

40

HISTORIA Y SOCIEDAD

Universidad Nacional de Colombia / Medellín, enero - junio de 2021
E-ISSN: 2357-4720 / DOI 10.15446/hys

Facultad de Ciencias Humanas y Económicas
Sede Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Babbage, Willis, Reuleaux y el surgimiento del enfoque analítico modular de las máquinas en el siglo XIX*

Darío Sandrone**

DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/hys.n40.86929>

Resumen | El estudio de las máquinas es un campo que puede rastrearse hasta el Renacimiento. Sin embargo, en la Modernidad adquiere cierto perfil teórico. Se produce una transformación desde los tratados sobre la instalación y uso que conciben a las máquinas como una síntesis entre las estructuras materiales y el trabajo humano, hacia estudios analíticos que las consideran como entidades modulares, como ensamblaje de piezas y mecanismos susceptibles de ser analizados matemáticamente. A su vez, los primeros se caracterizan por un enfoque antropométrico que no ven mayores inconvenientes en usar el lenguaje coloquial e ilustraciones para transmitir el conocimiento acerca de las máquinas; los segundos, en cambio, plantean problemas cognitivos y proponen lenguajes simbólicos específicos para representar el diseño y funcionamiento de las máquinas. Comenzaremos por el siglo XVIII, al ilustrar algunos conceptos provenientes de *L'Encyclopédie* y de Adam Smith. Posteriormente, nos enfocaremos en los matemáticos del siglo XIX que promovieron las transformaciones mencionadas. En primer lugar, Charles Babbage y su notación mecánica; luego Robert Willis y Franz Reuleaux y sus “mecanismos puros”; y de nuevo Babbage para analizar la complementariedad de la economía política a sus estudios matemáticos sobre las máquinas. Finalmente, mostraremos algunos debates actuales sobre el vínculo entre máquinas, realidad, matemática y lenguaje que, explícita o implícitamente, retoman aquellos problemas y pueden encontrar en el pensamiento de los matemáticos del siglo XIX un antecedente.

Palabras clave | máquinas; conocimiento; matemática; lenguaje; Babbage; Reuleaux.

* **Recibido:** 30 de abril de 2020 / **Aprobado:** 11 de septiembre de 2020 / **Modificado:** 29 de septiembre de 2020. Artículo de investigación derivado de la tesis doctoral “Aportes para una nueva concepción del diseño tecnológico: un estudio filosófico de su naturaleza y su rol en el cambio tecnológico”, la cual fue financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (Buenos Aires, Argentina).

** Doctor en Filosofía por la Universidad Nacional de Córdoba (Córdoba, Argentina) y profesor de la misma institución  <https://orcid.org/0000-0003-0201-6391>  dariosandrone@unc.edu.ar



Cómo citar / How to Cite Item: Sandrone, Darío. “Babbage, Willis, Reuleaux y el surgimiento del enfoque analítico modular de las máquinas en el siglo XIX”. *Historia y Sociedad*, no. 40 (2021): 16-42. <http://dx.doi.org/10.15446/hys.n40.86929>



Derechos de autor: Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Babbage, Willis, Reuleaux and the Advent of the Modular Analytical Approach for Machines in the 19th Century

Abstract | The study of machines is a field whose origin can be traced back to the Renaissance. However, it is in Modernity when it attains a certain theoretical outline. There was a transformation from the treatises on installation and use - which conceive of machines as a synthesis between material structures and human work - towards analytical studies that consider them as modular entities, as the assembly of parts and mechanisms that can be analyzed mathematically. In turn, the former are characterized by an anthropometric approach that sees no major inconvenience in using colloquial language and illustrations to transmit knowledge about machines; the latter, on the other hand, pose cognitive problems and propose specific symbolic languages for representing the design and operation of machines. We will start in the 18th century, illustrating some concepts from L'Encyclopédie and Adam Smith. Later, we will focus on the 19th century mathematicians who promoted the aforementioned transformations. First, Charles Babbage and his mechanical notation. Later Robert Willis and Franz Reuleaux and their "pure mechanisms"; We will then return to Babbage to discuss the complementarity of political economy to his mathematical studies of machines. Finally, we will show some current debates on the link between machines, reality, mathematics and language that, explicitly or implicitly, take up those problems and can find an antecedent in the thought of 19th century mathematicians.

Keywords | machines; knowledge; mathematics; language; Babbage; Reuleaux.

Babbage, Willis, Reuleaux e o surgimento da abordagem analítica modular das máquinas no século 19

Resumo | O estudo das máquinas é um campo que pode ser rastreado até o Renascimento. No entanto, na modernidade adquire certo perfil teórico. Ocorre uma transformação a partir dos tratados de instalação e uso, que concebem as máquinas como síntese entre estruturas materiais e trabalho humano, em direção aos estudos analíticos que as consideram entidades modulares, como a montagem de peças e mecanismos que podem ser analisados matematicamente. Por sua vez, os primeiros são caracterizados por uma abordagem antropométrica que não vê grandes inconvenientes no uso de linguagem coloquial e ilustrações para transmitir conhecimento sobre máquinas; os últimos, por outro lado, apresentam problemas cognitivos e propõem linguagens simbólicas específicas para representar o design e a operação de máquinas. Começaremos no século 18, ilustrando alguns conceitos de L'Encyclopédie e Adam Smith; mais tarde, focalizaremos nos matemáticos do século 19 que promoveram as transformações mencionadas. Primeiro, Charles Babbage e sua notação mecânica. Mais tarde, Robert Willis e Franz Reuleaux e seus "mecanismos

puros”; voltaremos depois a Babbage para discutir a complementaridade da economia política com seus estudos matemáticos de máquinas. Finalmente, mostraremos alguns debates atuais sobre a ligação entre máquinas, realidade, matemática e linguagem que, explícita ou implícitamente, abordam esses problemas e podem encontrar um antecedente no pensamento dos matemáticos do século 19.

Palavras-chave | máquinas; conhecimento; matemática; linguagem; Babbage; Reuleaux.

Adam Smith y L’Encyclopédie

L’Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers publicada hace más de 250 años, no fue el primer libro que transmitió conocimientos técnicos ni que versó sobre máquinas¹. Sin embargo, constituye el proyecto moderno más ambicioso al respecto, no solo por su perfil educativo², sino también por la jerarquización de los saberes técnicos frente a otros objetos culturales y campos del saber: “Una obra que iba a contener todas las herramientas del trabajador, pero muy poca información acerca de reyes, casas gobernantes, grandes batallas o santos, era también revolucionaria”³. A pesar de ello, no fueron ingenieros o artesanos —remendones de zapatos, peltreros, sastres, talabarteros, cerrajeros, orfebres, vidrieros, latoneros, fabricantes de pelucas, de alfileres o guantes— quienes escribieron los artículos referidos a los oficios. Como lo indica la portada del primer tomo, se trató de un proyecto hecho “per una société de gens de lettres”⁴, quienes se propusieron producir una obra que pudiera “reducirse a tres capítulos: las ciencias, las artes liberales y las artes mecánicas”⁵.

Esto llamó la atención de Adam Smith, quien en 1755 publicó un artículo en la *Edinburgh Review*, cuyo contenido consistía en una revisión los primeros cinco volúmenes de *L’Encyclopédie*⁶. A pesar de que algunos comentaristas interpretan que Smith no fue muy entusiasta en su reseña⁷, en ciertos pasajes se le nota muy impresionado por la exposición detallada de las ciencias y las artes, a punto tal que llega a calificar a la obra como “la más completa de su tipo que se haya

1. Eugene Ferguson, “The Mind’s Eye”, *Leonardo* 11, no. 2 (1978): 131-139.

2. Darío Sandrone, “Elementos para una fundamentación y metodología de la educación tecnológica argentina en la Enciclopedia de Diderot”, *Revista Argentina de la Enseñanza de la Ingeniería* 5, no. 10 (2016): 63-70.

