Lenguajes, mecanismos y geometría: El Ensayo de Lanz y Betancourt, de 1808, sobre la composición de máquinas

(Languages, mechanisms and geometry: the 1808 Essay of Lanz and Betancourt on the composition of machines)

Ortiz, Eduardo L.
Harvard University
Dpto. de Historia
Cambridge, MA 02138
Estados Unidos

BIBLID [1137-4411 (1999), 5; 263-274]

En este trabajo se trata de mostrar como las máquinas, entendidas como auxiliares mecánicos inventados por el hombre para simplificar sus tareas, llegaron a convertirse, después de un largo proceso iniciado a principios del siglo pasado, en objetos de consideración científica y como tales en generadores de nuevas ideas. Una etapa crucial en ese proceso fue cubierta por el matemático José María de Lanz, nacido en México, de una familia originaria de Euskadi.

Palabras Clave: Máquinas. Lenguajes. Cinemática.

Lan honetan zera azaldu nahi da: makinak, gizakiak bere lana arintzeko asmaturiko laguntzaile mekaniko gisa ulertuak, nola bihurtu ziren zientziaren ardurapeko objektu eta, ondorioz, ideia berrien sortzaile, joan den mendearen hasieran abiaturiko prozesu luzearen ondoren. Prozesu horretako garai jakin batean, erabakigarri gertatu zen José María de Lanz matematikari mexikarra, euskal jatorrizko familia batean sorturikoa.

Giltz-Hitzak: Makinak. Lengoaiak. Zinematika.

Dans ce travail nous essayons de montrer comment les machines, en tant qu'auxiliaires mécaniques inventés par l'homme pour simplifier ses tâches, devinrent, après un long processus initié au début du siècle, des objets de consi - dération scientifique et, en tant que tels, générateurs de nouvelles idées. Une étape cruciale dans ce processus fut cou - verte par le mathématicien José María de Lanz, né au Mexique d'une famille originaire du Pays Basque.

Mots Clés: Machines. Langage. Cinématique.

JOSÉ MARÍA DE LANZ

Lanz nació en Campeche, México, el 26 de Marzo de 1764. Recibió su entrenamiento en el Real Seminario de Bergara entre los años 1778 y 1781, de donde pasó a la armada como guardia marina. Luego de desempeñarse bajo las ordenes de Vicente Tofiño y Joseph de Mendoza Ríos en tareas de cartografía, se transladó a Francia como asistente de Mendoza Ríos, donde continuó sus estudios de matemáticas. En 1793 Lanz eligió permanecer en Francia y en consecuencia fue separado de la marina española. En París se desempeñó en la oficina del catastro francés bajo Prony, y como profesor en la Escuela de Geógrafos. De regreso en España, entre 1802 y 1805 tuvo una participación activa en la creación de la que es hoy Escuela de Ingenieros de Madrid.

Luego de una nueva estancia en Francia, en la que publicó un importante libro al que haremos referencia más adelante, regresó a España en 1809, en tiempos de José Bonaparte y a invitación del Marqués de Almenara. En ese período, junto con el naturalista Francisco Antonio Zea, ex-director del Jardín Botánico de Madrid, desempeñó funciones de gobierno relacionadas con su experiencia científica y técnica. Luego de una relativamente breve estancia como prefecto en Córcoba, cruzó a Francia a la caída del gobierno de José Bonaparte. Posiblemente de allí pasó a Londres luego de la derrota de Napoleón. Poco más tarde fue contratado por Bernardino Rivadavia para enseñar matemáticas en Buenos Aires. En Argentina permaneció aproximadamente un año, entre 1816-1817. Allí reorganizó según lineamientos modernos el instituto de matemáticas que, con diferentes denominaciones, es la actual facultad de ciencias de la universidad de Buenos Aires.

Entretanto, su amigo Zea se había unido a la campaña de Simón Bolivar y hacia 1822 desempañaba la vicepresidencia de la Gran Colombia. Zea lo invitó a transladarse a ese país; Lanz llegó a Caracas en 1822 y luego pasó a Bogotá. En ese período fue responsable por la construcción de un primer mapa de la Gran Colombia, publicado mas tarde por el Secretario del Interior de ese país, Don José Manuel Restrepo, en su detallado estudio histórico sobre la independencia de Colombia[1]. Lanz prestó otros importantes servicios a esa nueva república. El gobierno de la Gran Colombia le confió una misión diplomática confidencial en París, que tenía por objeto lograr el reconocimiento de la independencia colombiana. Datos sobre su vida posterior son escasos. Un resumen de su biografía, construida con nuevos materiales de archivo, puede consultarse en Ortiz y Bret, donde se dan referencias a otros estudios sobre Lanz[2].

LOS LENGUAJES DE LAS MÁQUINAS

La creciente complejidad de la maquinaria desarrollada desde fines del siglo diez y ocho, hizo pensar en la posibilidad de elaborar una teoría capaz de ser un auxiliar efectivo en el diseño de maquinaria nueva y aún más compleja. Asimismo interesaba poder describir su funcionamiento en términos más precisos y más específicos que lo que permite el lenguaje común.

