de la Cultura Científica, Madrid).

C) El artículo *La Bibliografía científica de Leonardo Torres Quevedo. Actualización*, publicado también en 1999 en las Actas del III Simposio “Leonardo Torres Quevedo: su vida, su obra”, pp. 289-296.

de 1900, relativa a la Memoria “Machines à calculer” que había presentado Torres Quevedo manuscrita, ilustrada con una máquina de demostración:

La Comisión solicita a la Academia ordenar la inserción de la memoria del Sr. Torres en el Repertorio de Sabios Extranjeros.

Esta estima científica tenía precedente. En 1895 don Leonardo había ‘conquistado Francia’, a raíz de sus comparencias con la primera memoria (en versión francesa) sobre las *máquinas algébricas*, en *l’Académie des Sciences* de París y en el Congreso de Burdeos de la *Asociación Francesa para el Progreso de las Ciencias*, acompañadas con unas iniciales máquinas explicativas y de sus visitas a diferentes Laboratorios para interesarse por la posibilidad de construcción perfeccionada de sus máquinas y la petición de presupuestos. El éxito obtenido en el ámbito científico puede constatararse por las publicaciones en 1986 de las primeras importantes referencias escritas monográficas, de Maurice d’Ocagne y de M. A. Gay, sobre sus originales concepciones teóricas y prácticas.

Como complemento de esa destacada condición social ingenieril conviene insistir, mediante la reproducción de algunas manifestaciones significativas, en el reconocimiento internacional disfrutado en vida, reconocimiento que inicialmente fue francés y relativo a su obra originalísima en el campo de las máquinas analógicas –sus *máquinas algébricas*– como hemos indicado anteriormente.

Con motivo de la ‘reclamación de prioridad’ (de su *telekino* frente a las experiencias en Antibes de M. Devaux) que hace a la *Société Internationale des Electriciens*, en la respuesta negativa a sus deseos de confirmación escrita explícita en la *Revista de la Sociedad* de sus derechos de prioridad como inventor, no obstante, se dice:

¿No sería ésta una ocasión para presentarse entre nosotros? Sus trabajos son suficientemente conocidos y estimados en nuestro país y usted podría, quizá, intentar introducirlo en nuestra Sociedad.

Por la grandiosidad y el significado, quizá la más clara manifestación de este reconocimiento internacional la constituya el aserto que le dedicó Maurice d’Ocagne: “El más prodigioso inventor de nuestro tiempo”, referido ‘nuestro tiempo’ al período 1895-1936 en el que viven, se relacionan y publican sus obras, expresión que se ha estereotipado en las biografías y en las historias torresquevedianas.

Torres Quevedo aparece en el escenario español de la invención y de la ciencia, con la presentación al Gobierno español, en 1893, de su “Memoria sobre una Máquina para resolver ecuaciones” en solicitud de ayuda. La Dirección General de Obras Públicas del Ministerio de Fomento pide informe a la Academia de Ciencias de Madrid. Ésta nombra ponente a Eduardo Saavedra, que redacta su dictamen en 1894 informando positivamente el trabajo de don Leonardo y recomendando la concesión de la ayuda solicitada. El interesante informe de Saavedra relativo a su primera memoria científica constituyó

su 'salto a la fama' en el plano nacional. Después de analizar el 'estado de la cuestión' (historia precedente de las máquinas de calcular) y de describir y valorar la 'nueva máquina' de Torres Quevedo, el académico, entre otras cosas, dice:

...el Sr. Torres lleva más allá su noble ambición, y propone medios muy curiosos y sin grave dificultad practicables para hallar las raíces imaginarias...

... resultaría tan elegante un procedimiento que fuera dando automáticamente todas las raíces, reales é imaginarias, de una ecuación por un solo movimiento, que se debe estimular al inventor para que prosiga los estudios en tal sentido.

... la idea de que esa graduación [numérica en la circunferencia] se ajuste á una escala logarítmica es propia del autor... En ella se ha empleado también por primera vez la graduación á lo largo de una hélice cilíndrica...

... [constituye invención verdadera] y con carácter originalísimo, la de los husillos sin fin, mecanismo acerca del cual no hay el menor antecedente...



Otra especie de retrato interesante de una obra científica original de Torres Quevedo corresponde a José Echegaray en su informe, a la Academia de Ciencias, sobre las primeras memorias del inventor relativas a los globos dirigibles.

... importante y notabilísimo trabajo...

... el Sr. Torres, con su indiscutible talento y con su refinado espíritu crítico, suele agotar la materia, y de antemano sale al encuentro de cualquiera objeción que pudiera formularse.

... siendo el invento que vamos á describir de persona tan seria y tan competente como nuestro compañero, el trabajo en cuestión ha de serlo, importante y digno de estudio... .. de las consideraciones que preceden nace la idea del señor Torres, y por ella impulsado fué resueltamente á las soluciones extremas, como hacen con frecuencia los hombres de talento y de gran energía...

... la solución ideal, la más perfecta, aquella á que tiende el Sr. Torres y á la que se aproxima en su invento...

El proyecto del Sr. Torres es de verdadera importancia y muy digno de estudio, y demuestra una vez más el talento, la ciencia y la facultad inventiva de su autor.

Francisco de Paula Arrillaga también hizo un interesante panegírico con motivo de la entrega a Torres Quevedo de la Medalla Echegaray:

¡Tan altos y relevantes son [los méritos científicos] y tan nuevas y extraordinarias sus concepciones en Mecánica y sus incomparables invenciones en todos los órdenes de la técnica y de la ingeniería!...

... Nada ha inventado que de antemano no se hubiera propuesto y no hubiese planteado científicamente; y al discurrir sobre la fecundidad de la idea, que trataba de realizar, ha profundizado en la teoría fundamental y la ha ampliado más y más al discernir sobre los medios de que se pensara valer.

Bien ha podido apreciarse, en esta brevísima relación de textos seleccionados, la consideración social de genial inventor que se otorga a Torres Quevedo en vida. Finalmente, como resumen de estas referencias de coetáneos nacionales, reproduzcamos unas palabras del Rey Alfonso XIII en el acto de entrega de la Medalla Echegaray a Leonardo Torres Quevedo en 1916:

Torres Quevedo es hoy el guía; Echegaray, es el monumento...

Como imagen posterior, y también de referencia conjunta hispano-francesa, recordemos algunas frases de Puig Adam de 1953 en la conmemoración del centenario del nacimiento del inventor en la Academia de Ciencias, acto en el que también participaron, entre otros, Couffignal, Manneback y Ghizzetti:

Celebramos el centenario del nacimiento del que fue largo tiempo presidente de esta Academia y para siempre es ya una gloria de la Ciencia y de la Técnica patrias: don Leonardo Torres Quevedo...

... Había visitado en París el Instituto de Cálculo Mecánico "Blaise Pascal", cuyo director, el profesor Couffignal, se mostró interesadísimo por la obra de nuestro inventor, del que había oído ponderar extraordinariamente el ingenio al que fué su maestro y gran amigo de don Leonardo, el profesor Maurice d'Ocagne. Este había calado a fondo la obra de Torres Quevedo y se había esforzado durante toda su vida en darla a conocer a sus compatriotas, entre los cuales llegó en una ocasión a calificarle como "el más genial inventor de su época". Compréndese, pues, el interés de Couffignal en informarse de los resultados últimos a que hubiera llegado Torres Quevedo en sus conceptos sobre automática.