3. Philipp Blom, *Encyclopédie. El tiempo de la razón en tiempos irracionales* (Barcelona: Anagrama, 2007), 79.

4. “Por una sociedad de hombres de letras”.

5. Jean le Rond D’Alembert, *Discurso Preliminar de la “Enciclopedia”* (Buenos Aires: Lautaro, 1947), 140.

6. Frank A. Kafker y Jeff Loveland, “L’Admiration d’Adam Smith pour l’Encyclopédie”, *Recherches sur Diderot et sur l’Encyclopédie*, no. 48 (2013): 191-202, <https://doi.org/10.4000/rde.5045>

7. Robert Mankin, “Pins and Needles: Adam Smith and the Sources of the Encyclopédie”, en *The Adam Smith Review*, vol. 4, ed. Vivienne Brown (Londres: Routledge, 2008), 185.

publicado o intentado publicar en cualquier idioma”⁸. Por otra parte, no queda claro si Smith dimensionaba claramente la cantidad y variedad de colaboradores que implicaba el proyecto de *L’Encyclopédie*, cuya realización atribuía a “más de veinte Caballeros (...) todos ellos muy eminentes en sus diversas profesiones, y muchos de ellos ya conocidos por naciones extranjeras por los valiosos trabajos que han publicado”⁹, entre quienes menciona a Jean le Rond D’Alembert, Denis Diderot, Louis Jean Marie Daubenton y Jean-Jacques Rousseau. Por otra parte, aunque alude al tratamiento de las artes mecánicas como un punto alto de *L’Encyclopédie*, lo que realmente le impresionó fueron los conocimientos desplegados acerca de la ciencia inglesa: Francis Bacon, Robert Boyle e Isaac Newton. De hecho, Smith se refiere al “árbol del conocimiento” y las consideraciones realizadas en el *Discurso Preliminar* en los siguientes términos: “El Sr. Alembert da cuenta de la conexión de las diferentes artes y ciencias, su genealogía y filiación como él lo llama; que, salvo algunas modificaciones y correcciones, es casi la misma que la de mi Lord Bacon”¹⁰.

Mucho después, en 1776, cuando *L’Encyclopédie* llevaba varios años concluida, Smith publicó su *Investigación sobre la naturaleza y causa de la riqueza de las naciones*¹¹. El punto que nos interesa aquí es la hipótesis sugerida por el editor más famoso de Smith, el historiador y economista Edwin Cannan¹², sobre el hecho de que Smith incluyó en esta obra algunas ideas que Diderot había expuesto en la entrada “Arte” de *L’Encyclopédie*, acerca las ventajas de la división del trabajo. Según Cannan, dos son las ventajas señaladas por Diderot y asumidas por Smith. En primer lugar, que los trabajadores realizan mejor las operaciones a fuerza de repetirlas y practicarlas. En segundo lugar, que el más talentoso de ellos inventaría modos “o para ahorrar materia, o para alargar el tiempo, o para valorizar la industria, ya sea por una nueva máquina o por una operación más conveniente”¹³. Además, siempre según Cannan, el artículo “Arte” anticipa, aunque en este caso no con tanta claridad como en las anteriores, la tercera ventaja propuesta por Smith: los trabajadores ahorran tiempo al no cambiar constantemente de trabajo. Sea como fuere, el análisis de la división del trabajo en *La riqueza de las naciones* se parece más al de Diderot que a la de Bernard de Mandeville, otro autor que influyó en el desarrollo de las ideas de Smith¹⁴.

8. Adam Smith, “Contributions to the Edinburgh Review of 1755-56: Review of Johnson’s Dictionary / A Letter to the Authors of the Edinburgh Review”, en *The Glasgow Edition of the Works and Correspondence of Adam Smith (III)*, eds. William Wightman, John Bryce e Ian Ross (Oxford: Clarendon Press, 1980), 246.

9. Smith, “Contributions to the Edinburgh”, 246.

10. Smith, “Contributions to the Edinburgh”, 246. Para profundizar en la influencia baconiana en *L’Encyclopédie* ver Robert Darnton, “Los filósofos podan el árbol del conocimiento: la estrategia epistemológica de La Enciclopedia”, en *La gran matanza de gatos y otros episodios en la historia de la cultura francesa* (Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2000), 192-215.

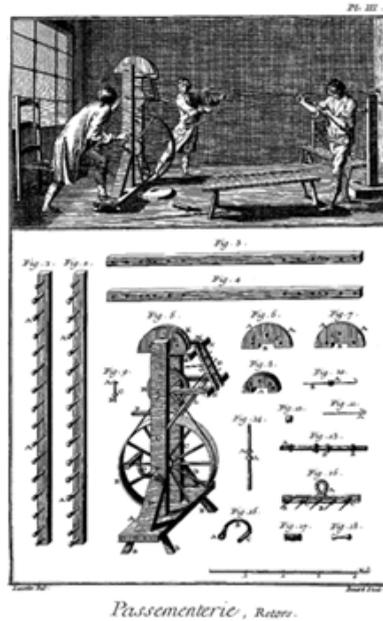
11. Adam Smith, *Investigación sobre la naturaleza y causa de la riqueza de las naciones* (Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012).

12. Edwin Cannan, ed., *Introducción a An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, por Adam Smith (Nueva York: The Modern Library, 1937), xxiii-lvi.

13. Frase textual de Diderot, ART, dans *Enc.*, t. 1, p. 717b citado por Kafker y Loveland, “L’Admiration d’Adam”, 191-202.

14. Kafker y Loveland, “L’Admiration d’Adam”, 193

Figura 1. Representación en de una máquina de pasamanería en L'Encyclopédie



Fuente: l'Édition Numérique Collaborative et Critique de l'Encyclopédie de Diderot, de D'Alembert et de Jaucourt (1751-1772), <http://enccre.academie-sciences.fr/encyclopedie/planche/v32-x2?p=v32-g11&vp=y&>

Ciertamente, en *La riqueza de las naciones*, Adam Smith sostiene que los principales agentes del cambio tecnológico son los propios trabajadores. Para ello, el primer paso de la organización del trabajo debe consistir en “reducir la tarea del hombre a una operación sencilla, y hacer de esta la única ocupación de su vida”¹⁵. Esta optimización de las acciones corporales y juicios mentales del ser humano mejora “la pericia del operario”¹⁶ como un efecto inmediato, pero además trae como un efecto a mediano plazo la innovación tecnológica, pues “la invención de las máquinas que facilitan y abrevian la tarea, parece tener su origen en la propia división del trabajo”¹⁷. Una de las consecuencias de asumir que la división del trabajo humano, expresión que popularizó Smith, impulsa la innovación de los objetos tecnológicos, es que además determina su estructura y funcionamiento. Dado que la innovación tecnológica se da en un intercambio cuerpo a cuerpo entre máquinas, herramientas y trabajadores, el diseño de los objetos tecnológicos queda circunscrito a la escala humana, acorde a las posibilidades de percepción, comprensión y manipulación de los obreros. Estos perciben las carencias del objeto técnico

15. Smith, *Investigación sobre la naturaleza*, 11.

16. Smith, *Investigación sobre la naturaleza*, 11.

17. Smith, *Investigación sobre la naturaleza*, 12.

utilizado en su rutina de trabajo, sean máquinas o herramientas, y a través de una actividad de permanente de rediseño lo optimizan para que cumpla más eficientemente su función.

Desde este punto de vista, la evolución de la máquina se reduce a una serie de inventos del obrero con el propósito de satisfacer sus propias necesidades prácticas. Los cambios tecnológicos son posibles debido al saber experiencial que el obrero ha forjado en sí mismo, a través de sus vivencias rutinarias, del mismo modo y en el mismo momento que forjaba el hierro o el bronce. Esto convierte, de alguna manera, el arte del diseño y construcción de máquinas en una actividad de sincronización entre el funcionamiento de estas y las formas anatómicas, los movimientos corporales, las magnitudes de fuerza y la velocidad de los miembros del ser humano. Es por ello que, desde la perspectiva de Smith, el diseño de máquinas y herramientas está determinado en la misma medida por los intereses inmediatos de los trabajadores humanos. Por ello, imaginar, diseñar y construir nuevos objetos técnicos a partir de la reorganización de los elementos materiales de los que disponen en sus talleres no es una actividad abstracta como la que realiza el matemático, sino concreta, experiencial y hasta cierto punto intransferible y solo ejecutable por el obrero. Esta idea es ilustrada por Smith a través de la célebre historia de un niño que desarrolló una importante innovación tecnológica para la época.