En tiempo de la revolución francesa Gaspard Monge fue uno de los actores principales en el proceso que llevó a la creación de una escuela superior de ingeniería, proyecto con-

1. J.M. Restrepo, *Historia de la Revolución de la República de Colombia,* Paris, 10 volumes, 1827.

2. E. L. Ortiz y P. Bret, *José María de Lanz and the Paris-Cadiz axis,* in Naissance d'une communauté internationale d'ingénieurs, Musée de La Villette, Paris, 1997, pp. 56-77.

cretado en 1794 con la fundación de la École Polytechnique de París. Monge fue uno de los grandes matemáticos de su época y es principalmente conocido como el creador de la geometría descriptiva. Este es un capítulo nuevo de la geometría, que permite construir representaciones exactas de objetos sólidos, tridimensionales, volcándolos sobre dos planos. Esta geometría de Monge es, pues, un lenguaje para la descripción de lo sólido en términos de lo plano. Hacia fines del siglo diez y ocho la geometría descriptiva era principalmente estimada por sus importantes aplicaciones a la construcción de fortificaciones. Por mucho tiempo fue un saber prohibido, comunicado solamente a los alumnos de escuela politécnica, una institución militar.

Sin embargo esta doctrina geométrica de Monge tenía otras aplicaciones. Permitiía comunicar detalles precisos acerca de otros sólidos de gran interés tecnólogico: las piezas de máquinas. Por sus aplicaciones, la geometría descriptiva jugó un papel importante en la ingeniería civil, tanto por las posibilidades de desarrollo que le ofreció, como por su papel como agente en la transmisión y comunicación de sus ideas. Desde entonces, ella ha sido el lenguaje usado por los ingenieros e inventores para describir sus planos y proyectos de objetos espaciales: edificios, formas de cortar las piedras, piezas de máquinas, caracterización de zonas de iluminación y sombras, y muchas otras. Por esta razón ha sido un tópico básico en la formación matemática del ingeniero.

Don Andrés Antonio de Gorbea, fue un matemático de Euskadi, profesor en el Real Seminario de Bergara, más tarde exiliado en Chile. Como director del cuerpo de ingenieros de ese país, Gorbea tradujo para la escuela de ingeniería de Santiago, en 1845, el clásico texto de Leroy, *Lecciones de Geometría Descriptiva*[3]. Justificando la necesidad de disponer de un buen texto de geometría descriptiva en castellano, Gorbea explicó con claridad la importancia de esta disciplina:

> Nada tengo que decir a U.S.[4] sobre la utilidad de esta ciencia, cuyo estudio es indispensable en toda sociedad que desee ponerse al corriente de los innumerables descubrimientos que en las máquinas, artes y construcción de todas clases hacen las naciones mas adelantadas; por sus métodos, un pliego de papel es suficiente para comunicar a las mayores distancias el invento mas complicado, y ejecutarlo, siguiendo sus procedimientos, con tanta exactitud como si su mismo inventor la hubiese dirijido."

Comenzaba así a quedar cubierta la anatomía de la máquinas, pero no aún su fisiología. Monge propuso que se dictara, también en la École Polytechnique de París, un curso sistemático de dos meses sobre la teoría de las máquinas. Ese curso fue bosquejado por Jean Nicholas Pierre Hachette, en forma de un programa de estudio, in 1806.

En 1808 la escuela de París, re-bautizada con el nombre de Escuela Imperial Politécnica, publicó un libro escritor por José María de Lanz y Agustín de Betancourt, titulado *Essai sur la Composition des machines*, que fue finalmente adoptado como texto de esa importante ins-

3. *Tratado de Geometría Descriptiva, acompañado de los planos de acotación de la teoría de los engranajes cilíndricos y cónicos, con una colección de depurados compuesta de 69 laminas, escrita en francés por C. F. A. Leroy traducida de la segunda edición por D. Andrés Antonio de Gorbea, Director del Cuerpo de Ingenieros Civiles, Decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Chile, profesor de estas mismas ciencias en el Instituto nacional y Director del Museo de Historia Natural de esta República,* Tomo I, texto, Santiago, Imprenta del Progreso, 1845; las láminas ocupan el volumen II.

4. Se refiere al Ministro Manuel Montt.

titución. En la introducción a esa obra, sus autores nos hacen saber que trabajaban en ese momento en Francia en misión del gobierno español[5]. Lanz era entonces profesor en la escuela de ingenieros de Madrid, con licencia de estudios en París.

En esta obra se da un primer paso hacia la creación de un lenguaje de las máquinas. Lanz y Betancourt, posiblemente Lanz, que con justicia aparece como primer autor, invirtiendo el orden alfabético, identificó una serie de máquinas básicas, que definió como máquinas elementales. Es decir, hizo un primer intento de identificar las piezas atómicas, o irreductibles, con las que es posible la representación de toda otra máquina como una combinación mas o menos elaborada de aquellas. Lanz consideró movimientos rectilineos, circulares o curvilineos, y cada uno de ellos continuo en su dirección o recíproco (o alternativo), con lo que el número básico de máquinas es de veintiuno[6]. Esta clasificación ha permanecido en uso hasta nuestros días[7].