La nota más significativa y sorprendente de la vida de Torres Quevedo, que lo convierte en un personaje científico bastante excepcional en la segunda mitad del siglo XIX, y no sólo en España sino incluso en el mundo occidental, es la que puede caracterizarse como 'situación de total independencia económica', que le permite renunciar al ejercicio profesional (o, si se quiere, a la esclavitud inherente al trabajo remunerado). Escribió Gonzalo Torres-Quevedo, su hijo y colaborador, en 1951:

... concluyó la carrera de Ingeniero de Caminos en 1876, con pleno derecho a entrar en el escalafón, pero nunca lo hizo, sino que después de haber desempeñado su profesión durante poco tiempo en algunos asuntos ferroviarios, su situación económica le permitió dedicarse a estudios y trabajos científicos, intercalados con algunos viajes al extranjero.

Cabe, y debe, hacerse la siguiente pregunta: ¿Cómo fue posible esta especial situación socio-económica? Es cuestión que debe explicarse desde el prólogo de toda referencia a Torres Quevedo. Leamos a Leopoldo Rodríguez Alcalde, su biógrafo santanderino:

Leonardo vivía en Bilbao, en casa de unas parientes de sus padres, las señoritas de Barrenechea. Estas pusieron en el muchacho su mayor afecto, hasta el extremo de designarle por heredero de sus bienes, que no debían ser cortos, con relación a la época.

Si es singular su vida por lo que respecta a la realidad socio-económica, quizá lo sea aún más en lo relativo a su dedicación. Su quehacer, a lo largo de toda la existencia, con expresión suya, consistió en "dedicarse a pensar en sus cosas"; es decir, a inventar:

... cuando se me presentó el momento de tomar puesto en el Escalafón estaba ya convencido de mi poco amor al trabajo metódico

y disciplinado de las oficinas, y renuncié a él para dedicarme a pensar en mis cosas; ya estaba poseído por la fiebre del inventor que había de padecer toda mi vida.

Este tipo de existencia personal permite dos contrastes interesantes. Por una parte, contrasta con la profesionalidad y movilidad consecuente de los ingenieros de Caminos que ejercían como tales –y él tenía presente el digno ejemplo de su padre–; por otra, contrasta, quizás aún más dadas su situación y su capacidad, con los muy ilustres ingenieros de Caminos que no ejercen como tales, dedicados a una multiplicidad de campos, y de elevada prominencia social, como pudieron ser entre sus coetáneos y maestros Práxedes Mateo Sagasta, José Echegaray o Eduardo Saavedra, por citar sólo a tres casos relevantes y diferentes. Estos, suficientemente conocidos, como tantos otros no tan famosos, se dedicaron a ‘pensar’ en muchas cosas de diversa naturaleza y a actuar en muy diversos ámbitos; sobre todo en las ‘cosas de todos’ –en la política–, cosas de uno pero también de los demás. Sin embargo, consideramos de mayor interés (por estimar que son mejores que nuestra descripción y particular juicio, y que además no son suficientemente conocidos) reproducir unos párrafos del inventor y de Francisco de Paula Arrillaga, en el acto de recepción de Torres Quevedo en la Academia de Ciencias de Madrid, relativos a otro ingeniero de Caminos que le precedió en el sillón académico: Alberto Bosch y Fustigueras. Así lo cuenta Torres Quevedo:

... admira ver cómo el Sr. Bosch –ocupado toda su vida con el ardiente batallar de la política, que absorbió la mayor parte de su actividad–, encontró tiempo y energías para conquistarse un puesto envidiable entre los hombres de ciencia de nuestro país. Doctor en Ciencias, Ingeniero de Caminos, licenciado en derecho, Profesor de Física-Matemática en la Universidad Central, hombre, en fin, de vastísima cultura, discurría con igual competencia sobre las más variadas cuestiones científicas...

... Mis aficiones, poco variadas, me han llevado á ocuparme exclusivamente, durante largos años, en tres ó cuatro problemas relacionados todos con la Mecánica, dejando entre tanto abandonado casi todo el ancho campo de la Ciencia que vosotros cultiváis sin descanso; y así me encuentro hoy con tan escaso caudal científico, que difícilmente podré nunca ser de utilidad en vuestras tareas.

Este tema lo continúa Arrillaga, con unos párrafos sumamente interesantes, en el discurso de contestación a Torres Quevedo. Reprodúzcamos el inicio:

¡Por cuán distintos rumbos se hubo de encaminar su ilustre antecesor en esta Academia, Excmo. Sr. D. Alberto Bosch y Fustigueras, matemático e ingeniero también y nacido á la vida de la ciencia bajo igual régimen y disciplina escolar! A quien crea como

yo que se malograron las altas dotes de su entendimiento por haber dedicado sus mayores afanes a la Política...

El desapego de Torres Quevedo de la ‘cosa política’ podría deducirse, en tanto que está implícito, del “dedicarse a pensar en sus cosas” y se manifiesta expresamente al rechazar la cartera de Fomento. Llama más la atención, si cabe, su desinterés por las cuestiones administrativas, que también fue harto significativo. Recibió las presidencias de instituciones tales como la Sociedad Española de Física y Química y la Sociedad Matemática Española (a la que nos referiremos seguidamente), entre otras, como si de medallas o condecoraciones se tratara porque casi nunca prestó una mínima atención de gobierno, de representación o de dedicación a la burocracia inherente a ellas.

Por otra parte, parece también conveniente, en esta presentación global del personaje, exhibir, aunque sólo sea como fría relación escueta, sin nuevos comentarios, un resumen de las distinciones que recibió en vida:

a) Pertenencia a sociedades científicas:

- Académico de Número de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid (19. 5. 01).
- Miembro correspondiente de la Sociedad Científica Argentina (2. 8. 10).
- Miembro correspondiente de la Academia Hispano Americana de Cádiz (4. 12. 10).
- Miembro correspondiente del Centro Nacional de Ingenieros de Buenos Aires (3. 8. 16).
- Miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de Buenos Aires (3. 12. 17).
- Miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de Zaragoza (12. 4. 19).
- Académico correspondiente de la Sección de Mecánica de la Academia de Ciencias de París (21. 6. 20).
- Académico de número de la Real Academia Española (31. 10. 20).
- Académico Honorario de la *Société de Physique et D’Histoire Naturelle*, de Génève (17. 5. 23).
- Miembro correspondiente de la *Hispanic Society of America* (12. 12. 25).
- Académico asociado extranjero (27.6.27) de la Academia de Ciencias de París (sólo eran 12 los académicos asociados).

b) Honores y condecoraciones:

- Gran Cruz de Alfonso XII (15. 10. 06).