En las primeras máquinas de vapor, había un muchacho ocupado, de una manera constante, en abrir y cerrar alternativamente la comunicación entre la caldera y el cilindro, a medida que subía y bajaba el pistón. Uno de esos muchachos, deseoso de jugar con sus camaradas, observó que atando una cuerda en la manivela de la válvula que abría esa comunicación con la otra parte de la máquina, aquella podía abrirse y cerrarse automáticamente, dejándole en libertad de divertirse con sus compañeros de juego. Así, uno de los mayores adelantos que ha experimentado ese tipo de máquinas desde que se inventó se debe a un muchacho ansioso de economizar su esfuerzo.¹⁸

No obstante, Smith aceptaba que las invenciones o mejoras realizadas a las máquinas no provienen siempre de quienes Karl Marx llamó más tarde “obreros parciales”, sino que muchas de ellas suelen ser el producto de inventores profesionales o filósofos, “cuya actividad no consiste en hacer cosa alguna sino en observarlas todas y, por esta razón, son a veces capaces de combinar o coordinar las propiedades de los objetos más dispares”¹⁹. Esta afirmación, sin embargo, no necesariamente implica que el diseño de un objeto técnico pueda tener su origen en un saber teórico o abstracto, ya que aunque el diseñador no fuese aquel que ejecuta el trabajo, lo contempla y obtiene sus conclusiones a partir de este.

18. Smith, *Investigación sobre la naturaleza*, 13. Posteriormente, Karl Marx también narró esta historia, aunque con nombre y apellido del joven obrero: “El desplazamiento de los grifos y de la válvula de escape se realizaba inicialmente a mano, hasta que un muchacho que manejaba la máquina, Humphrey Potter, se las ingenió para unir (con un hilo) la empuñadura de los grifos y de la válvula, luego de haber asegurado el desplazamiento de ellos mediante este último”. Karl Marx, *Progreso técnico y desarrollo capitalista: manuscritos 1861-1863* (Ciudad de México: Pasado y Presente, 1982), 155.

19. Smith, *Investigación sobre la naturaleza*, 13

Charles Babbage y el lenguaje de las máquinas

La influencia de la *L'Encyclopédie* no solo tuvo que ver con el nacimiento del concepto moderno de división del trabajo sino también con el de computadora²⁰. En 1791 el ingeniero francés Gaspard Riche de Prony trasladó la división de trabajo que había popularizado Smith al cálculo matemático. Dividió a los calculistas en tres clases distribuidas en una estructura piramidal. En la cima algunos “matemáticos de distinción” desarrollaban las fórmulas generales para calcular los logaritmos por el método de diferencias; en el segundo nivel, siete u ocho “algebraicos” entrenados en análisis traducían las fórmulas a formas numéricas que pudieran computarse; y en la base amplia, setenta u ochenta “trabajadores” que solo conocen la aritmética elemental, realizaban millones de sumas y restas y las ingresaban a mano. El proyecto de De Prony impresionó mucho al matemático británico Charles Babbage, quien sugirió que los trabajadores en la base de la pirámide podrían ser reemplazados por maquinaria.

De hecho, argumentó que los cálculos de la tercera clase de trabajadores “casi pueden denominarse mecánicos”²¹. A partir de allí, Charles Babbage concibió una máquina capaz de realizar cálculos matemáticos, aunque no fue el primero. Pascal y Leibniz habían diseñado una máquina compuesta de algunos rodillos metálicos con la que se podía sumar, restar, multiplicar y dividir. Sin embargo, mientras que la máquina pascalina constaba de ocho rodillos de metal, la máquina de Babbage estaría compuesta de 15 000 partes y provista de una gran cantidad de ruedas dentadas que debían interactuar entre sí de una manera extremadamente precisa. No debe asombrarnos, entonces, que la construcción de esta máquina haya presentado serios problemas de diseño de los que Babbage dio cuenta en 1826, en un pequeño tratado titulado *On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery*.

En la construcción de una máquina, en la que ahora estoy ocupado por un tiempo, y que tiene el propósito de calcular tablas e imprimir los resultados en placas de cobre, he experimentado una gran demora e inconveniencia por la dificultad de determinar a través de los planos el estado del movimiento o estabilidad de alguna parte individual en un instante dado de tiempo y, si fuese necesario, investigar el estado de varias partes en el mismo momento en que el trabajo fuera mucho mayor.²²

.....
20. Lorraine Daston, “Calculation and the Division of Labor, 1750-1950”, ponencia presentada en el 31st Annual Lecture of The German Historical Institute, German Historical Institute, Washington D.C., Estados Unidos, noviembre de 2017, 10, https://legacy.ghi-dc.org/fileadmin/user_upload/GHI_Washington/Publications/Bulletin62/9_Daston.pdf

21. Daston, “Calculation and the Division”, 11.

22. Charles Babbage, “On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery”, en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (1776-1886)*, vol. 116 (Londres: s.e., 1826), 250. Traducción del autor.

A la luz de ese inconveniente, Babbage inició un proyecto de considerable impacto en autores posteriores: elaborar un lenguaje analítico con capacidad para describir el funcionamiento de las máquinas:

La dificultad de retener en la mente todos los movimientos simultáneos y sucesivos de una máquina compleja y la todavía mayor dificultad de coordinar apropiadamente los movimientos que ya han sido proporcionados, me llevaron a buscar algún método por el cual yo pudiera, de un vistazo, seleccionar una parte en particular y encontrar, para algún tiempo dado, su estado de movimiento y reposo de otra parte de la máquina y si es necesario rastrear la fuente de ese movimiento a través de todas sus sucesivas instancias hasta la fuerza del movimiento original.²³

A diferencia de los métodos gráficos de representación de la era preindustrial, Babbage no intentó representar el uso de las máquinas y por lo tanto el vínculo con los cuerpos humanos, sino las circunstancias internas de su funcionamiento. Aunque Babbage no lo nota aún, esto acerca a la máquina a un organismo biológico: un gráfico de cómo montar un caballo no nos explica cómo funciona el metabolismo de un caballo. Babbage se propuso, entonces, encontrar un método de representación superador, que tampoco podía apelar al lenguaje coloquial para transmitir lo que el dibujo no transmite:

Pronto sentí que las formas del lenguaje ordinario eran muy difusas para admitir alguna expectativa de remover esta dificultad, y estando convencido, por la experiencia del vasto poder que el análisis deriva de la gran condensación de significados empleados en el lenguaje, no tardé en decidir que el camino más favorable a seguir es recurrir al lenguaje de signos.²⁴

Teniendo en cuenta estas restricciones, Babbage intentó formular un sofisticado lenguaje simbólico que no dejara de ser por ello una notación simple, fácil de entender y recordar, además de ser eficaz; es decir, que sea una “apropiada adaptación de los signos a las circunstancias que pretendía representar”²⁵. El desafío crecía a medida que el funcionamiento de las máquinas dependía cada vez más de la precisión con que interactuaban objetos rígidos —como ruedas dentadas, levas, tornillos, uniones metálicas, pistones— y objetos flexibles —como correas y resortes—²⁶. La “notación mecánica”²⁷, tal es el nombre que Babbage dio a su método, se configuró como un lenguaje analítico que no recurre a la experiencia visual ni a otro elemento del vínculo

.....
23. Babbage, “On a Method”, 250.

