

## MEMORIAS DE LA AUTOMÁTICA

### Leonardo Torres Quevedo: el nacimiento de la Automática en España

Dentro de la iniciativa comenzada en números anteriores de presentar esta sección de Memorias de la Automática con una serie de reseñas sobre las personas y los grupos impulsores de la Automática en España, sus actividades y evolución, traemos en esta ocasión la figura singular de Leonardo Torres Quevedo. Pese a haber sido ya objeto de atención, breve pero precisa, por parte de Javier Aracil en el anterior número de enero de RIAI, en un contexto más general, deseamos en esta ocasión centrarnos en este verdadero precursor de una ciencia naciente a principios del siglo XX. Para ello hacemos en primer lugar una revisión biográfica, con los hitos personales y de sus innovaciones, presentando también un breve análisis de sus contribuciones más importantes.

Torres Quevedo nace el 28 de diciembre de 1852 en Santa Cruz de Iguña, pedanía de Molledo, en Cantabria. Pasa buena parte de su infancia en Bilbao, donde estudia el bachillerato que termina en 1868. Viaja a continuación a París para completar sus estudios secundarios, permaneciendo dos años en Francia, país con el que guardaría estrechos vínculos y que sería posteriormente el principal espacio de proyección internacional de muchas de sus aportaciones.

En 1870 se traslada con su familia a Madrid, ingresando el año siguiente en la Escuela Oficial del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, estudios que finaliza en 1876, dedicándose durante los meses siguientes a diferentes trabajos técnicos ferroviarios, relacionados con los de su padre, Luis Torres, también ingeniero de caminos. Tras un viaje de estudios por Italia, Francia y Suiza, en 1877, decide retirarse a su comarca natal donde contrae matrimonio en 1885 con Luz Polanco, con la que tendría ocho hijos, entre ellos Gonzalo, que seguiría los pasos del padre. Los años siguientes se dedica a la lectura, al estudio y sobre todo a lo que sería el comienzo de sus trabajos científico-técnicos de uno modo autofinanciado, gracias a la herencia que había recibido de unas parientes, las señoritas Barrenechea; explicando al respecto que al *"...tomar puesto en el Escalafón estaba convencido de mi poco amor al trabajo metódico y disciplinado de las oficinas, y renuncié a él para dedicarme a pensar en mis cosas..."*. Así, de sus primeros diseños, en 1880, lleva a cabo unas demostraciones de un trasbordador de tracción animal, de cuya evolución posterior trató el contenido de su primera patente, registrada en el año 1887. De este modo, el tema de los funiculares constituyó una de las líneas de trabajo de su actividad posterior, realizando diferentes versiones de estos sistemas, con sucesivas patentes, e instalando en el Monte Ulía de San Sebastián (1907) el primer teleférico de transporte humano, gracias al aumento de seguridad que supuso la utilización de varios cables de suspensión autotensados, incluso en el caso de rotura de uno de ellos, al haber sustituido el anclaje fijo de uno de sus extremos por contrapesos adecuados. Posteriormente, mediante una empresa creada al efecto, se instalaron otros funiculares en Chamonix, Rio de Janeiro, etc. siendo sin embargo el de mayor impacto el conocido Spanish Aerocar, de 580 metros de longitud, instalado en las Cataratas del Niágara, Canadá, en 1916 y que aún hoy se encuentra en servicio.

En 1889 se establece de forma estable en Madrid. En esos años diseña sucesivamente una serie de calculadoras analógicas de tipo mecánico, que igualmente fueron evolucionando para resolver diferentes problemas, desarrollando posteriormente unos autómatas, los llamados "aritmómetros" que, con el uso de relés pueden considerarse como precursores de las calculadoras digitales. Los conceptos y dispositivos desarrollados en esta línea constituyeron posiblemente sus contribuciones de mayor impacto y trascendencia. En 1893 presenta en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales "Memoria sobre las Máquinas Algebraicas", trabajo que más tarde daría a conocer en la Academia de París, entidad en la que ingresaría en 1927 como uno de sus selectos miembros extranjeros.