- Socio Honorario del Instituto de Ingenieros Civiles (3. 7. 07).
- Premio-medalla “Echegaray” de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid (12. 3. 16).
- Premio Parville de la Academia de Ciencias de París (7. 11. 16).
- Gran Cruz de Carlos III (18. 12. 19).
- Académico honorario de la Real Academia Hispano Americana de Ciencias y Artes de Madrid (2. 2. 20).
- Gran Cruz de S. Tiago da Espada (Portugal) (24. 10. 21)
- Comendador de la Legión de Honor (Francia) (20. 3. 22)
- Doctor “Honoris Causa” por la Universidad de París (1923).
- Presidente honorario de la Sociedad Matemática Española (2. 2. 24).
- Doctor “Honoris Causa” por la Universidad de Coimbra (10. 5. 25).
- Inspector General Honorario del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (19.11.26).
- Miembro honorario del Comité Internacional de Pesas y Medidas de París (20. 6. 29).
- Banda de la Orden de la República (14. 4. 34).
- Presidente de Honor de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid (31. 10. 34).
- Presidente Honorario de la Junta Nacional de Tecnología y Bibliografía Científicas Hispano-Americana (29. 5. 35).

c) Cargos en sociedades científicas:

- Secretario de la Sección de Ciencias Exactas de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid (26.6.01).
- Vocal de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (1907).
- Vicepresidente de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias (1908).
- Vicepresidente de la Sociedad Matemática Española (12. 10. 14).
- Presidente de la Sociedad Española de Física y Química (1. 12. 19).
- Presidente de la Sociedad Matemática Española (4. 12. 20).
- Presidente de la Sección Española del Comité Internacional de Pesas y Medidas de París (9. 2. 21).
- Presidente de la Unión Internacional Hispano Americana de Bibliografía y Tecnología Científicas (19. 4. 21).

- Presidente de la Sección de Ciencias Exactas de la Academia de Ciencias de Madrid (4. 6. 24).
- Vicepresidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid (16. 3. 27).
- Presidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid (2. 2. 28).

Hasta aquí hemos realizado una presentación global caracterizadora del personaje en tanto que constituyente de la ‘memoria histórica’ perdurable del inventor. En un “período de sembradores” y de “figuras intermedias”, Leonardo Torres Quevedo es figura de primera magnitud, de talla universal, perfectamente conectado con la comunidad científica internacional. En España, va por libre, no tiene competencia, no es científico al uso de su época. En algunos temas –transbordador, máquinas analógicas, automática– va muy por delante de su tiempo; en otros –dirigible, *telekino*– el primero o entre los primeros. En el período de los sembradores, Torres Quevedo cosecha, exhibe y exporta, y en esto consiste, paradójicamente, su siembra.

Su educación fue doble, española y francesa. En Francia estudió parte del Bachillerato, hizo numerosos viajes, presentó la mayoría de sus inventos, incluso como primicias –máquinas algébricas, *telekino*, ajedrecistas, aritmómetro–, y publicó sus memorias; de tal manera que incluso de algunas –como el *Telekino* y el Aritmómetro– sólo existen textos editados en francés.

Así clamaba Puig Adam en su Discurso conmemorativo del centenario del nacimiento de Torres Quevedo:

Y nosotros [los académicos españoles, o simplemente, los españoles] hemos de conseguir que despierte este interés por la obra callada y meritoria de nuestro inventor, publicando de nuevo y difundiendo sus más caracterizadas memorias con la fecha bien visible de su primera aparición y resumiendo lo más substancial de sus inventos y la significación de los mismos hasta situarle como verdadero “precursor” del movimiento cibernético actual.

El mejor homenaje a su memoria es conocer su obra y divulgarla. En el libro publicado por la Fundación Banco Exterior en 1992, de cuyo ensayo introductorio se extraen estas páginas, tuvimos, por primera vez, la oportunidad de disponer de lo mejor de su obra escrita en un único volumen.

Sin embargo, la mayor parte de sus creaciones prácticas –sus “inventos” se encuentran almacenados (que no expuestos) en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Consideramos no sólo conveniente sino necesario que a la custodia de las máquinas se una la reparación y puesta en funcionamiento de las mismas, su exhibición y explicación museística y, también, la reproducción, acumulativa y progresiva, de dichos inventos.

2. TORRES QUEVEDO EN LA SOCIEDAD MATEMÁTICA ESPAÑOLA

Los primeros años del siglo XX fueron testigos de un movimiento de institucionalización científica, nuevo en España, pero usual en los países de nuestro entorno. Así, en 1903 se creó la *Sociedad Española de Física y Química*, en 1907 la *Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas* y en 1908 la *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*.

Al iniciar su vida la *Sociedad Matemática Española* en 1911 bajo la presidencia de José Echegaray, Torres Quevedo se convirtió en uno de los 423 socios fundadores de la nueva institución. En ella, al igual que en las anteriores, como apuntábamos anteriormente, ocupó cargos distinguidos, aunque a ninguna, como también hemos destacado, prestó especial atención. En todo caso, sí conviene que conozcamos la presencia institucional que tuvo en nuestra Sociedad desde que, el 6 de noviembre de 1913, los matemáticos españoles decidieron incorporarle a su Junta Directiva nombrándole *Vocal*. En la Sesión del 4 de diciembre de ese mismo año agradeció el nombramiento “ofreciéndose en todo a la Sociedad matemática, a la que espera contribuir con su esfuerzo”, contestándole el Marqués de Echandía (quien presidía entonces la reunión) “interpretando el sentimiento de todos los presentes, agradeciendo en lo mucho que vale la cooperación del Sr. Torres Quevedo, añadiendo que la Sociedad Matemática se honra al contar desde hoy con tan distinguido matemático”.

Un año después, el 4 de octubre de 1914, se le propuso para ocupar una de las Vicepresidencias. En ella continuó cuando el 7 de diciembre de 1916, tras el fallecimiento de Echegaray, fue elegido Presidente de la Sociedad Zoel García de Galdeano, y hasta que el 4 de diciembre de 1920, a la muerte de Galdeano, los matemáticos españoles lo eligieron *Presidente efectivo*. La primera sesión que presidirá será la del 8 de enero de 1921, la segunda la del 31 de ese mismo mes; y no presidirá ninguna sesión más hasta el 2 de febrero de 1924, momento en el que Torres Quevedo fue nombrado *Presidente honorario*, sucediéndole en la presidencia efectiva Luis Octavio de Toledo y Zulueta.

En el órgano de expresión de la SME, su *Revista*, pueden encontrarse diferentes referencias al inventor que permiten conocer algunos detalles acerca de la realidad de la Matemática española de la época. Especialmente significativo, en este sentido, es la nota necrológica que publica José Echegaray tras el fallecimiento del insigne ingeniero Eduardo Saavedra, de cuya contribución científica destaca “como más importante trabajo, su exposición sobre la teoría de la máquina algébrica del Sr. Torres Quevedo”.

También puede destacarse la crónica acerca de la exposición de aparatos y material científico durante el Congreso de Madrid de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, donde:

Torres Quevedo presentó también, entre otros aparatos del mayor interés, un modelo, sin terminar, de un integrador de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden ... otro modelo de una

máquina para resolver ecuaciones algébricas que contengan ocho términos...

Un momento singular de las relaciones de Torres Quevedo con la Sociedad fue la visita que hicieron numerosos socios al Laboratorio de Automática el 14 de marzo de 1914, a partir de la cual la SME editó una monografía, preparada por José A. Sánchez Pérez, de título “Los inventos de Torres Quevedo”, en el que se incluyeron fotografías y descripciones de las máquinas algébricas, el integrador, el ajedrecista, la “máquina electro-mecánica de calcular”, la “máquina de multiplicar perfeccionada”, etc.