Ya Monge había esbozado la idea abstracta de máquina, definida como un objeto capaz de alterar direcciones de movimiento, sin hacer referencia a las fuerzas. Para él toda máquina compleja podía reducirse a las posibles combinaciones de cuatro agentes principales de movimiento: continuos y recíprocos, sean lineares o circulares. Estos daban lugar a diez clases de mecanismos. Esta es la clasificación, mas restringida, que utilizó Hachette en su programa. Pocos años después Hachette publicó él mismo un *Traité des machines*[8]. En su obra incluyó ideas interesantes, que tratan de penetrar mas profundamente en la naturaleza de los elementos atómicos.

CIENCIA Y LENGUAJE

Estos intentos trataban de llevar a la teoría de las máquinas un enfoque que ya Lineo había utilizado para la botánica y Lavoisier para la química: configurar un lenguaje capaz de describir esas ciencias en términos de un pequeño grupo de elementos básicos y sus combinaciones. Era, en cierto modo, un enfoque modelado en el que Euclides había dado a la geometría, con la axiomatización que ofreció en sus *Elementos*.

Identificado el diccionario, sólo faltaba decodificar una colección de reglas de combinación. Es decir, una gramática adecuada. Con ella sería posible construir un lenguaje suficientemente abstracto como para poder describir los diferentes elementos que aparecen en una ciencia particular.

La ciencia de fines del diez y ocho estaba dominada por una concepción de colección, clasificación y ordenamiento. Estas ideas, que seguían las enseñanzas de Condillac, profesaban que hacer el capítulo de una ciencia particular no era otra cosa que construir un lenguaje capaz de describirla. En su obra inconclusa *La langue des calculs*, de 1798, Condillac describió en detalle el lenguaje del álgebra, con la intención de que, en analogía con este lenguaje sin contradicción ni ambigüedades, fuera posible algún día construir un lenguaje de la ciencia.

---

5. José Antonio García-Diego, que fue un benemérito propulsor de la obra de Lanz y Betancourt, publicó con el título de *Ensayo sobre la composición de las máquinas,* Madrid, 1990, una traducción al castellano del *Essai,* que incluye además versiones facsímil de las primeras ediciones francesa e inglesa.

6. Lanz y Betancourt, *Essai*, p. 1.

7. F. Reuleaux, *The Kinematics of Machinery, outlines of a theory of machines,* London, 1876, p. 10.

8. Hachette, *Traité des machines,* Paris, 1811.

Es interesante notar que los lenguajes a los que hemos aludido mas atrás, el de la química, botánica o las máquinas, escapan ya del marco antiguo de las coordenadas cartesianas. Lo mismo ocurriría con la muy posterior notación vectorial, con los cuaterniones o con la notación tensorial. No hay aquí necesidad de sistemas de coordenadas en el sentido usual: las descripciones son intrínsecas y pueden cubrir aún objetos matemáticos muy difícilmente reductibles a una descripción en términos de sistemas de ejes principales. El intento es, mas bien, de identificar componentes irreductibles y luego descifrar sus reglas de interacción.

Con un lenguaje de este tipo, basado en las máquinas elementales identificadas por Lanz y Betancourt, sería teóricamente posible -se creía con cierto optimismo- describir y planear, sin necesariamente ejecutar, toda maquinaria posible. Incluso super-máquinas capaces de complejas operaciones o secuencias de operaciones. La realidad no era tan simple.

En 1819, cuando Charles Dupin escribió un ensayo histórico sobre la obra de su maestro Monge[9], dedicó un capítulo a sus contribuciones a la geometría aplicada a la mecánica. Como hemos dicho ya, Monge tenía una concepción teórica, que pretendía describir un movimiento cualquiera en términos de movimientos elementales. Sus ideas en esta dirección fueron recogidas por Ferry, profesor en la escuela de ingeniería de Mézières y luego en la de artillería de Metz. Lanz y Betancourt siguieron un camino algo diferente, analizando mas específicamente las máquinas y no el movimiento en general.

LAS REEDICIONES DEL ENSAYO Y SU IMPACTO EN ESPAÑA

En su elogio de Monge, Dupin alude a la obra de Lanz y a la aparición inminente de segunda edición. Efectivamente Lanz preparó una segunda edición de su libro a su regreso de Buenos Aires, que fue publicada en 1819. En esta edición no se incluye ya el programa de Hachette. En esos años Lanz fue considerado dos veces para uno de los mas altos honores a los que podía aspirar entonces un científico: su elección como miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de Francia. Si bien no resultó elegido, los nombres de sus rivales han quedado firmemente grabados en la historia de las ciencias.