Otro tema central de trabajo de Torres Quevedo fue el diseño y la construcción de dirigibles, presentando un nuevo proyecto en este tema en las Academias de Ciencias Madrid y de París en 1902, lo que daría lugar en 1905 a la realización del "España", primer dirigible nacional. La innovación principal que introdujo en este fue la de disponer una estructura semirígida de cables tensores internos de los que a su vez suspendía la barquilla, lo que, junto a la presión interna del gas, venía a resolver en buena medida los problemas de mantenimiento de la

geometría, aerodinámica y estabilidad ante perturbaciones de las soluciones invertebradas existentes y los problemas de reducción de peso y tamaño para su transporte y almacenamiento propios de los de tipo rígido dotados de pesadas estructuras internas. En esta línea de dirigibles el hecho más significativo fue la fabricación, a partir de 1911, de diferentes versiones bajo la denominación Astra-Torres por la firma francesa Astra, al no haber encontrado apoyo financiero para su lanzamiento en España. Algunas de estas unidades fueron empleadas con éxito en usos militares, en escenarios navales, durante la Primera Guerra Mundial por Francia e Inglaterra y alguna otra adquirida más tarde por Japón.

En la Academia de París daría a conocer también otras innovaciones posteriores como el dispositivo de telecontrol telekino, patentado en 1903 como "*Un sistema denominado Telekino para gobernar a distancia un movimiento mecánico*". Constituyó el primer autómatas de naturaleza electromecánica de Torres Quevedo, tecnología de la que descubrió y aprovechó sus grandes posibilidades, aplicándola más tarde a sus ajedrecistas y al aritmómetro, con todo lo cual puede considerarse que aborda propiamente la Automática. En el telekino conseguía realizar movimientos discretos, esto es paso a paso, de una pieza móvil, tal como un timón, mediante la transmisión a distancia de ondas hertzianas, con la inclusión de un ingenioso mecanismo de retardo para la recepción completa de las órdenes previamente a su ejecución. El telekino fue ideado con el propósito de realizar ensayos no tripulados en sus dirigibles, pero finalmente, tras unas pruebas menores, fue objeto de una demostración dirigiendo las maniobras de un bote en la Casa de Campo y después en el puerto de Bilbao en 1906 ante Alfonso XIII. Pese al éxito obtenido no consiguió apoyo de las autoridades, en este caso de la Marina Española, para iniciar un programa de desarrollos para guía de torpedos y otras aplicaciones, lo que provocó una considerable desazón en el insigne ingeniero. El Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE, ha incluido el telekino como uno de los 65 hitos destacados de la historia de la ingeniería en el mundo.

Desde su llegada a Madrid Torres Quevedo goza de un amplio reconocimiento participando en la vida cultural y científica española. Así, a instancias del Ateneo, el Estado crea en 1901, bajo su dirección, un laboratorio-taller en el que llevaría a cabo sus investigaciones y desarrollos posteriores. Pocos años después, en 1904, a partir de este laboratorio y fundamentalmente para apoyo a los trabajos de Torres Quevedo, se crea, si bien con escasas dotaciones económicas, el Centro de Ensayos de Aeronáutica, dependiente del Ministerio de Fomento.