Sin embargo, dos son las circunstancias en las que, con mayor frecuencia, aparece nuestro sabio. La primera corresponde a sus nombramientos y los honores que iba recibiendo, como, por ejemplo, con motivo de la concesión de la Medalla Echegaray en 1916:

Esta Revista no podía dejar pasar en silencio ni aplazar para otro número el dar cuenta de tan solemnísimos actos académicos. Le afecta tan directamente y encarna esta ceremonia tal potencialidad para ese resurgir glorioso de la ciencia netamente española que por todas partes se siente...

La segunda, su tarea presidiendo las sesiones en las que se recibía a los científicos franceses en sus visitas a España. Entre ellas destaca, el 5 de abril de 1919, la de Hadamard, Fabry y Lefranc, primeros científicos extranjeros que viajaban a nuestro país tras la I Guerra Mundial, a los que tributó “calurosos elogios”, expresando “su admiración por Francia, que a pesar de las dificultades propias del actual momento histórico, ha sabido, no solamente reconstruir su vida científica, sino también reanudar las relaciones con los países amigos”.

En todo caso, si la motivación de estas páginas la constituye el hecho de que Torres Quevedo ocupó, como acabamos de ver, la presidencia de la Sociedad Matemática Española, más como una manera de honrarle (a la vez que honrar a la propia Sociedad con su prestigio) que por su dedicación a la misma, lo que realmente debemos hacer seguidamente es destacar las líneas generales de su obra científica, contribución de una relevancia excepcional en el panorama de la Ciencia española.

3. LAS MÁQUINAS ALGÉBRICAS

En 1890, casi con toda seguridad que como consecuencia del fracaso de su proyecto de teleférico presentado en Suiza en 1889, Torres Quevedo abandona el tema de lo que denominó “transbordadores” –momentáneamente ¡claro!–, pero no lo olvida. A pesar de la hiel del rechazo de su primer invento, no tira la toalla ni de “sus cosas” ni de la “dedicación” a ellas. Sencillamente, cambia de tercio, concentra su atención en otro tema sobre el que probablemente venía pensando desde bastante antes.

En otras palabras, comienza otra fase de su vida de inventor que podemos denominar ‘etapa de las máquinas analógicas’, 1891-1901. Se inicia formalmente con la *primera memoria científica* (manuscrita) –una exposición sistemática de sus ideas relativas a las *máquinas algébricas*– que presenta en 1893, en solicitud de ayuda, a la Dirección General de Obras Públicas, institución que recaba informe a la Real Academia de Ciencias de Madrid. Alcanza su primer punto de éxito con el dictamen favorable de Eduardo Saavedra, de 15 de enero de 1894, que hace suyo la Academia y a la vista del cual dicha Dirección General dispuso, con fecha 22 de diciembre de 1894, conceder una ayuda para que visitara el extranjero “con objeto de preparar el proyecto definitivo de las máquinas algébricas” y para “publicar la memoria presentada á la Academia”. Esta *primera memoria científica* –“Memoria sobre las Máquinas algébricas- de Torres Quevedo se publica en Bilbao, en junio de 1895.

En este año de 1895, como puede verse en la Bibliografía, aparece un abanico de publicaciones cuyo contenido gira en torno al tema de esta *primera memoria*. Viaja a Francia. Presenta la de título “Machines algébriques”, acompañada de su modelo de demostración, en la *Académie des Sciences* de París y en el Congreso de Burdeos de la *Association pour l’Avancement des Sciences*; y visita diferentes centros de investigación y laboratorios de Mecánica para estudiar las posibilidades y presupuestos de construcción de sus calculadoras.

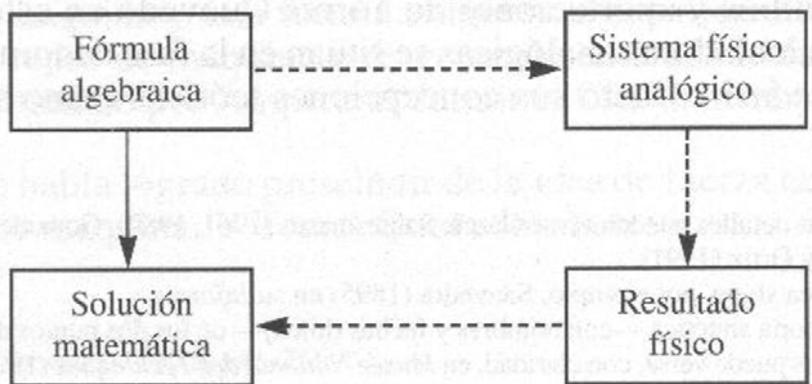
Esta fase de las máquinas analógicas alcanza su cenit con el dictamen de la Academia de Ciencias de París –que comentaremos más adelante–, 1900, y con su ingreso en la Academia de Ciencias de Madrid, 1901, donde presenta un discurso sobre las *máquinas algébricas* –que también comentaremos– que puede considerarse como la coronación de su pensamiento teórico en este campo. En los años 1900 a 1902 se produce un nuevo abanico de publicaciones sobre el tema, como también podrá verse en su Bibliografía.

En 1901 –ya alcanzada la fama de inventor, precisamente por la originalidad de sus concepciones de, y en, las máquinas analógicas, y con la aureola de la acogida y el reconocimiento franceses y con los primeros acontecimientos sociales españoles exitosos– cambia otra vez de rumbo: concentra ahora su atención preferente en los dirigibles y complementariamente atiende el telekino y “se deja querer” con el transbordador, hasta sacarse la espina del “fracaso suizo”, fracaso que convirtió, ¡veinticinco años después!, en 1916, en “gloria canadiense” con la inauguración del transbordador sobre el Niágara.

Centrándonos en el tema de las máquinas de calcular, éstas pueden clasificarse en: *máquinas analógicas*, si se utilizan variables continuas, y *máquinas digitales*, si se utilizan variables discretas.

Las *calculadoras* o *computadoras analógicas* son máquinas de cálculo en las que los números se representan mediante cantidades de una(s) determinada(s) magnitud(es) física(s). Estas magnitudes físicas pueden ser de muy diferente naturaleza: longitudes, desplazamientos, rotaciones de ejes... En las computadoras de este tipo, unas ecuaciones matemáticas (*algébricas*) se transforman en un proceso operacional de cantidades físicas que resuelve un problema físico análogo (o analógico), cuya solución numérica –*medida* de la *cantidad*

de otra magnitud (o de la única puesta en juego)– es la solución de la ecuación matemática. En resumen, un problema matemático se resuelve mediante un modelo físico; en el esquema adjunto, la línea continua indica el problema objeto de estudio, la línea de trazos el camino seguido para su resolución.



El resultado físico es una cantidad de una magnitud física cuya medida en la unidad coherente es el resultado de la ecuación algebraica. El *sistema físico analógico* queda constituido en *modelo físico* de la ecuación matemática. Estas *calculadoras analógicas* son, pues, de las denominadas de *variables continuas*. Sus principios se han ido adaptando a nuevas técnicas cada vez más precisas, fruto, sobre todo, del desarrollo tecnológico de la física en el siglo presente.

Las fases de esta evolución podrían establecerse constituyendo cuatro períodos históricos sucesivos de los inicios y primeros desarrollos de estas computadoras: primera fase, de tipo geométrico (o prefísico); segunda fase, de tipo mecánico; tercera fase, de tipo electromecánico; y cuarta fase (actual), de tipo electrónico.