24. Babbage, “On a Method”, 251.

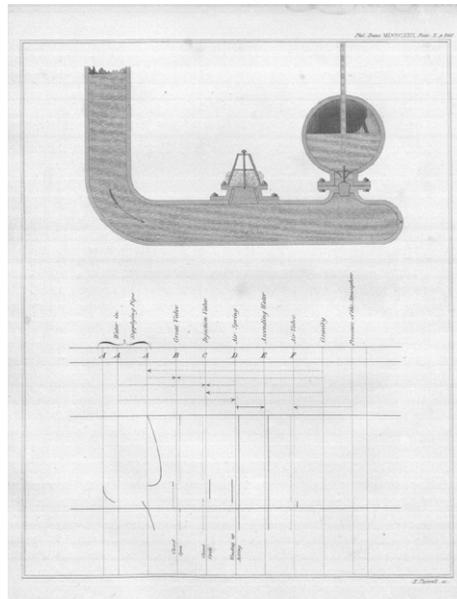
25. Babbage, “On a Method”, 251.

26. Francis Moon, *The Machines of Leonardo da Vinci and Franz Reuleaux* (Nueva York: Springer, 2007), 18.

27. Babbage, “On a Method”, 260.

humano-máquina, a pesar de lo cual el diseñador pudiera inferir de cada signo una circunstancia interna y puntual en la máquina. Sin embargo, el propio Babbage admitió que esto es un ideal de difícil concreción en la práctica, pues “la multitud de diferentes artilugios en máquinas distintas excluye la idea de sustituir esas partes por signos”²⁸. En este sentido, desde su punto de vista, no era posible un lenguaje completamente analítico en el cual haya una relación uno a uno de signos y circunstancias mecánicas. Las máquinas complejas poseen demasiadas piezas y su funcionamiento es igualmente enmarañado, por lo que no cabe otra posibilidad, a los ojos de Babbage, que resignar precisión del lenguaje mecánico colocando signos convencionales —no definidos por el propio lenguaje— sino por significados externos y —a falta de otra alternativa— convencionales, tal es el caso los nombres de las piezas provistos por el lenguaje coloquial. Además, también se hacía necesario acompañar la notación mecánica con algún elemento gráfico como complemento subjetivo, basado en la experiencia visual del diseñador o usuario.

Figura 2. Representación de un cilindro de agua añadida por Babbage para ilustrar su notación mecánica



Fuente: Charles Babbage, “On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery”, en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (1776-1886), vol. 116 (Londres, 1826), 261.

Nota: en la parte superior se observa la representación gráfica del cilindro. En la parte inferior la notación mecánica.

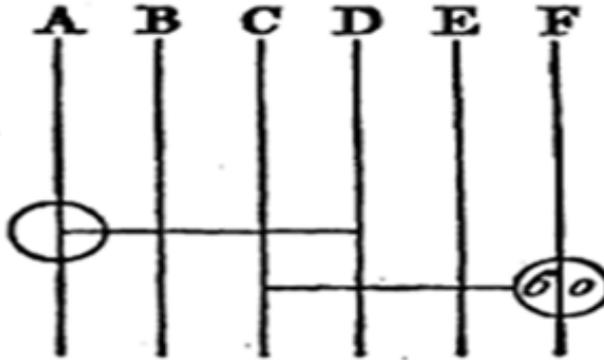
28. Babbage, “On a Method”, 251.

En su tratado, Babbage presentó su notación y expuso algunas consideraciones metodológicas para desarrollarla. El primer paso consiste en una precisa enumeración de las piezas móviles de la máquina junto con su nombre convencional, por ejemplo, “válvula reguladora”. Luego se asignan a cada uno de estos nombres un signo arbitrario determinado, que puede ser cualquier letra del alfabeto, para formalizar el lenguaje y evitar confusiones generadas por significados equívocos. Finalmente, estos símbolos se conectan con “líneas indicativas”²⁹ cuya dirección y tipo de trazado hacen referencia al comportamiento de la pieza correspondiente, el tipo de movimiento que ejecuta y la velocidad a la que lo hace. La notación prevé tres tipos de líneas. La primera representa el movimiento rectilíneo; si este se realiza a velocidad variable, se adjuntan a la línea dos números para representar la velocidad máxima y mínima. El segundo tipo de línea representa las velocidades angulares –rotación–. El tercer tipo de línea representa la velocidad angular relativa; esto es muy importante ya que permite calcular la posición de un eje o una rueda dentada en un determinado tiempo, y compararlo con las posiciones de otras piezas de la máquina en ese mismo instante. Asimismo, otra circunstancia interna de la máquina susceptible de ser expresada con esta notación es la transferencia de una fuerza a través de las piezas mecánicas. Para ello, Babbage utiliza flechas cuyo sentido indican desde qué pieza hacia qué pieza se desplaza la fuerza y según su trazo –continua, de puntos, mitad continua mitad de puntos, etcétera– se representa el tipo de movimiento se ejecuta.

El enfoque de Babbage asume que hay diversos tipos de máquina en las que ocurren circunstancias específicas y máquinas del mismo tipo que pueden emplearse para propósitos prácticos diferentes. Por ello, explicita que toda máquina necesita ciertas adaptaciones o ajustes según el trabajo específico que realice. Por ejemplo, se puede ajustar la distancia de las ruedas en el molino de maíz al tipo de harina que se quiera obtener³⁰. Esas adaptaciones y otras –como la modificación de un ángulo entre dos ejes, o entre una rueda y un eje– pueden ser representadas con líneas horizontales, verticales y círculos que representen la correlación entre las diferentes piezas.

.....
29. Babbage, “On a Method”, 251.

30. Babbage, “On a Method”, 255.

Figura 3. Representación en la notación mecánica de Babbage

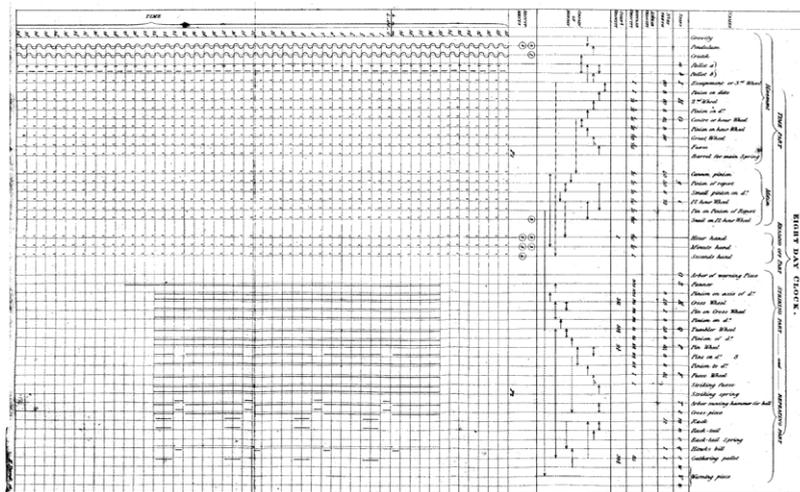
Fuente: Babbage, "On a Method", 257.

Nota: adaptación para ser hecha por el accesorio A sobre su eje haciendo un ángulo recto con D, mientras F establece un ángulo de 60.º con C.

Del tratado de Babbage la principal conclusión que podemos extraer es que no hay nada en su notación que aluda a la interacción con el cuerpo humano. La notación de Babbage es analítica, precisamente porque para explicar el funcionamiento de la máquina no requiere información del contexto de uso, ni de los elementos humanos o geográficos que lo constituyen. Solo cuando surge la necesidad de "tipificar" la máquina para ajustarla a una tarea específica, la dimensión externa cobra algún tipo de importancia en el diseño. Pero incluso en esos casos, lo que la notación recoge como distintivo de un tipo de máquina específico es su organización interna y su comportamiento, no su función externa. La clave en esta representación interna es el ciclo de funcionamiento³¹. La representación de una máquina como totalidad es, en última instancia, la representación de un proceso cíclico, una serie de operaciones autocorrelacionales monótonas que constituyen su funcionamiento específico y abren un "adentro" de la máquina, que se distingue de las contingencias del uso o función práctica, de su "afuera". Esto trae ventajas para la representación, pues una serie finita de operaciones cíclicas permite una notación mecánica, a diferencia del diverso e innumerable conjunto de acciones técnicas humanas en el contexto de uso.