En el contexto científico-técnico español, independientemente de laboratorios, museos y otros centros de carácter científico que existían con anterioridad, podemos considerar la primera década del pasado siglo como la etapa en la que se plantearon las bases de instituciones educativas, científicas y de desarrollo tecnológico, de una forma integral en España. Estas acciones surgieron en un ambiente regeneracionista que vivía la clase intelectual, como respuesta al aislamiento español y al pesimismo imperante tras el "desastre del 98" con la pérdida de las últimas colonias y al bajo nivel de formación del pueblo respecto a los vecinos países europeos. Así, en 1900 se crea el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes, en 1903 La Sociedad Española de Física y Química y en 1908 La Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, entre otras instituciones. Sin embargo, el hito más relevante en este sentido, del que ahora se celebra el centenario en el Año de la Ciencia, fue sin duda la creación en enero de 1907 de La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), como entidad autónoma dentro del ministerio antes mencionado. Sus fines principales fueron la dotación de becas para la completar la formación de universitarios y las relaciones con otros países, así como la creación de centros de investigación y la potenciación de algunos ya existentes, que fueron integrados en este nuevo organismo. La Junta fue ubicada en la Colina de los Chopos de Madrid, en el edificio del Palacio de la Industria y de las Artes, erigido para la anterior exposición nacional del mismo nombre y que alberga actualmente la Escuela de Ingenieros Industriales y el Museo de Ciencias Naturales, siendo presidida desde su fundación por Ramón y Cajal y contando con Torres Quevedo como vocal de esta institución.

Dentro del espíritu integrador del momento y a iniciativa justamente de Torres Quevedo se crea la Asociación de Laboratorios de la JAE (Real Orden 8-6-1910), que engloba a una serie de laboratorios de carácter permanente al servicio de esa institución, entre los que estaría igualmente integrado el anteriormente referido. Aunque existen ciertas discrepancias entre los historiadores consultados sobre fechas, nos inclinamos a pensar que fue en 1907 cuando esta unidad pasó a llamarse Laboratorio de Mecánica Aplicada y después, en 1911, Laboratorio de Automática, siempre dirigido por Torres Quevedo. Nos encontramos pues con la primera entidad española dedicada a la Automática. Años después, en 1926, tras varios cambios de dependencia ministerial, la unidad referida se denominaría Laboratorio de Mecánica Industrial y Automática. Estas entidades, aunque incipientes y con carencias económicas y tecnológicas, permitieron intensificar y diversificar los campos de trabajo de Torres Quevedo, haciendo de los primeros veinte años del siglo la que fue sin duda su etapa más fructífera con importantes contribuciones y realizaciones de impacto mundial.

La labor de difusión de conocimientos de las investigaciones y desarrollos de Torres Quevedo fue también muy importante, tanto en España como en el exterior, mediante numerosas conferencias y publicaciones en medios e instituciones de primer nivel, lo que le abrió las puertas de las principales entidades científicas del momento. En este sentido, el reconocimiento y prestigio de la figura de Torres Quevedo es en esos años general siendo

nombrado en 1910 Presidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ahora bien, de todas sus publicaciones, la de mayor trascendencia fue “Ensayos sobre Automática. Extensión teórica de sus aplicaciones”, en la Revista de la Real Academia de Ciencias en enero de 1914. Esta publicación, describe los fundamentos de algunos de sus sistemas como el *telekino* y el *torpedo automóvil*. En este último trataba de mantener su profundidad en un esquema mecánico de control con sensores (péndulo y membrana presostática) actuador (timón) y control (mecanismos de transmisión). La obra en su conjunto constituye un verdadero hito histórico ya que en ella aborda los fundamentos de la Automática, su definición y los conceptos básicos de los autómatas. Respecto a éstos estableció una sutil y trascendente distinción al expresar la conveniencia de *“...dividir los autómatas en dos grupos, según que las circunstancias que regulan su acción actúen de un modo continuo, o que, por el contrario, lo hagan bruscamente, por intermitencias...”*, introduciendo así las máquinas de estados discretos, base de las digitales, frente a las únicas hasta entonces existentes, de tipo analógico. En su concepción de la Automática expresa conceptos clarividentes tales como *“...se cree que es posible automatizar las operaciones mecánicas, puramente manuales de un obrero, y que, por el contrario, las operaciones que exigen la intervención de las facultades mentales nunca se podrán ejecutar mecánicamente...”* demostrando además que es posible la construcción de autómatas *“...que tengan discernimiento, que puedan en cada momento, teniendo en cuenta las impresiones que reciben, y también, a veces, las que han recibido anteriormente, ordenar la operación deseada. Es necesario que los autómatas imiten a los seres vivos...adaptando su conducta a las circunstancias”*. Todo ello, como vemos, entra de lleno no solamente en el control realimentado sino en los actuales conceptos de inteligencia artificial y de teoría de control.