Por la naturaleza de los medios empleados, los instrumentos de cálculo, en la época de Torres Quevedo, pueden clasificarse, básicamente, en: aritméticos (tablas), geométricos (ábacos), mecánicos (basados en las leyes de la estática) y puramente cinemáticos, que son los considerados como ‘verdaderas máquinas calculadoras’ en la segunda mitad del siglo XIX, dispositivos analógicos continuos, únicos que estudiaron de hecho autores como Wetli (1849) Amsler (1854) Coradi (1875) o Kelvin (1876) (Torres Quevedo, 1893) después del extraordinario intento fallido de Babbage de 1834 con su *máquina analítica* –discreta–, intento que será seguido –con técnicas electromecánicas– casi un siglo después por el éxito del *aritmómetro* de Torres Quevedo en 1920.

Los estudios y aportaciones de Torres Quevedo en este campo de las calculadoras analógicas se sitúan en la fase denominada de *tipo mecánico*. Tanto sus concepciones teóricas como sus creaciones tecnológicas se basan en la *cinemática de mecanismos*, de modo que establece relaciones entre los valores

simultáneos de los desplazamientos o giros realizados por varios móviles; la máquina establece entre las variables las relaciones expresadas por las fórmulas matemáticas. Él las denominó *máquinas algébricas*, nombre con el que han pasado a la historia, ocupando un lugar de honor en la historia de la computación en esta fase mecánica que concluyó definitivamente con la aparición de las computadoras electrónicas.

Su *primera memoria científica* constituye la base de la etapa que comentamos en esta 1ª parte de la biografía; el resto son generalizaciones, ampliaciones, otras ideas teóricas sobre los fundamentos cinemáticos de los modelos y aplicaciones sucesivas y progresivas en nuevas máquinas.

Torres Quevedo iniciaba normalmente sus trabajos científicos escritos con unas “consideraciones teóricas”. Así hizo también en su *primera memoria científica*, escrita en español y presentada al Gobierno en solicitud de ayuda económica, con un lenguaje preciso, seco, claro y rotundo. Tiene esta Memoria las siguientes características –ventajas sobre las restantes–: es teórica, es descriptiva de su concepción general de máquinas, aporta gráficos y fórmulas, y se acompaña de una máquina de demostración; por otra parte, fue informada por la Academia de Ciencias de Madrid, representa el lugar común de sus publicaciones del año 1895 que llevan el título significativo de *máquinas algébricas* y de referencia de todas sus publicaciones posteriores en este campo. Éste es su primer párrafo:

Al emprender este estudio, creo necesario poner de manifiesto la íntima analogía que existe entre una máquina y una fórmula algébrica, rectificando el concepto de máquina más generalmente admitido, el formulado por Ampère al definir la Cinemática.

Ampère había logrado prescindir de la idea de fuerza en la definición de máquina. Y Torres Quevedo añade:

¿No pudo Ampère, al definir la máquina, prescindir de la idea de tiempo, en virtud de las mismas razones que le llevaron á prescindir de la idea de fuerza?

Es innegable que pudo prescindir de ella, y si no lo hizo, fué, sin duda, porque bajo el mismo nombre de Cinemática confundió dos teorías completamente distintas: la Cinemática Pura, que estudia el movimiento en sí mismo y necesita acudir a la noción de tiempo para definir la velocidad, las aceleraciones de diversos órdenes, etc., y la Teoría Geométrica de los Mecanismos, que para nada necesita tener en cuenta la idea de tiempo; antes al contrario, es preciso eliminarla, al estudiar un mecanismo, para determinar la relación entre los movimientos considerados.

En este punto sí queremos decir algo que, en parte, resultará nuevo para bastantes conocedores de la obra ingenieril –los inventos prácticos– de Torres Quevedo. Sorprende, en bastantes de sus escritos, en primer lugar, la claridad

de conceptos, y, en segundo lugar, y es más importante aún, su capacidad de conceptualización, de discernimiento, de adjetivación, con propiedad exquisita, de determinados sustantivos que le permiten diversificar y clasificar de manera tan precisa y tan preciosa como en los párrafos precedentes.

A la luz de la diferenciación anterior, se convierte en un auténtico genio de la Teoría Geométrica de los Mecanismos: sus máquinas son, sobre todo, Geometría –es decir, concepto–. Desde Ampère no se precisaba de la idea de fuerza, desde Torres Quevedo no se precisó de la idea de tiempo. Esta clara concepción teórica constituye el fundamento en que basará su impresionante capacidad creadora de mecanismos nuevos para sus máquinas y adecuado uso novedoso de otros preexistentes.

No obstante, hay más. Continúa Torres Quevedo:

Pero no es éste el único ni el más importante reparo que puede ponerse a la definición citada.

Según Ampère, la Cinemática, ó si se quiere, la Teoría Geométrica de los Mecanismos, debe limitarse á estudiar la transformación de un movimiento en otro. Este es efectivamente el problema de las máquinas industriales, y por eso la definición ha resultado suficiente, en cuanto a las necesidades prácticas se refiere, y ha sido generalmente admitida; pero al aceptarla, se limita arbitraria e injustificadamente la Teoría de Mecanismos...

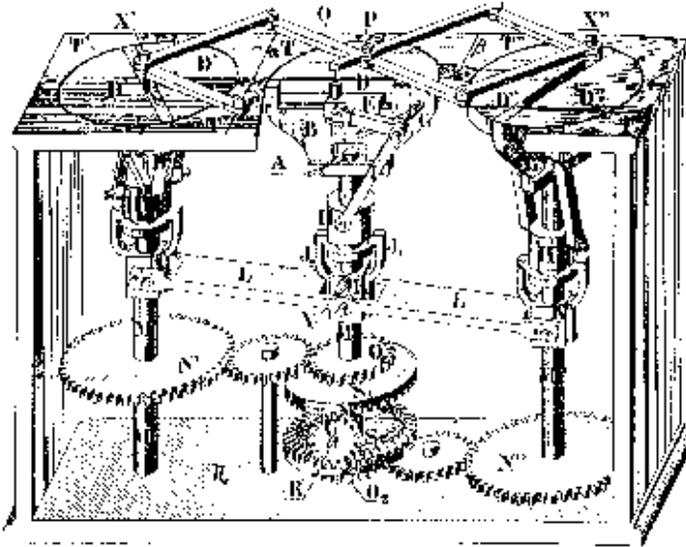
Finalmente introduce una nueva concepción teórica de máquina. Veamos:

...como el número de móviles enlazados y el de ecuaciones de condición, pueden aumentar cuanto se quiera, deberá decirse que una máquina es un instrumento que enlaza varios móviles é impone mecánicamente ciertas relaciones entre los valores simultáneos de sus desplazamientos.

Estas relaciones se formularán de ordinario en una o varias ecuaciones, y se dirá con entera propiedad, que al construir la máquina se han construido las ecuaciones establecidas entre los valores de los desplazamientos considerados. Basta tener en cuenta esta analogía para comprender la posibilidad de obtener máquinas que ejecuten ciertos cálculos algébricos.