El 10 de Noviembre de 1819, el científico catalán Don Francisco Sanponts[10] leyó ante la Real Academia de esa ciudad una memoria titulada *Nuevo méthodo de clasificación en mecánica*[11]. En su trabajo Sanpons hizo un estudio crítico amplio, en el que comparó las ideas de diversos autores. Su trabajo puede considerarse como un eco del medio científico de Barcelona a la reedición del libro de Lanz.

La lange des calculs de Condillac y aún más la obra de los ideólogos de la nueva generación, que fueron sus sucesores, se proponía echar las bases de una ciencia de las ideas. Estas concepciones tuvieron una repercusión importante en España. *La langue des calculs* fue traducida al castellano por una dama española, Doña Vicenta Corvalán y Castro, Marquesa de Espeja, en 1805. Otras obras de Condillac, de interés estrictamente filosófico,

9. Ch. Dupin, *Essai Historique sur les services et les travaux scientifiques de Gaspard Monge,* Paris, 1819.

10. Sobre Sanponts ver Jaume Agustí y Cullell, *Ciència i Técnica a Catalunya en el segle XVIII* o *la introdcció de la màquina de vapor*, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 1983.

11. Existe copia en el Archivo de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (Física, Caja 20); Agustí y Cullell dá un título ligeramente diferente de este trabajo, posiblemente proveniente de citas periodísticas contemporáneas de esa comunicación.

fueron traducidas al castellano antes del cierre del siglo diez y ocho, tanto en España como en la América Hispana. El tratado de ideología de Destutt de Tracy fue traducido en la segunda mitad de la década de 1810; también hubieron traducciones libres, como el manual de Juan Justo García[12].

El *Essai* de Lanz y Betancourt fue reeditado una vez más en francés en 1840. Esta fue una mejor edición, pero sin cambios substanciales. En 1820 apareció una traducción al inglés, publicada en Londres que por diversas razones tiene un interés muy especial; más tarde, en 1829, apareció otra en alemán[13].

EL EDITOR LONDINENSE ACKERMANN

Rudolph Ackermann tenía un interés serio en asuntos mecánicos. Hacia fines de la década de 1810, luego de una visita a su patria, Alemania, se interesó por la idea nueva de utilizar ejes móviles en los carruajes. Este sistema, que es que hoy utilizan los carros y automóviles, había sido inventado en aquel país por George Lankensperger, cochero del Rey de Bavaria. Ackermann se convirtió en su promotor en Inglaterra. Con la anuencia del inventor, sacó una patente en Inglaterra en 1818 y publicó un folleto descriptivo del sistema[14].

Ackermann fue también el introductor de la litografía en Inglaterra, a la que llevó a extremos de perfección técnica. Su taller de impresión y de venta de materiales para las artes gráficas llegó a ser uno de los más importantes en la Europa de principios del siglo diez y nueve.

Ackermann es más conocido entre nosotros como el editor de una serie de catecismos[15] que cubren una variedad de tópicos: geografía, historia, agricultura, idiomas, matemáticas, astronomía, química, moral, mitología, y muchos otros. Estos eran libros de texto breves; estructurados en la forma catequística, es decir, en forma de preguntas y respuestas. El género de los catecismos no religiosos desde luego no fue inventado por Ackermann. Es mas, a principios del siglo diez y nueve había varias series extensas de catecismos publicados con anterioridad por diferentes editoriales en varios países de Europa, y cubrían una gran variedad de temas. La colección que editó William Pinncok en Inglaterra era ya famosa cuando Ackermann entró en esta área editorial.

Con el triunfo de las guerras de la independencia en la América Hispana, se abrió para Ackermann un mercado del mayor interés, ávido de libros y textos, que fue percibido como un nuevo El Dorado. Así fue que Ackermann decidió lanzarse a imprimir catecismos en castellano para las nuevas repúblicas, y quizás también para España, si la situación política volviera a cambiar. Ni los suyos ni los de los otros editores eran, en su gran mayoría, trabajos originales, pero fueron muy útiles.

La redacción de los catecismos en castellano estuvo a cargo de un grupo de intelectuales españoles que habían emigrado a Londres al término del trienio constitucional, en

---

12. J. J. García, *Elementos de Ideología,* Madrid, 1821.

13. *Versuch über die Zusamensetzung der Maschinen,* Berlin, 1829. Erróneamente, el nombre de Lanz fue dado como Philippe-Louis Lanz.

14. Observations on Ackermann's Patent Movable Axles for four wheeled carriages, containing engraved elevations of carriages with plans and sections, conveying Accurate Ideas of this Superior Improvement, London, 1819, 60 pp. Printed for R. Ackermann.