Las múltiples ideas innovadoras de Torres Quevedo dieron lugar a numerosas patentes en España y en el exterior siendo muchas de ellas llevadas a la práctica como nuevos sistemas, incluso fabricados por empresas con implicación personal del autor como en casos de transbordadores y dirigibles.

Los trabajos de Torres Quevedo marcaron hitos científico tecnológicos en su época, siendo quizá una de sus mayores contribuciones la correspondiente a las llamadas máquinas algébricas, dadas a conocer en destacados foros científicos. En particular es especialmente relevante la presentación de la memoria “*Machines à calculer*” ante la Academia de Ciencias, Instituto de Francia, cuyo informe presentado por los ponentes Marcel Deprez, Poincaré y Appell, resalta que *“...el Sr. Torres ha dado una solución teórica, general y completa del problema de la construcción de relaciones algebraicas y trascendentes por máquinas...”*.

Su trabajo supuso el enfoque inverso al seguido por Lagrange en el análisis de los sistemas mecánicos. Si éste analiza los sistemas mecánicos atendiendo a las expresiones que definen sus enlaces relacionando las coordenadas que determinan completamente la posición del sistema, Torres Quevedo demuestra la existencia de infinitos sistemas mecánicos cuyos enlaces cinemáticos quedan descritos mediante relaciones algebraicas o trascendentes previamente especificadas. Establece así la posibilidad de determinar los valores de las variables dependientes (representadas en sus máquinas mediante el desplazamiento de móviles) en una relación algebraica a partir de las variables independientes en la relación (representadas en sus máquinas mediante el desplazamiento de un móvil que actúa como entrada del valor de las mismas).

Entre las demostraciones prácticas de sus desarrollos teóricos en el ámbito de las máquinas algébricas se puede citar el mecanismo mediante husillo sin fin (figura a) que de forma asombrosamente elegante permite describir la relación  $Y = \log(10^x + 1)$ . Otras realizaciones dieron lugar por ejemplo a máquinas para integrar ecuaciones diferenciales de primer orden o para resolver mecánicamente la ecuación  $x^2 - px + q = 0$ , con coeficientes y raíces imaginarias.

Los fundamentos de la automática establecidos en su obra “Ensayos sobre Automática. Extensión teórica de sus aplicaciones” dieron lugar a varios desarrollos prácticos en el ámbito de los aritmómetros. Los aritmómetros de Torres Quevedo son dispositivos electro mecánicos que entre otras funciones permiten: la entrada de datos y la salida de resultados de forma automática mediante el empleo de una máquina de escribir dotada de contactos eléctricos en sus teclas numerales, la posibilidad de ser gobernados a distancia, el almacenamiento temporal de los factores de la operación a realizar en memorias electromecánicas en tanto el operador no escriba la operación a realizar y la comparación numérica entre los factores para agilizar el computo de los resultados de restas y divisiones. En la figura b se muestra una máquina de calcular -suma, resta, multiplica y divide- gobernada a distancia por medio de otra de escribir ordinaria dotada de contactos eléctricos y provista de un dispositivo para escribir automáticamente los resultados. Posee memoria electromecánica y un coordinador automático (fuente: Centro de Tecnologías Físicas Torres Quevedo, CSIC).

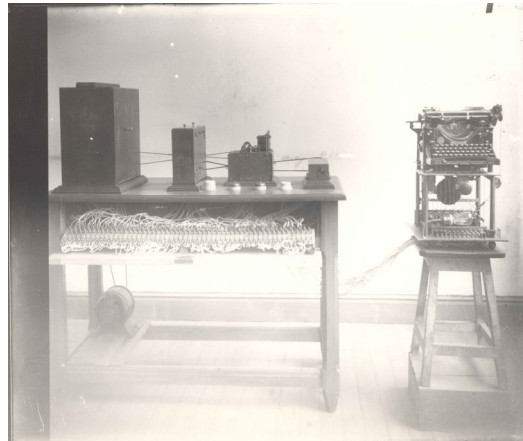


Figura 1. a) Husillo sin fin.