Y, a continuación, se hace la pregunta capital complementada con una escueta y dura afirmación:

¿Podrá construirse una fórmula cualquiera? La cuestión no está resuelta ni aun planteada. Muchos inventores han proyectado aparatos aplicables á la resolución de ecuaciones, pero todos han simplificado el problema cinemático, recurriendo a un artificio, para emplear una máquina que encaje dentro de la definición usual, que cambie la dirección y la velocidad de un movimiento dado.



Torres Quevedo ha iniciado *una nueva época teórica*; es decir, no sólo ha creado nuevas máquinas, sino que, basado en nuevos conceptos por él introducidos, ha generado una innovadora concepción de máquinas y construido toda una original familia de calculadoras. Por ello no consideramos importante solamente el descubrir y describir sus *máquinas* sino que lo es tanto o más afirmar que introduce un *nuevo concepto* de máquina y que, como consecuencia, engendra una *nueva concepción* de máquinas.

En síntesis, en esta *primera* Memoria plantea, por primera vez en la historia, la cuestión general “¿Podrá construirse una fórmula cualquiera?”, e inicia la senda para resolverla... Pasados unos años, en febrero de 1900, con ocasión de la Memoria “Machines à Calculer” que presenta a la Academia de Ciencias de París, el “Rapport” que preparan Deprez, Poincaré y Appell como informe para la Academia concluye así:

En résumé, M. Torres a donné une solution théorique, générale et complète, du problème de la construction des relations algébriques et transcendentes par des machines; il a, de plus, construit effectivement des machines, d'un maniere commode, pour la résolution de certains types d'équations algébriques qui se présentent fréquemment dans les applications.

La Commission demande à l'Académie d'ordonner l'insertion du Mémoire de M. Torres au Recueil des Savants étrangers.

Es decir, Torres Quevedo, primero, había resuelto la cuestión clave: “había dado una solución teórica, general y completa, del problema de la construcción de relaciones algebraicas y trascendentes mediante máquinas”, y, segundo,

“construido, efectivamente, máquinas para la resolución de algunos tipos de ecuaciones algebraicas”.

A su capacidad crítica para analizar las causas de los fracasos de los intentos que le precedieron unía una notable capacidad creativa –inventiva–. Las “consideraciones generales” (Capítulo I de su memoria) concluyen así:

Para vencer, hasta donde sea posible, las dificultades prácticas, creo necesario sujetarse á las dos condiciones siguientes:

1º. Las transmisiones han de ser puramente geométricas. Quiero decir con esto que dependerán sólo de la forma de los mecanismos, y así, mientras ésta se conserve, mientras la máquina no se rompa, las relaciones entre los desplazamientos se realizarán seguramente y con toda la exactitud que la construcción de la máquina permita alcanzar.

2º. Sólo han de emplearse mecanismos sin fin, para representar las variables por desplazamientos que puedan oscilar entre límites muy amplios. En este folleto me propongo demostrar la posibilidad de construir, cumpliendo estas condiciones, máquinas que resuelvan una ecuación ó un sistema de ecuaciones algébricas.

En resumen:

La nueva máquina tiene por objeto producir de una manera continua y automática los valores sucesivos por los que va pasando un polinomio racional y entero, a medida que la variable crece o disminuye; y en este concepto podría denominarse generador de polinomios.

Desde el punto de vista práctico de la construcción de las máquinas, dice Saavedra (1895): “Tres órganos esenciales componen la nueva máquina, á saber: el generador de cantidades, el generador de monomios y el generador de sumas”. Los tres generadores son *sistemas mecánicos* que establecen las relaciones convenientes entre sus movimientos para representar las correspondientes operaciones algebraicas.

El *generador de cantidades* –original de Torres Quevedo y bautizado por Saavedra con el nombre de *aritmóforo*– sirve para representar los números mediante una escala logarítmica en una rueda graduada de 1 a 10 (para obtener todas las mantisas posibles de los logaritmos) y otra rueda contadora de vueltas (para representar las características crecientes o decrecientes de los logaritmos). Continúa Saavedra (1895) en su *Informe*:

La idea de establecer la graduación numérica en la circunferencia de una rueda es común á muchos instrumentos; pero la de que esa graduación se ajuste á una escala logarítmica es propia del autor...

En ella se ha empleado también por primera vez la gradación á lo largo de una hélice cilíndrica para poder apreciar bien las últimas

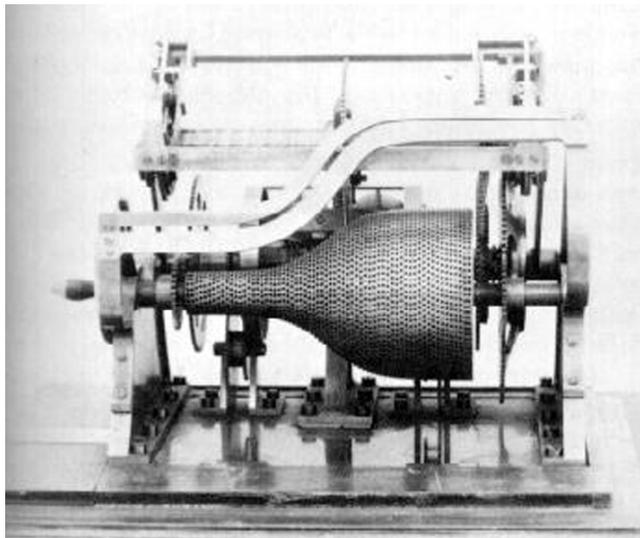
divisiones, condición indispensable en una máquina de generación continua...

El *generador de monomios –tren epicycloidal–* mediante el empleo de logaritmos convierte en suma la operación necesaria para construir un monomio

$$\log Ax^n = \log A + n \log x.$$

Este dispositivo torresquevediano no puede considerarse absolutamente original ya que en alguna forma había sido utilizado por Stamm en 1863. Sin embargo, el *generador de sumas* o generador del polinomio *–husillo sin fin–*, órgano fundamental de la máquina, “es lo más curioso y original del invento” y es un “mecanismo acerca del cual no hay el menor antecedente”. La máquina de calcular de Torres Quevedo constituyó un gran avance teórico y una genialidad práctica.

¿Qué es el *husillo sin fin*? Un sistema mecánico, inventado por Torres Quevedo, que permite calcular el logaritmo de una suma como suma de logaritmos resolviendo el complejo y difícil problema de su representación mecánica mediante una solución teórica original del inventor igüés.



Por otra parte, las condiciones que considera Torres Quevedo que deben reunir las máquinas algebraicas para superar satisfactoriamente las dificultades prácticas, con los objetivos –éstas son sus preocupaciones– de reducir errores y de no limitar los valores de las variables, son varias. Primera: emplear *aritmóforos* logarítmicos para mayor precisión de los valores entre extremos grandes y para la uniformidad o constancia de los errores relativos. Segunda: prescindir de transmisiones por contacto, acudiendo siempre a enlaces geométricos para

evitar errores de resbalamiento. Tercera: admitir exclusivamente mecanismos sin fin, para no limitar la amplitud de las variables.

La Academia de Ciencias de Madrid le había abierto las puertas del triunfo haciendo suyo el dictamen de Saavedra informando muy favorablemente su Memoria.