31. Babbage, "On a Method", 258.

Figura 4. Representación simbólica de un reloj de ocho días añadida por Babbage para ilustrar su notación mecánica



Fuente: Babbage, "On a Method", 262.

Robert Willis y Franz Reuleaux: los "mecanismos puros"

A mediados del siglo XIX, a pesar de que no era común aún que los ingenieros estuvieran formados en matemáticas, comenzaron a destacarse los que sí lo eran³². Babbage, como vimos, es un caso emblemático. Robert Willis es otro. Ambos fueron contemporáneos, alumnos y profesores en Cambridge y miembros de la Royal Society de Londres. Además de estas coincidencias biográficas, sus investigaciones acerca de la máquina abordaron muchas problemáticas comunes. Es su obra más famosa, *Principles of Mechanism*, Willis dedicó un capítulo entero al estudio de la notación mecánica de Babbage³³. Allí suscribió al intento de generar un lenguaje formal con base en líneas de tiempo que registrarán el movimiento de cada pieza en la máquina, similar al de las partituras musicales.³⁴

En su carrera académica, al igual que Babbage, Willis se distanció de la escuela francesa³⁵ porque, a diferencia de esta, consideraba que la clave del estudio de las máquinas no era el

32. Francis Moon, "Robert Willis and Franz Reuleaux: Pioneers in the Theory of Machines". *Notes and Records of the Royal Society of London* 57, no. 2 (2003): 210, <https://doi.org/10.1098/rsnr.2003.0207>

33. Robert Willis, *Principles of mechanism* (Londres: Cambridge University Press, 1841), 332.

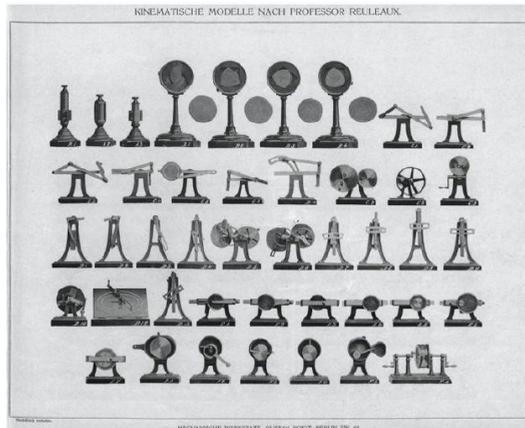
34. Moon, "Robert Willis", 212.

35. Moon, "Robert Willis", 212.

movimiento general de acuerdo con un fin, sino los movimientos relativos de los elementos que la componen: “Para cada máquina, se encontrará que consiste en un tren de piezas conectadas juntas de diversas formas, de modo que si una puede ser movida todas ellas reciben un movimiento, la relación de este con el primer movimiento se rige por la naturaleza de la conexión”³⁶. No obstante, Willis fue más allá que Babbage: no solamente pensó en una notación que describiera el movimiento relativo de las piezas, sino que postuló la existencia de un número finito de mecanismos, los “mecanismos puros”, que pueden ser encontrados en todas las máquinas que existen, existieron y existirán. El proyecto de Willis consistía en “reducir las combinaciones variadas de mecanismos puros, a un sistema, e investigarlo exclusivamente de acuerdo a principios geométricos”³⁷. Esto lo llevó a afirmar que “no parece haber razón por la cual la construcción de una máquina para un fin determinado no debe (...) ser reducida al dominio del matemático”³⁸.

Esta consideración fue profundizada por otro ingeniero formado en matemáticas, Franz Reuleaux. En su *Theoretische Kinematik*, publicada en 1875, Reuleaux añadió una serie de fundamentos matemáticos y topológicos, que por primera vez fueron aplicados a la ingeniería³⁹, con los que aisló, en buena medida, los principios geométricos de los “mecanismos puros” de Willis. La idea de que el diseño de cada máquina descansa sobre la combinación de ciertas formas finitas y susceptibles de ser clasificadas y caracterizadas, llevó a Reuleaux a elaborar un inventario de los mecanismos existentes para construirlos.

Figura 5. Selección de modelos cinemáticos de Reuleaux



Fuente: Francis Moon, “Robert Willis and Franz Reuleaux: Pioneers in the Theory of Machines”, *Notes and Records: the Royal Society Journal of the History of Science* 57, no. 2 (2003): 211, <https://doi.org/10.1098/rsnr.2003.0207>

36. Willis citado en Moon, “Robert Willis”, 215.

37. Willis citado en Moon, “Robert Willis”, 215.

38. Moon, “Robert Willis”, 214-215.

39. Moon, “Robert Willis”, 217.

El proyecto de Willis y Reuleaux implicó la escisión entre la noción de mecanismo y la de máquina, lo que permitió la autonomía del objeto de estudio de las matemáticas, los mecanismos, con respecto al de la mecánica, las máquinas. Era necesario, pensó Reuleaux, definir una disciplina que excluyera las fuerzas del objeto de estudio y que abordara el funcionamiento de las máquinas desde un enfoque específicamente geométrico para, de esa forma, sistematizar los tipos de transmisión y transformación de movimientos. Es el origen de la cinemática –kinematic– o “Ciencia de los mecanismos puros”. A partir de este esquema Reuleaux elaboró una definición de mecanismo y de máquina como dos objetos de estudio disímiles:

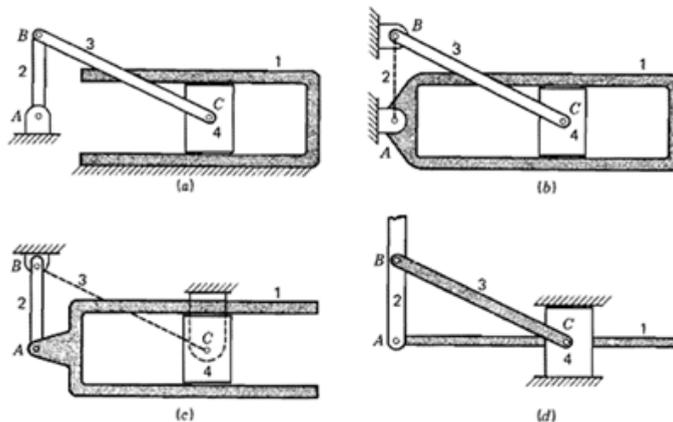
El mecanismo es una cadena cinemática cerrada; la cadena cinemática es compuesta o simple, y constituida de pares de elementos; estos llevan las dotaciones requeridas para el movimiento que deben tener los cuerpos en contacto y, por estos, son impedidos todos los diversos movimientos que no sean deseados en el mecanismo. Un mecanismo cinemático es movido si una fuerza o esfuerzo mecánico es aplicado a uno de sus eslabones móviles de tal manera que altere su posición. El esfuerzo así aplicado realiza un trabajo mecánico que es acompañado por movimientos determinados al conjunto, es decir, es una máquina.⁴⁰

Desde este punto de vista y dada una clase de máquina podemos inferir la combinación de mecanismos que hace posible su existencia pero, dada una determinada combinación de mecanismos no se puede determinar fehacientemente la función externa que tendrá la máquina. Si bien las máquinas tienen un origen humano y una finalidad práctica, la posibilidad de su existencia radica en el comportamiento de ciertas organizaciones materiales que no están determinadas por la intencionalidad humana sino por principios matemáticos, y que son susceptibles de ser investigados en sí mismos. Por otra parte, la clasificación de los mecanismos se establece por la organización de sus elementos y la fijación de uno de ellos como punto de referencia. La fijación de ese elemento constituye lo que Reuleaux llama *inversión cinemática*: el mismo tipo de mecanismo puede dar lugar a varios tipos de comportamiento, de lo que se sigue que el mismo mecanismo puede ser condición de posibilidad de varios tipos de máquinas, según en qué eslabón se aplique una fuerza. Expliquemos este punto con mayor detalle a partir de un ejemplo. Como se puede ver en la figura 6, el mismo mecanismo, conocido como corredera-manivela, puede dar lugar a cuatro *inversiones cinemáticas* distintas, según el eslabón en el cual se fije. En la ilustración b (figura 6), por ejemplo, el bloque 1 gira en torno a la revolva A, haciendo que B gire alrededor de ese centro A; la distancia 2, entre A y B, permanece fija.