15. Ver E. L. Ortiz Ackermann's, *Catechisms and science primers,* ICRR, Londres, 1998.

1823. Entre ellos se contaban José Joaquín de Mora, Joaquín Lorenzo de Villanueva, y otras figuras menos conocidas, como José de Urcullú y José Nuñez de Arenas. José Blanco White, el famoso y antiguo auto-emigrado en Londres, se ha adjudicado cierta paternidad en esta idea. Sin embargo, hay otras posibilidades. En esos años Lanz era uno de los muy pocos intelectuales educados en España con una experiencia real de la América independiente. Él conocía en una forma muy directa las necesidades de las nuevas repúblicas y su poder de absorción de obras de texto. El contacto de Lanz con Ackermann lo testifica el hecho que la traducción de su Ensayo sobre composición de máquinas fue publicado en Londres precisamente por la casa Ackermann, hacia 1820. La serie de catecismos comenzó a publicarse a partir de 1823.

Esta conexión de Lanz con Ackermann tiene un interés muy especial, ya que contribuye a dar cierta unidad a un grupo de intelectuales de origen español que actuaron en Europa y América entre 1817 y 1830[16]. La obra clásica de Vicente Lloréns, *Liberales y Románticos*[17], que es una fuente preciosa de información sobre la emigración española en Inglaterra, no hace, sin embargo, referencia a Lanz.

EL PUNTO DE VISTA CINEMÁTICO

El análisis geométrico del movimiento separado de las fuerzas, sería un camino igualmente fecundo, con él el estudio de las máquinas alcanzaría un nuevo nivel de abstracción. En la década de 1830 se consolidó una rama nueva de la geometría y de la mecánica, llamada geometría cinemática o, simplemente, cinemática. Los *Essai sur la philosophie des sciences*, de André Marie Ampère, publicados en París en 1834, fueron el punto de partida de esta disciplina. Para Ampère, la cinemática es la geometría del movimiento, en la que las causas, o fuerzas, que lo determinan quedan fuera de su interés. Máquina, para ese autor, es un instrumento con cuyo auxilio se modifica la dirección y velocidad de un movimiento dado, no ya de una fuerza. Ampère, preserva aún consideraciones sobre el tiempo.

El gran matemático ruso P. L. Chebyshev, que era un cultor y gran entusiasta de la cinemática, ha dicho que esta disciplina es mas fecunda que la geometría, ya que agrega al espacio una cuarta dimensión[18].

El primer intento de Lanz y Betancourt, junto con estudios previos de Lazare Carnot, fue retomado por Robert Willis, profesor en la Universidad de Cambridge, en su obra *Principles of mechanism*[19], de 1841. Willis se proponía reducir la construcción de máquinas "al dominio del matemático"[20]. Si para Ampère una máquina era un instrumento capaz de imponer cambios de dirección y velocidad en un movimiento dado, Willis se mostraba partidario de una definición intrínseca, sin hacer referencia al movimiento que ha de ser transformado. Por eso,

16. E. L. Ortiz, Una red de matemáticos franceses en América Latina a comienzos de la era post-Colonial, *Actas do III Seminario Nacional de Historia Matemática,* Vitoria, en prensa.

17. V. Lloréns, *Liberales y Románticos, una emigración española en Inglaterra (1823-1834),* México, 1954; hay varias ediciones posteriores impresas en España.

18. J. J. Sylvester, *On recent discoveries in mechanical conversion of motion,* Proceedings of the Royal Institution of Great Britain, VII (1873-1874), pp. 179-198, reproducido en *Collected Works*, II, Cambridge, 1912, III, p. 22.

19. R. Willis, *Principles of mechanism, designed for the use of stuents in the universities and for engineering students generally,* Londres, 1841.

20. Ibid, p. iii.

abogaba por una concepción ligeramente diferente, en la que la máquina no fuera un instrumento que determina cambios en dirección y velocidad, sino sólo capaz de imponer nuevas relaciones específicas entre la velocidad y dirección de los movimientos de entrada y salida. Aunque declaradamente matemático, su enfoque era, además, más consciente de las necesidades prácticas.

Willis critica el sistema de Lanz y se apoya en el de Borgnis[21], diez años posterior al de Lanz, en el que ese autor trata de penetrar más profundamente en el aspecto funcional de las máquinas, identificando en ellas seis partes principales, que reciben esfuerzo, lo transmiten, lo modifican, lo soportan, lo regulan o son una pieza de operación. En esta clasificación Borgnis se acerca a los puntos de vista expresados por Hachette en su tratado.

Willis fue, entre otros, profesor de G. P. Tait que, años más tarde, junto con William Thomson (luego Lord Kelvin), sería autor del importante tratado de Filosofía Natural[22], en el que la influencia de las ideas cinemáticas de Willis es clara[23]. Sin embargo, según Reuleaux, la obra de Wallis no consiguió desplazar a la de Lanz en Inglaterra, hasta que una segunda edición muy aumentada apareció en Londres en 1870[24].

NUEVOS INTENTOS DE CREACIÓN DE UNA TEORÍA DE LAS MÁQUINAS

Charles Babbage, el matemático e inventor inglés que construyó algunas de los mas elaborados calculadores mecánicos e imaginó otros aún más perfectos que nunca logró llevar a término, fue el autor de un nuevo intento. En su *Mechanical Notation*, de 1857, Babbage trató de desarrollar un lenguaje capaz de describir, no directamente las máquinas, sino sus complicados dibujos de máquinas.