El desarrollo posterior de sus máquinas algébricas es intenso pero breve. Los años 1886 a 1900 los dedica a estudiar, perfeccionar, concebir detalladamente sus máquinas y construir alguna. En febrero de 1900 presenta en la Academia de Ciencias de París, la memoria *Machines à calculer*. En los *Comptes rendus* de la sesión –traducimos– insiste:

Se demuestra en mi Memoria que siguiendo este método, es posible, en pura teoría, construir un sistema cualquiera de relaciones definidas analíticamente.

El objeto es presentar la composición de la máquina para construir la ecuación

$$a = \frac{a_1x^1 + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5}{a_6x^6 + a_7x^7 + a_8x^8}$$

de la que da una descripción sumaria (‘máquina para resolver ecuaciones de ocho términos’). Así concluye don Leonardo:

Pongo a disposición de la Academia el proyecto detallado de mi máquina y varios modelos que he construido para ensayar algunos mecanismos nuevos. Mi máquina no contiene más que mecanismos corrientes o mecanismos ya ensayados por mí; debe creerse, pues, que se obtendrán los resultados que acabo de anunciar.

Entre los modelos que presento, hay uno que sirve para calcular las raíces reales de ecuaciones trinomias. Permite obtener estas raíces muy rápidamente y con bastante gran exactitud para poder ser útilmente aplicada.

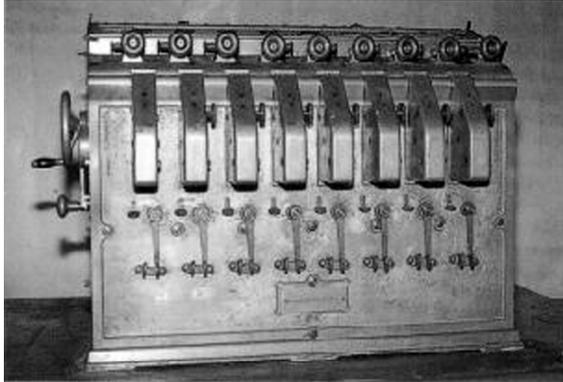
Esta Memoria, como anticipamos en la introducción, informada por De-prez, Poincaré y Appell en 1900, se publicó en la colección “Mémoires présentés par divers savants à l’Académie des Sciences de l’Institut National de France”.

En la *Revue de Mécanique* publica Torres Quevedo “Sur la construction des Machines Algébriques” en la que explica detalladamente el proyecto de la “Máquina de calcular que construye la función a –o que calcula las raíces del polinomio de ocho términos–”: esquemas de composición de la máquina, proyecto de los aritmóforos logarítmicos, de los trenes exponenciales, de los husillos sin fin y de estructuración general, concluyendo la memoria con la descripción de sus aparatos de demostración que realizan mecánicamente la permutación de raíces.

Esta máquina no se construyó entonces... pero comenzó a construirse, según su hijo y colaborador Gonzalo Torres-Quevedo, en 1910 y se concluyó

en 1920. Hoy es una de las piezas esenciales del que podía ser Museo “Leonardo Torres Quevedo” de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid.

De manera complementaria, pero de sumo interés para comprender mejor la visión general que concibió Torres Quevedo sobre las máquinas analógicas, en el contexto de su época, deben indicarse sus trabajos “Sobre la utilidad de emplear ejemplos cinemáticos en la exposición de algunas teorías matemáticas” y “Sur les rapports entre le calcul mécanique et le calcul graphique”.



Esta etapa de las máquinas analógicas de Torres Quevedo, de hecho, se concluye, ya en la cima de la fama, con su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, del 19 de mayo de 1901, colofón de su pensamiento científico en el ámbito de las *máquinas algébricas*.

Debemos referirnos, al menos, al apartado VI del discurso en la Academia dedicado a las máquinas para integrar ecuaciones diferenciales:

Las ecuaciones diferenciales se construyen también sin dificultad, utilizando para ello los mecanismos empleados en la construcción de los planímetros ó integradores...

... Tal es la hipótesis, realizable con absoluta exactitud en teoría; y no tenemos que pensar ahora en los medios de llevarla con más o menos perfección á la práctica...

... Para construir una ecuación diferencial de primer orden $f(x, y, y')=0$, bastará imponerla por medio de nuevos enlaces mecánicos...

... El aparato que estamos considerando sirve -ya lo estáis viendo- para construir una integral particular cualquiera de la ecuación propuesta...

... No podremos... hallar la integral general de ninguna ecuación; pero ... podremos construir las integrales particulares relativas á cada caso...

Y esto, cualesquiera que sean la clase y número de ecuaciones diferenciales.

El profesor García Santesmases comentaba en 1961:

Hubieron de pasar cerca de treinta años para que la máquina de tipo general, para resolver ecuaciones diferenciales, preconizada por Torres Quevedo, se convirtiera en realidad. Se trata del Analizador Diferencial construido por Bush en el Instituto Tecnológico de Massachussets.

Cuando estaba ya alumbrando sus máquinas de calcular electromecánicas, relajado de la etapa de dedicación intensa concreta a las experiencias del *telekino* y de los *dirigibles* (1905-1909) y de vuelta de su viaje a la República Argentina (1910) presenta, también en la Academia de Ciencias de París, en 1911 –¡diez años después!– su Memoria *Construction mécanique de la liaison exprimée par la formule $y' = dy/dx$* . Esta máquina –el integrador– es otra clara manifestación de su portentosa imaginación, de su convicción, de su capacidad creativa y de su perseverancia, que se une destemporizadamente –en la etapa de las máquinas analíticas, de la automática– a la ‘máquina de calcular raíces de polinomios de ocho términos’. El integrador y la máquina de calcular referida son manifestaciones técnicas, en la década de 1910 al 20, de sus concepciones de finales del siglo XIX.

4. BIBLIOGRAFÍA DE TORRES QUEVEDO

- [1] “*Nouveau système de chemin funiculaire aérien, a fils multiples*”, 4 págs., 1 pliego con 17 figs. (Exposé d’invention. Bureau Fédéral de la Propriété intellectuelle, Brevet n° 589. 15 février 1889, 8 h. Publié le 17 avril 1889. Confédération Suisse, 1889). Se reproduce facsímil en el libro de F. GONZÁLEZ DE POSADA (ED.), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior. Madrid, 1992.
- [2] *Memoria sobre las máquinas algébricas* (107 págs.). Imprenta de la Casa de la Misericordia. Bilbao, 1985. Se reproduce íntegra en la *Revista de Obras Públicas*, **XLIII**, núms. 22 a 33 (10 de agosto a 30 de noviembre de 1895), 169-170, 177-178, 185-186, 193-194, 201-205, 209-215, 217-222, 225-227, 233-240, 241-246, 249-259, 257-262. Se reproduce facsímil en el libro de F. GONZÁLEZ DE POSADA (ED.), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior. Madrid, 1992.
- [3] “Sur les machines algébriques”. *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, **CXXI**, 245-249, 1895.
- [4] “*Machines algébriques*” (13 págs.). Congrès de Bordeaux de la Association Française pour l’Avancement des Sciences. París, 1895.
- [5] “Orientación en las grandes poblaciones. Indicadores coordenados”. *Madrid Científico*, 12 de enero de 1896. Se reproduce como capítulo in-