40. Franz Reuleaux, *Kinematics of Machinery: Outlines of a Theory of Machines* (Londres: Macmillan and Co., 1876), 50.

En la ilustración c (figura 6), en cambio, el eslabón 3 permanece fijo. Por el contrario, en la ilustración d (figura 6) permanece fijo el eslabón 4. Pero detengámonos con más detalle en la ilustración a (figura 6). Una vez fijado el bloque 1, el mecanismo de corredera-manivela adquiere un comportamiento específico: el eslabón 4 va y viene en un movimiento lineal dentro del eslabón 1. Sin embargo, ese comportamiento, desde la definición de Reuleaux aún no es una máquina. Para serlo debe hacer un trabajo mecánico, es decir, debe transmitir una fuerza. Para que esa inversión cinemática particular del mecanismo sea una máquina, se debe especificar en dónde se aplica la fuerza. Hay dos opciones, a saber: que la fuerza provenga desde el fondo del eslabón 1; o que provenga desde el eslabón 3 hacia el fondo del eslabón 1. Dada esas dos posibilidades, la misma inversión del mecanismo corredera-manivela es condición de posibilidad de dos máquinas diferentes: motor de combustión interna y una compresora⁴¹.

Figura 6. Teoría de máquinas y mecanismos



Fuente: Joseph Shigley y Joseph Uiker, *Teoría de máquinas y mecanismos* (Ciudad de México: McGraw-Hill, 1988), 17.

La tesis que subyace al proyecto de Reuleaux es que, en una máquina, la transmisión de movimiento es condición de posibilidad de la transmisión de fuerza y, por lo tanto, es lógica y ontológicamente anterior. Pero, además, dado que el mecanismo no determina a la máquina, ni está determinado por ella, constituye un objeto de estudio específico y autónomo. Esta definición teórica fue un paso más en el intento de encontrar los principios organizativos reales de las máquinas existentes. Willis y Reuleaux no pretendieron estudiar

41. Joseph Shigley y Joseph Uiker, *Teoría de máquinas y mecanismos* (Ciudad de México: McGraw-Hill, 1988), 17.

las clases de máquinas sino las clases de mecanismos que la componen. Para ambos, las clases de máquinas no son reales, pero sí lo son las clases de mecanismos, debido a que están fuera del ámbito de la deliberación y decisión humana. Solo los “mecanismos puros” son reales; los mecanismos en relación con una fuerza son intencionales. Esto reduce el diseño de la máquina al diseño de mecanismos, que refleja el método cartesiano en dos pasos. El primero, el análisis de la máquina hasta dar con sus elementos cinemáticos básicos —claros y distintos—; el segundo, la síntesis desde esas partículas elementales, pero no con el trabajo humano, sino entre ellas mismas de acuerdo con principios matemáticos.

En esta forma completa la máquina consiste en uno o más mecanismos los cuales pueden, de la manera que hemos indicado, ser separados en cadenas cinemáticas y ellas a su vez en pares de elementos. Esta separación es el análisis de la máquina, la investigación de su contenido cinemático, organizado en mecanismos, cadenas cinemáticas y pares de elementos. La inversa de esta operación es la síntesis, colocar juntos los elementos cinemáticos, cadenas y mecanismos, a partir de los cuales una máquina puede ser construida, así como cumplir su función requerida.⁴²

Desde este punto de vista, Reuleaux revisa críticamente el intento de Babbage de elaborar una notación mecánica, y elabora su propia notación en el séptimo capítulo de su *Theoretische Kinematik*, titulado “Necesidad de una notación cinemática”⁴³. Allí, Reuleaux analiza el lenguaje propuesto por Babbage cincuenta años antes y afirma que su fracaso se debió a los propios defectos de la notación y no a que los diseñadores no aceptaron el método⁴⁴. El principal problema que Reuleaux observa en el lenguaje de Babbage no es el uso de símbolos, ya que ese es su mérito y principal influencia, sino que el conjunto de entidades que pretende expresar con ellos “no es la constitución esencial de la máquina”⁴⁵. Recordemos que Babbage quiere expresar las “circunstancias” que pueden darse en una máquina, pero esas circunstancias no se reducen a las posibilidades o imposibilidades de movimientos en una composición de elementos mecánicos, sino que incluye continuidades y discontinuidades, sentidos, velocidades y transmisión de fuerzas. Todas esas magnitudes provienen de la física y exceden el campo de la geometría. Por ello, para Reuleaux, todas esas propiedades son externas a la definición del tipo de mecanismo y, por lo tanto, tampoco dan cuenta de la identidad de la máquina. Desde esta perspectiva, el lenguaje de Babbage peca de ambigüedad y equivocidad porque no busca representar solamente a los mecanismos.

.....
42. Reuleaux, *Kinematics of Machinery*, 51-52.

43. Reuleaux, *Kinematics of Machinery*, 248.

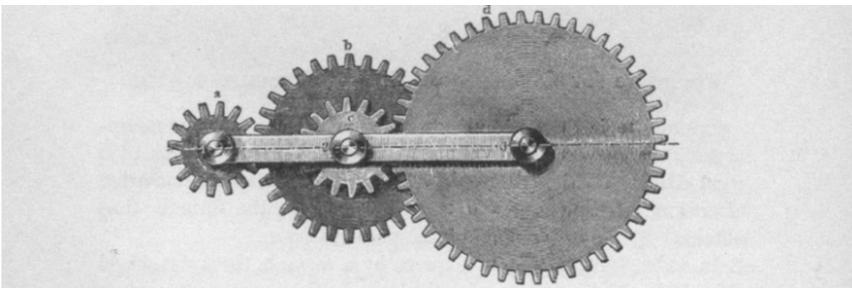
44. Reuleaux, *Kinematics of Machinery*, 250.

45. Reuleaux, *Kinematics of Machinery*, 250.

Es evidente, sin embargo, que bajo este sistema, mecanismos de construcciones completamente diferentes pueden ser representados por uno y el mismo conjunto de símbolos. Ellos simplemente se extienden a las condiciones externas que acompañan ciertas características de los órganos simples, no su completo significado; conforman una descripción de la acción de la máquina, de ninguna manera muestran su dependencia a principios generales fundamentales.⁴⁶

El lenguaje de Babbage expresa la “acción de la máquina” y no los “mecanismos puros” que subyacen a ella basados en los “principios generales fundamentales” de estos mecanismos. Reuleaux pasa de un lenguaje descriptivo del funcionamiento de la máquina, como el que proponía Babbage, a un lenguaje normativo de diseño. Los principios fundamentales dan cuenta de las leyes de autocorrelación entre las partes de cada clase de mecanismo. Para Reuleaux el paradigma de esa notación cinemática debe ser la notación química, a través de la cual expresó los mecanismos como fórmulas simples y compuestas. Para ello propuso una serie de símbolos para clasificar los tipos de piezas *–name-symbols–*, otra para las características geométricas de esas piezas *–form-symbols–* y otros para representar la relación entre dos elementos dentro de un par cinemático *–relation-symbol–*. Incluso se asignaban símbolos para determinar si la presión ejercida sobre un elemento era de un fluido o un gas. Así, por ejemplo, siendo C el símbolo de cilindro, Z el símbolo de diente, λ el símbolo de órgano empujado por un líquido, $C_{Z\lambda}$ será el símbolo de un cilindro dentado empujado con agua, que colocado con otro cilindro fijado a un eje sobre un río constituirá una rueda de agua ($C' C_{Z\lambda} V_{\lambda}$), como se observa en la siguiente figura.