b) Aritmómetro electromagnético

Quizá uno de los desarrollos más conocidos de Torres Quevedo sea su ajedrecista. La importancia del ajedrecista de Torres Quevedo radica en que ilustra magníficamente las posibilidades de su teoría de la Automática. El ajedrecista permite ejecutar de forma automática el mate de torre y rey contra rey. En su versión más elaborada, el ajedrecista cuenta con dos deslizaderas, una horizontal y otra vertical enclavadas en la posición de cada una de las piezas en juego, es decir un con un total de seis deslizaderas. Éstas permiten tener unívocamente determinada la posición de la partida para, mediante reglas prefijadas (recuérdese que la resolución de un mate de estas características es un problema algorítmico) determinar el movimiento a ser realizado. El autómatas anuncia mediante un fonógrafo cuando da jaque y además mediante un letrero luminoso el mate. El ajedrecista de Torres Quevedo detecta jugadas erróneas por parte del adversario y las anuncia mediante un segundo letrero luminoso. A la tercera jugada errónea detiene la partida y es necesario comenzar de nuevo.

A las innovaciones comentadas anteriormente hay que añadir otros muchos instrumentos (magnetógrafo, microradiógrafo, cinematógrafo, espectrógrafo de rayos X...) realizados en cooperación con destacados científicos coetáneos (G. Brañas, Blas Cabrera, Ramón y Cajal,...) y otros, con sus colaboradores del Laboratorio (Costa y otros) de apoyo a otros campos como la enseñanza (proyectores, punteros, paginadores...) y al ferrocarril (sistema de enclavamiento).

Fruto del amplio reconocimiento dentro y fuera de España dan muestras la cantidad de cargos y distinciones, siendo algunos de ellos los siguientes: Presidente de la Sociedad Matemática Española, Presidente de la Sociedad Española de Física y Química, Presidente, de la Academia de Ciencias, Medalla de Echegaray por el rey Alfonso XIII, Gran Cruz de Carlos III, Gran Cruz de Alfonso XII, Comendador de La Legión de Honor Francesa, Doctor *honoris causa* por la Universidad de la Sorbona.

Torres Quevedo muere el 18 de diciembre de 1936 en Madrid, en plena Guerra Civil, a solo diez días de cumplir los 84 años.

Tras la Guerra, en 1939, al crearse el CSIC como continuador de la JAE, se da el nombre de Instituto Torres Quevedo de Material Científico a otro anteriormente existente con esta orientación. Actualmente, tras diferentes reordenaciones de centros en la misma institución, solamente se recuerda su nombre en el Centro de Tecnologías Físicas "Leonardo Torres Quevedo" CETEF que, como "centro sin paredes" (y casi sin funciones), engloba a diferentes institutos de esta área, entre ellos el Instituto de Automática Industrial IAI, cuyo origen enlaza con el extinto Instituto de Electricidad y Automática IEA, del que nuestro colega Sebastián Dormido nos ha dejado su testimonio vivo en esta sección.

A modo de conclusión, podemos terminar esta revisión destacando la ingente actividad creadora de la figura universal que representa Torres Quevedo de la que, en un entorno escasamente favorable, resultan genuinas contribuciones en cuanto a nuevos conceptos, con el reconocimiento internacional de sociedades científicas. Junto a éstas es preciso subrayar notorias realizaciones industriales con un espíritu de servicio a la sociedad y un papel de impulsor en la creación de entidades y empresas que, si bien no tuvieron una continuidad posterior, por causas posiblemente ajenas a él, conformaron una referencia de primer orden para los que vinieron después y para los muchos que hoy nos dedicamos al apasionante campo de la Automática.

**Ramón Ceres Ruiz**

**José Luis Pons Rovira**

Grupo de Bioingeniería; Instituto de Automática Industrial- CSIC