- dependiente en el libro *Mis inventos y otras páginas de vulgarización*. Editorial Hesperia. Madrid. 1917.
- [6] “Sur les machines à calculer”. *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, **CXXX**, 1-3, 1900.
- [7] “Sobre la utilidad de emplear ejemplos cinemáticas en la exposición de algunas teorías matemáticas”. *Ateneo de Madrid*, 7-11, 1900. También se publica en Francés, “Sur l’utilité des exemples cinématiques dans l’exposition des théories mathématiques”. *Bulletin de la Société Mathématique de France*, **XXIX**, 7-12, 1901.
- [8] *Machines à Calculer* (20 págs., 5 planchas de dibujos). Mémoires présentés par divers savants à l’Académie des Sciences de l’Institut National de France, **XXXII**, n° 9, 1901.
- [9] “*Máquinas algébricas*”. Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la recepción pública del Sr. D. Leonardo Torres Quevedo, págs. 1-33, 1901. Se reproduce en *Revista de Obras Públicas*, **XLIX**, núm. 1339 (23 de mayo de 1901), 195-196, y núm. 1341 (6 de junio de 1901), 205-209. También en el libro *Mis inventos y otras páginas de vulgarización*. Editorial Hesperia. Madrid. 1917. Los tres primeros capítulos se recogen en *Ateneo*, págs. 202-208, septiembre de 1906. Se publica en francés, “Machines algébriques” (31 págs.), *Revue de Questions Scientifiques. Société Scientifique de Bruxelles*. Louvain, 1902. Se reproduce facsímil en el libro de F. GONZÁLEZ DE POSADA (ED.), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior. Madrid, 1992.
- [10] “Sur les rapports entre le calcul mécanique et le calcul graphique”. *Bulletin de la Société Mathématique de France*, **XXIX**, 1-6, 1901.
- [11] “Sur la construction des Machines algébriques”. *Revue de Mécanique*, septiembre-octubre de 1901. Dunod. París.
- [12] “*Perfectionnements aux aérostats dirigeables*”, 13 págs., 2 pliegos con 19 figs. (Brevet d’invention. Office National de la Propriété Industrielle. Brevet n° 320.901. 5 mai 1902, 3h 40m. Publié le 23 décembre 1902. République Française). Posteriormente se presenta “*Première addition*”, 2 págs., 1 pliego con 1 fig. 10 juillet 1902, 2h. Publié le 30 mars 1903. En 2002 se publicó una edición bilingüe castellano/francés, preparada por F. González de Posada y F. A. González Redondo para INTEMAC. Madrid.
- [13] “*Système dit Télékine pour commander à distance un mouvement mécanique*”, 7 págs., 3 planchas con 19 figs. (Brevet d’invention. Office National de la Propriété Industrielle. Brevet n° 327.218. 10 décembre 1902. Publié le 17 juin 1903. République Française).
- [14] “Sur le télékine”. *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, **CXXXVII**, 317-319, 1903.
- [15] “Sur la stabilité longitudinale des ballons dirigeables”. *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, **CXL**, 1019-1022, 1904.

- [16] “Sobre un sistema de notaciones y símbolos destinados a facilitar la descripción de las máquinas”. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, **IV**, 429-442, 1906. Se reproduce en la *Revista de Obras Públicas*, **LV**, núm. 1634 (17 de enero de 1907), 25-30. También en la *Revista de Ingeniería*. Madrid, 1907.
- [17] “Une réclamation de priorité à propos du télékine et des expériences d’Antives”. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, **V**, 86-103, 1906. Se reproduce parcialmente en castellano en *Revista de Obras Públicas*, **LV**, núm. 1653 (30 de mayo de 1907), 325-327. También en *Madrid Científico*, 1907. Se reproduce facsímil en el libro de F. GONZÁLEZ DE POSADA (ED.), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior. Madrid, 1992.
- [18] “Le Télékine et la Télémechanique”. *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, **CXLIV**, 972-973, 1907.
- [19] “Perfectionnements dans les ballons fusiformes”, 3 págs., 1 plancha con 8 figs. (Brevet d’invention. Office National de la Propriété Industrielle. Brevet n° 382.794. 10 juillet 1907. Publié le 15 février 1908. République Française).
- [20] “Construction mécanique de la liaison exprimée par la formule”. *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, **CLII**, 33-34, 1911.
- [21] “Sobre un nuevo sistema de máquinas de calcular electro-mecánicas”. *Revista de Obras Públicas*, **LIX**, 227-233, 274-278, 1911. Se edita también en *La Ingeniería*, 15 de febrero de 1911. Buenos Aires.
- [22] “La enseñanza de la Ingeniería en España”. Imprenta de J. Layunta. Madrid, 1913. Se reproduce como capítulo independiente en el libro *Mis inventos y otras páginas de vulgarización*. Editorial Hesperia. Madrid. 1917.
- [23] “Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones”. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, **XII**, 391-419, 1914. Se reproduce, con el título “Automática. Complemento de la teoría de máquinas”, en la *Revista de Obras Públicas*, **LXII**, núm. 2043 (24 de diciembre de 1914), 575-583. Se edita en Francés, “Essais sur l’automatique. Sa définition. Etendu théorique de ses applications”. *Revue Générale des Sciences*, 601-611, 1915. La versión española se recoge en el catálogo de la exposición “Leonardo Torres Quevedo” del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1978. Se reproduce facsímil en el libro de F. GONZÁLEZ DE POSADA (ED.), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior. Madrid, 1992. Existe una traducción al Inglés en el libro de BRIAN RANDELL, *The Origins of Digital Computers*. Springer-Verlag. New York, 1973. En 1996 se publicó una edición trilingüe castellano/francés/inglés, preparada por F. González de Posada para INTEMAC. Madrid.

- [24] “*Le joueur d’échec*”. Le Matin, París, 1914. Se recoge traducido al castellano en *La Gaceta del Norte* y en *Madrid Científico*.
- [25] “Máquinas y autómatas”. *El Ingeniero* Vol. 22, 394-395. Se reproduce en Nuevo Mundo. También, como capítulo independiente, en el libro *Mis inventos y otras páginas de vulgarización*. Editorial Hesperia. Madrid. 1917.
- [26] *Mis inventos y otras páginas de vulgarización*. Editorial Hesperia. Colección “Ciencia Vulgarizadora”. Madrid, 1917.
- [27] “*El dirigible Hispania*”. Discurso Inaugural en Actas del Congreso de Bilbao de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Tomo I, 7-39, 1919. Se reproduce facsímil en F. GONZÁLEZ DE POSADA (ED.), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior. Madrid, 1992.
- [28] “Arithmomètre électromécanique”. Les Machines á Calculer. *Bulletin de l’Académie des Sciences*, **CXXXII**, 588-599, 1920. Existe una traducción al Inglés en el libro de BRIAN RANDELL, *The Origins of Digital Computers*. Springer-Verlag. New York, 1973. Se reproduce facsímil en el libro de F. GONZÁLEZ DE POSADA (ED.), *Leonardo Torres Quevedo*. Fundación Banco Exterior. Madrid, 1992. En 1996 se publicó una edición trilingüe castellano/francés/inglés, preparada por F. González de Posada para IN-TEMAC. Madrid.

Francisco González de Posada
Dpto. Física e Instalaciones
ETS Arquitectura. UPM
28040 Madrid
Correo electrónico: fgposada@aq.upm.es

Francisco A. González Redondo
Dpto. Álgebra
Fac. Educación. UCM
28040 Madrid
Correo electrónico: faglezr@edu.ucm.es