Figura 7. Engranaje de cuatro ruedas dentadas con su formulación en notación cinemática



Fuente: Franz Reuleaux, *Kinematics of Machinery: Outlines of a Theory of Machines* (Londres: Macmillan and Co., 1876), 267.

Si la rueda fuese movida con vapor, su fórmula sería, por ejemplo, $C' C_{Z\lambda} V_{\gamma}$, donde γ indica que el tipo de movimiento es producto de una fuente gaseosa y no líquida. Así, tal

.....
46. Reuleaux, *Kinematics of Machinery*, 250.

cual el mismo Reuleaux indica, esta notación “es suficiente para, por un lado, mostrar la íntima conexión con que las máquinas parecen estar construidas y por el otro indicar simple y definitivamente las verdaderas diferencias entre ellas”⁴⁷.

La empresa de la notación cinemática de Reuleaux consistió en un lenguaje absolutamente simbólico que no solo expresaría relaciones entre partes, sino también las normas de validez de esas relaciones. Esta es la búsqueda de una sintaxis⁴⁸ de las máquinas donde “... un mecanismo se vuelve una palabra y una máquina compleja una secuencia de símbolos conectados, i.e. [es decir], una sentencia de palabras”⁴⁹. No obstante, una máquina es más que una composición de elementos y relaciones homogéneas. Es un conjunto de objetos técnicos disímiles. En ese sentido, la propuesta de Reuleaux fue una descripción reduccionista de las clases de máquinas, pues las redujo a un sistema de equivalencias a las clases de mecanismos y prescindió de todos los elementos externos: materiales, fuentes de energía, velocidades, continuidad y discontinuidad del movimiento. Esto permitió que su lenguaje reduzca la ambigüedad, pero al precio de volverlo ineficaz para describir la maquinaria industrial en franca expansión, que encontró en la termodinámica, entre otros, un esquema teórico más potente para aplicar al diseño de máquinas.

Charles Babbage II: de las matemáticas a la economía política

A pesar del amor que Babbage profesaba por las matemáticas, comenzó a notar los límites de esta disciplina para dar cuenta de las posibilidades reales de diseño maquínico. Al contrario de lo que Willis y Reuleaux intentarían luego, Babbage no estaba tan seguro de que los conceptos matemáticos agotaran la realidad maquínica, o al menos dudaba de que esta coincidiera con el mundo ideal de las matemáticas. Había que ir a donde los mecanismos existieran, no donde se pudieran pensar. Aguijoneado por esa convicción Babbage comenzó a recorrer los talleres y fábricas de la época para, en principio, familiarizarse con los “diversos recursos del arte mecánico”⁵⁰. Los objetos que buscaba Babbage en ese “arte” de los talleres eran mecanismos desconocidos, con el propósito de aplicarlos posteriormente en la máquina de calcular que estaba construyendo. Este cambio en la metodología se vio reflejado en el recorte del objeto de estudio, la máquina, y en los insumos teóricos necesarios para abordarlo. El campo de investigación de Babbage con respecto a la naturaleza de las máquinas poco a poco se fue ampliando desde las matemáticas hacia “las preguntas

47. Reuleaux, *Kinematics of Machinery*, 273.

48. Para profundizar esta noción ver Dario Sandrone, “La especificidad del objeto industrial y la ontología de los objetos técnicos: acerca de los enfoques semánticos y sintácticos de la tecnología”, *Quadranti: rivista internazionale di filosofia contemporanea* 4, nos. 1/2 (2016): 215-242, https://www.rivistaquadranti.eu/riviste/05/Sandrone_13.pdf

49. Moon, “Robert Willis and Franz Reuleaux”, 217.

50. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures* (Nueva York: Cambridge University Press, 2009), 7.

difíciles de la economía política que están íntimamente conectadas con tales investigaciones”⁵¹. Como resultado de sus indagaciones, Charles Babbage escribió una suerte de tratado, que publicó en 1832 bajo el nombre de *On the Economy of Machinery and Manufactures*, con el propósito de desentrañar, según sus propias palabras, los “principios mecánicos que regulan de maquinaria para las artes y manufacturas”⁵².

En el fondo de este giro teórico de Babbage se encuentra en buena medida la influencia de la tesis de Smith acerca del origen socioeconómico de la innovación tecnológica en las fábricas. En un primer acercamiento podemos decir que aunque Babbage aceptó la tesis antropométrica de Smith acerca del diseño tecnológico, la juzgó insuficiente, sobre todo porque no contemplaba la distinción entre herramienta y máquina. La máquina industrial no es meramente una herramienta compleja, es una estructura funcionante en la que las herramientas manuales reaparecen y se reconfiguran como piezas de su organización: “Las máquinas más simples son a menudo sencillamente una o más herramientas colocadas en una estructura, y actuando por una fuente de movimiento”⁵³. Esta definición —que será fundamental para Marx— es un punto clave para redefinir las consideraciones sobre la lógica del diseño y la innovación tecnológica en la era industrial. En primer lugar, Babbage enfatiza y le da estatus teórico al principio modular de la máquina, considerada como un conjunto de partes elementales, algunas de las cuales son herramientas que otrora usaran los operarios humanos. Y en segundo lugar, el cuerpo humano deja de ser el soporte material de las herramientas y se reduce, con suerte, a ser una fuente de movimiento de las estructuras mecánicas. Esta reducción sienta las bases de su reemplazo. El cuerpo humano, en tanto mera fuerza motora, se vuelve intercambiable con un animal, con las corrientes de agua o con el viento. Pero será el motor termodinámico, que para la época ya estaba por demás difundido y que debido a una serie de innovaciones era mucho más estable que todas esas fuentes de movimiento, el que se convertirá poco a poco en la fuente motora hegemónica. Por tanto, el principio organizativo y evolutivo de las máquinas, en la era industrial, será otra máquina, lo que socava fuertemente el enfoque antropogenético de Smith.

Babbage reconoció mejor que nadie las transformaciones productivas de la era industrial y sentó las bases para repensar la dinámica del cambio tecnológico. El cuerpo humano, sus órganos y sus actividades ya no marcaban el paso de la innovación tecnológica. Más importante aún era establecer cómo interactúan y se adaptan entre sí los objetos tecnológicos al interior del sistema artificial y las operaciones que son capaces de realizar. Este ensamblaje de elementos, herramientas, mecanismos y motores se denomina *maquinaria*. La diferencia entre máquina y maquinaria es tan importante como la que se establece entre herramienta y máquina, sobre todo para brindar precisión acerca de los elementos que influyen de manera diferenciada en distintos niveles en el diseño y la innovación de la tecnología industrial. Al respecto, las conclusiones que extrajo Babbage es que en la industria la influencia del

51. Babbage, *On the Economy*, 7.

52. Babbage, *On the Economy*, 7.

53. Babbage, *On the Economy*, 10.

trabajo corporal humano es muy alta en la innovación de herramientas, menos importante en la de las máquinas-herramienta e irrelevante en la de mecanismos y motores. Mientras que para Smith incluso las máquinas más complejas, tal es el caso de los motores a vapor, se transformaban como resultado de un acto de invención del obrero para ahorrar trabajo corporal, como vimos en la anécdota del joven obrero, Babbage descompone el proceso de invención circunscribiendo la influencia del trabajador, y por lo tanto de la división del trabajo, solo al primer paso, la invención de la herramienta:

Tal mejora en la herramienta es generalmente el primer paso hacia una máquina (...) En los casos en que se emplea un golpe de un martillo, la experiencia enseña la fuerza correcta requerida. La transición desde el martillo en la mano a uno montado sobre un eje, y elevado regularmente a cierta altura por algún dispositivo mecánico, tal vez requiere un mayor grado de invención; sin embargo, no es difícil de percibir, que, si el martillo siempre cae de la misma altura, su efecto debe ser siempre el mismo.⁵⁴