Más definitivo fue el intento del profesor alemán Franz Reuleaux, desarrollado en su *Theoretische Kinematik*, publicada en Berlin en 1874-1875. A diferencia del sistema de Lanz, y aún del de Hachette, Reuleaux intenta penetrar más profundamente en la identificación mecánica de los “átomos” de la maquinaria. Más bien que considerar a una máquina en su totalidad, con todas sus repeticiones de mecanismos similares, Reuleaux intentó una clasificación de los mecanismos reduciéndolos a sistemas equivalentes de barras articuladas. El lenguaje que Reuleaux desarrolló para describir mecanismos presenta interesantes similaridades con el de la química. Su obra fue traducida al inglés en 1876[25] por Alexander B. W. Kennedy, profesor de la Universidad de Londres, y tuvo una gran influencia en la manera de pensar sobre las máquinas en ese país.

Los años de 1870 fueron una década luminosa en la historia de la teoría de las máquinas, particularmente en Inglaterra. En ella matemáticos del calibre de Sylvester y Cayley y algunos de sus discípulos[26] hicieron estudios matemáticos de gran profundidad sobre los

21. J.-A. Borgnis, *Traité Complet de Mécanique,* Paris, 1818.

22. W. Thomson and G. P. Tait, *Treatise on natural Philosophy,* Oxford, 1867.

23. C. Smith y M. Norton Wise, *Energy and Empire,* Cambridge, 1989, pp. 367-368.

24. F. Reuleaux, *Theoretishee Kinematik,* Berlin, 1874-1875, p. 13.

25. F. Reuleaux, *The Kinematics of Machinery, outlines of a theory of machines,* London, 1876. p. 572.

26. Por ejemplo el abogado A. B. Kempe, discípulo de Sylvester y autor de un curioso libro, *How to dreaw a stright line: a lecture on linkages,* publicado en Londres en 1877.

sistemas de barras articuladas. Se demostraron teoremas que determinan, con gran generalidad, los tipos de movimientos que diferentes sistemas articulados son potencialmente capaces de producir.

UNA BREVE VISITAA LA TEORÍA DE LAS MÁQUINAS EN ESPAÑA

En las dos últimas decenas del siglo pasado la teoría de los mecanismos, que es como la teoría de las máquinas pasó a ser corrientemente llamada, era ya una materia clave en la carrera del ingeniero. Otro matemático con una larga actuación en el País Vasco, Don Leonardo Torres y Quevedo, la aprendió en la Escuela de Ingenieros de Madrid. Hemos señalado ya que esta escuela había sido organizada en los primeros años del siglo pasado por Betancourt y Lanz. Este último, más experimentado en la enseñanza que su colega, jugó un papel de importancia en el diseño de algunos de sus cursos. Luego de un período de clausura, la escuela fue reabierta y reorganizada por un discípulo de Betancourt, Juan Subercase Krets[27].

Seria ocioso hacer referencia a las importantes aportaciones de Torres Quevedo en el campo de las máquinas mecánicas y electromecánicas de calcular y esto nos alejaría de nuestro tema[28]. La importancia de sus contribuciones ha sido destacada por Maurice d'Ocagne, profesor en la École Polytechnique de París, que no vaciló en llamarlo "un hombre de imaginación prodigiosa" en la frase final de su libro sobre la evolución de las máquinas de calcular[29].

Sin embargo, interesa destacar aquí un aspecto mas particular de su obra que se relaciona muy directamente con la de Lanz. Estos son sus trabajos sobre la creación de un lenguaje (una notación, según la llama Torres Quevedo) para la descripción del funcionamiento de máquinas, que él aplicó a la descripción de complejas máquinas de cálculo.

La teoría de las máquinas fue el tema del discurso de incorporación de Torres Quevedo a la Academia de Ciencias de Madrid en 1901. Torres Quevedo siguió, criticamente, el punto de vista de Willis, pero dejando de lado las velocidades y refiriéndose solamente a los espacios recorridos, más accesibles a la medida. De este modo separó también el tiempo de las consideraciones de la cinemática. Torres Quevedo caracterizó el concepto de máquina en la forma siguiente[30]:

> Vemos ahora ya a la máquina imponiendo, de una manera mecánica, cierta dependencia entre los valores simultáneos de dos ángulos variables, lo mismo que una ecuación expresa, en lenguaje algébrico, cierta dependencia entre los valores simultáneos de dos variables abstractas

27. La escuela funcionó de 1803 a 1814, y luego de 1821 a 1823. Ver J. Vernet Ginés, *Historia de la ciencia española,* Madrid, 1975, pp. 275-276.

28. Sobre el papel de la geometría en las máquinas de Torres Quevedo ver: E. L. Ortiz, *Leonardo Torres Quevedo y Julio Rey Pastor: el cálculo geométrico y el cálculo mecánico en la escuela matemática española,* Conferencia de apertura del II Simposio "Leonardo Torres Quevedo", Actas del II Simposio "Leonardo Torres Quevedo", Cantabria, 1991, pp. 55-81.

29. M. d'Ocagne, *Vue d'ensemble sur les Machines a Calculer,* Paris, 1922.

30. L. Torres Quevedo, *Máquinas algébricas,* Madrid, 1901.

Interesa destacar la modernidad del enfoque de Torres Quevedo, particularmente si se lo contrasta con las definiciones de función corrientemente dadas en los textos españoles de matemáticas de la época.

Una vez sentado este concepto abstracto de máquina, para calcular valores funcionales bastará aplicar esas mismas máquinas a problemas matemáticos definidos. Francisco de Paula Arrillaga, encargado por la Academia para contestar el discurso de Torres Quevedo, observó con agudeza que "...él (TQ) inversamente aplica a la Matemática la Cinemática. Claro que lo hace a beneficio de ser ésta casi pura matemática"[31].

Torres Quevedo volvió sobre el tema de la teoría algebraica de máquinas en 1906, en un trabajo sobre notaciones y símbolos para la descripción de las máquinas[32], publicado también por la Academia. En este trabajo reconsidera el problema del lenguaje y hace referencia a la dificultad de utilizar la geometría para la descripción de los órganos y conexiones internas de una máquina. En este artículo hace referencia a los trabajos anteriores de Babbage y Reuleaux. Torres Quevedo introdujo en su trabajo un grupo básico de símbolos y de fórmulas de composición para esos símbolos. Una máquina de multiplicar le sirvió como ejemplo para aplicar sus ideas. Torres Quevedo nos informa en ese trabajo de su metodología:

> "...(he) formulado *algunas reglas* y de dibujado *algunos símbolos* de los más usuales; pero sería necesario un trabajo más minucioso y detenido para completar la *gramática* y el *diccionario* de esta nueva lengua."[33]

Condillac y Lanz hubieran estado satisfechos de este lejano discípulo, en cuyo estilo se leen aún los preceptos de la filosofía de los Ideólogos.

LOS MECANISMOS COMO MODELOS IDEALES DE FUNCIONES CONTINUAS SIN DERIVADA

Hacia fines del siglo Recaredo de Uhagón dictaba el curso de teoría de mecanismos en la Escuela de Ingenieros de Madrid. Sus apuntes autografiados de *Mecanismos* de 1892-1893 tuvieron una interesante repercusión. Uno de sus alumnos fue el ingeniero Pedro María González de Quijano, un matemático español importante que merece mayor estudio.

En la reunión de 1915 de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, en Valladolid, González de Quijano leyó un trabajo sobre las funciones continuas sin derivada[34] en el que dio un ejemplo original. La suya es una definición algorítmica, no geométrica como ya se había dado antes, de una función continua sin derivada en todos los puntos de un intervalo.

El ejemplo de González de Quijano se apoya en las llamadas series de Brocot. Estas series fueron desarrolladas por Brocot para facilitar el cálculo aproximado del número de dientes de una rueda dentada capaz de realizar una determinada relación de velocidades al vinculársela con otro engranaje dado. En rigor, este es un problema que se puede considerar como perteneciente a la teoría de números. Rey Pastor hizo mención de este original

31. Ibid, p. 48.

32. L.Torres Quevedo, *Sobre un sistema de notaciones y símbolos destinados a facilitar la descripción de las máquinas,* Madrid, 1906.

33. Ibid., p. 14.

34. E.L. Ortíz, 1991, p. 59 n. S.

ejemplo en sus *Lecciones de Análisis Matemático*[35], dictadas en la Universidad de Madrid en ese mismo año.

EL FINAL DE UNA TRADICIÓN

Una serie de circunstancias diferentes contribuyeron a que, al giro del siglo, la teoría de las máquinas dejara de ser un tema en el filo del avance científico. No significa ésto que las invenciones mecánicas hubieran perdido su interés, por el contrario, quizás comenzaron entonces a alcanzar sus niveles más sorprendentes. Desde un punto de vista más práctico, la difusión masiva de las máquinas de coser y escribir de alta confiabilidad; el desarrollo de las rotativas de impresión de diarios, una verdadera maravilla de la ciencia de los mecanismos; el desarrollo de los motores de combustión interna, del automóvil y de los aviones, han sido factores importantes en el retorno de atención hacia la mecánica. Pero no cabe duda que el auge de la mecánica, como disciplina modelo para la explicación de toda la naturaleza estaba llegando ya a su agotamiento.

Hacia el fin del siglo otras ideas, particularmente las que derivaban de las concepciones de la electrodinámica de Maxwell, comenzaron a tomar la escena principal. El surgimiento de las máquinas eléctricas contribuyó también a mover en otra dirección el foco del interés tanto teórico como práctico. En la percepción pública de la ciencia había ya otros inventos, de naturaleza no mecánica[36], más aptos para inflamar la imaginación del gran público.

Sin embargo, si bien la electricidad, y en décadas más recientes la electrónica, han desplazado sistemáticamente a los dispositivos mecánicos del foco central de interés público, no debe olvidarse que en última instancia son, por lo regular, aparatos mecánicos, acústicos o térmicos los que entregan la última consecuencia de las labores de los procesos eléctricos o electrónicos.

En esa revaluación incidieron también factores a nivel académico. A principios de este siglo hubo una reacción bastante firme por parte de los ingenieros a la creciente abstracción de los temas de matemáticas que se enseñaban a los ingenieros. Ese movimiento, encabezado por John Perry, profesor del Imperial College de Londres[37], se propuso erradicar de esos planes de estudio todo tópico que no fuera directa y claramente importante a las aplicaciones de la ingeniería. La teoría de máquinas fue señalada como una de esas abstracciones indeseadas.

Por otra parte, nuevas invenciones había incrementado considerablemente el número de máquinas que podían considerarse como elementales. Haciendo necesaria una revisión profunda del tema de la teoría de las máquinas. Ésta comenzó a esbozarse hacia finales de la decada de 1920. Sin embargo, la teoría de las máquinas no ha vuelto a alcanzar los niveles de fascinación que tuvo entre la época de Lanz y el fin del siglo.

A pesar de ello, puede decirse que la obra de los teóricos de las máquinas, y muy particularmente de Reuleaux, que incursionó con vehemencia tanto en temas de diseño indus-

35. J. Rey Pastor, 1919, ver E. L. Ortiz, editor, *The Works of Julio Rey Pastor,* Londres, 1988, vol. I. I, MF 1916: 12.

36. Por ejemplo, las nuevas formas de comunicación que ofrecía el telégrafo o algo mas tarde la radio.

37. Sobre el impacto de esta polémica en España ver G. Lusa Monforte, La cuestión de la formación matemática de los ingenieros industriales (Barcelona, 1851-1910), en *Contra los titanes de la rutina,* S. Garma, D. Flament y V. Navarro, editores, Madrid, 1994, pp. 335-365.

trial como en el campo de las relaciones entre ciencia y tecnología, dejaron un saldo extremadamente positivo de ese largo siglo de preocupación teórica sobre la maquinaria.

El nuevo diseño industrial, y la necesidad de una alta confiabilidad en el comportamiento de las piezas mecánicas, movió el péndulo nuevamente en dirección de la consideración de las fuerzas y tensiones a que esas piezas están sometidas o pueden resistir. Por otra parte, el uso sistemático de la re-alimentación o feed-back (del que el regulador de Watt fue un pionero en la mecánica) en los circuitos electrónicos ha permitido manejar niveles de interacción inimaginables en el campo de los mecanismos.

CONCLUSIÓN

Hemos llegado así al fin de este trabajo, en el que hemos tratado de seguir el hilo de la obra científica más importante de José María de Lanz, brillante producto del Real Seminario de Bergara, que por sus investigaciones adquirió una excepcional resonancia internacional.

Hemos visto como Lanz incorporó a España una línea nueva de investigación elaborada por él y por un grupo que incluyó a algunos de los matemáticos más destacados del siglo diez y nueve. Hemos visto también que esa línea no desapareció con él en España, sino que continuó reverberando hasta tiempos recientes. Este, y otros ejemplos similares que hemos encontrado en otros capítulos de la historia de las ciencias exactas, sugieren una característica peculiar del desarrollo de esas ciencias en España. Pareciera que la tradición científica, lo que antes ha sido considerado, aunque lo sea ahora desde otro punto de vista, tiene un peso considerable.

Hemos seguido el tránsito de la idea de máquina, desde Lanz, en su camino ascendente hacia un nuevo status en el que, independientemente de sus importantes aplicaciones, aparece enfocada desde el ángulo más abstracto de la ciencia. La máquina pasa a ser un objeto de investigación y a estimular una nueva corriente de ideas que enriquece la ciencia con nuevas imágenes y nuevos conceptos. La concepción formal, o simbólica, de la máquina como un sistema generado por un cierto número de elementos básicos, capaces de interactuar siguiendo reglas específicas de operación, se transforma en una nueva fuente de generalizaciones. Todo ello trae por consecuencia una revisión de lo que hemos considerado como elemental o atómico en el dominio de la maquinaria, y nos llevan a una comprensión más profunda y más abstracta del concepto de máquina.

En tiempos más recientes diversos capítulos del álgebra abstracta, en particular las álgebras de Boole y de Clifford, han sido sistemáticamente utilizadas como herramientas de diseño, no solamente de máquinas individuales, sino de procesos industriales, y también de redes de esos procesos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a mi colega, el Prof. José Llombart Palet, de la Universidad del País Vasco, por invitarme a considerar este tema en la reunión del pasado mes de diciembre de Eusko Ikaskuntza. Asimismo, deseo agradecer a la Sra. Arantzazu Oregi Goñi, directora del Archivo Municipal de Bergara, por la inestimable ayuda que me prestó mientras visitaba ese archivo.

Finalmente, deseo también agradecer a The Royal Society, Londres, y The Guggenheim Foundation, Nueva York, por su apoyo mientras realizaba este trabajo.