El perfeccionamiento de un objeto antropométrico como el martillo de mano surge de la experiencia del diseñador sobre su uso. El perfeccionamiento de la máquina al interior de la maquinaria, en cambio, depende de aptitudes más abstractas. Este nivel superior de invención identificado por Babbage no demanda la comprensión de relaciones entre las magnitudes del cuerpo humano y de las herramientas, sino de las herramientas con otros elementos técnicos como, por ejemplo, un eje: magnitudes de fuerzas, ángulos, resistencia de materiales. Esto relativiza el alcance de la experiencia del obrero como principio del diseño tecnológico y, por lo tanto, muestra un límite en la división del trabajo humano como fuente de innovación tecnológica. Una de las maneras de franquear ese límite es justamente con el estudio matemático de las interacciones entre los objetos técnicos. El obrero, por su parte, solo participa directamente del diseño de herramientas ergonómicas, que constituyen lo que Marx llamará después la “base material” de las máquinas. Pero la maquinaria en sí tiende a diluir el origen antropométrico de sus componentes y el diseño de su organización depende principalmente de las leyes de interacción entre sus elementos constitutivos, incluidos los motores termodinámicos, antes que de la función originaria de sus partes. En este sentido, los saberes necesarios para el diseño de herramientas difieren del tipo de saberes necesarios para el diseño de la maquinaria: los primeros son una síntesis de conocimientos técnicos y laborales, los segundos son conocimientos analíticos de las máquinas y sus mecanismos existentes:

Ideando herramientas y simplificando procesos, los trabajadores operativos son, tal vez, los más exitosos; pero se requiere de muchos otros hábitos para combinar en una sola máquina estas artes dispersas. Una formación previa como obrero en el oficio específico es, sin duda, un valioso antecedente; pero para hacer este tipo

.....
54. Babbage, *On the Economy*, 135-136.

de combinaciones con cualquier expectativa razonable de éxito es esencialmente necesario un amplio conocimiento de la maquinaria y la capacidad de hacer dibujos mecánicos.⁵⁵

Como vemos, el diseño de máquinas requiere, según observa Babbage, además de la experiencia directa en la manipulación, ciertos saberes esquemáticos, como el dibujo de planos. Pero, también, desde su punto de vista, requiere cierta habilidad para la experimentación en las máquinas que revelen “los efectos dependientes de propiedades físicas o químicas para lo cual ningún plano tendrá alguna utilidad”⁵⁶. Además, los mecanismos de transmisión de movimiento se rigen por principios de la mecánica que “deben ser tenidos permanentemente en cuenta” ya que “las ventajas derivadas de las habilidades mecánicas (...) acaban de comenzar a ejercer su influencia en nuestras artes”⁵⁷.

Esta concepción analítica y modular considera a la maquinaria como una composición de elementos cuyos orígenes intencionales y trayectorias históricas son disímiles, como el resultado provisorio de un proceso evolutivo recombinatorio colectivo constituido de múltiples instancias de invención y diseño. La taxonomía de los objetos tecnológicos de acuerdo a su función, entonces, no debe seguir un criterio externo sino al interior de la maquinaria.

Existe una división natural entre las máquinas, aunque desigual con respecto a la cantidad. Pueden ser clasificadas como, por un lado, aquellas que se emplean para producir energía y, por otro, aquellas que están destinadas solo a transmitir fuerza y ejecutar un trabajo. El primer tipo es de gran importancia y muy limitado en cuanto a la variedad de sus especies, sin embargo, algunas de esas especies están conformadas por numerosos individuos. Con respecto a la otra clase de agentes mecánicos por el cual se transmite el movimiento —la palanca, la polea, la cuña, y muchos otros— se ha demostrado que no se gana fuerza alguna por su uso, independientemente de cómo sean combinados.⁵⁸

La clasificación de Babbage no es la de un matemático que analiza conceptos, sino la de un “naturalista” que realiza una excursión por una selva de máquinas y que las clasifica. Así intentó sopesar la justa medida de la influencia en la evolución tecnológica de, por un lado, la división del trabajo, que en los libros —sobre todo en los de Smith y sus seguidores— era total y, por el otro, de los conceptos matemáticos a los que Willis y Reuleaux intentarían reducirla posteriormente.

.....
55. Babbage, *On the Economy*, 136.

56. Babbage, *On the Economy*, 207.

57. Babbage, *On the Economy*, 15.

58. Babbage, *On the Economy*, 15.

Resonancias contemporáneas

En los actuales debates historiográficos y filosóficos acerca de la naturaleza y evolución de las máquinas, no suelen aparecer los nombres de Babbage, Willis o Reuleaux más que como referencias laterales. Sin embargo, queremos concluir este artículo señalando al menos cuatro líneas de trabajo contemporáneas que pueden encontrar en el pensamiento de los matemáticos decimonónicos que hemos retratado en este recorrido histórico, antecedentes y conceptos que pueden conservar alguna utilidad para contextualizar e incluso aclarar ciertas discusiones. No pretendemos hacer aquí un análisis exhaustivo de estas líneas de trabajo ni de su contenido. Nos conformaremos con sugerir algunas conexiones teóricas, con la esperanza de que sean multiplicadas por otros investigadores en el futuro.

Organología

Una de las recepciones más interesantes del enfoque analítico modular se dio en una corriente de pensamiento francés de principio del siglo XX, la Organología, cuyo hito fundacional fueron las *Réflexions sur la science des machines* publicadas en 1932 por Jacques Lafitte. Allí se exponen los fundamentos de una ciencia que estudie las máquinas en sí mismas: la Mecanología. Lafitte fue consciente de que su proyecto no era una idea original, de hecho el título de su obra principal no hace alusión a la inauguración de un campo del saber sino a la reflexión sobre uno existente con desarrollos teóricos previos, muchos de ellos realizados en el siglo XIX, entre los que incluye —además de una documentación provista con prospectos catálogos, revistas y memorias técnicas de maquinaria industrial de la época— los trabajos de Robert Willis, Franz Reuleaux y Charles Babbage⁵⁹. Si bien la Mecanología se propone como el estudio de las máquinas en sí mismas, y no de acuerdo a sus usos, este objeto se encuentra subsumido, desde el punto de vista de Lafitte, a otra disciplina más general aún, la Organología, que debe estudiar los entes organizados, independientemente de su origen artificial o biológico.

Esto implicaría una búsqueda de los principios comunes para el estudio de las máquinas y los organismos. La Organología encuentra así algunas similitudes con la Cibernética, que se presentaría posteriormente y con la que también mantiene ciertas diferencias⁶⁰. Más adelante, Gilbert Simondon retomó el desarrollo de una Organología general “que estudie los objetos técnicos en el nivel de los elementos”⁶¹ como subsidiaria de “una tecnología general o mecanología”⁶². Simondon restringe el proceso evolutivo de las máquinas a los aspectos intrínsecos del cambio

59. Jacques Lafitte, *Réflexions sur la science des machines* (París: Vrin, 1972), 9.

60. Andrew Iliadis, “Mechanology: Machine Typologies and the Birth of Philosophy of Technology in France (1932-1958)”, *Systema* 3, no. 1 (2015): 137.

61. Gilbert Simondon, *El modo de existencia de los objetos técnicos* (Buenos Aires: Prometeo, 2007), 86.

62. Simondon, *El modo de existencia*, 87.

tecnológico y toma lo que de él es autocorrelacional y autopoiético. El pensamiento de Simondon se vuelve, además, un elemento interesante de análisis de las máquinas y sistemas tecnológicos en la medida en que incorpora el concepto de información, lo que permite establecer muchos puentes con la informática contemporánea⁶³. Recientemente Yuk Hui ha planteado la necesidad de retomar el estudio y la agenda teórica de la Organología como una corriente que nos permitiría “retomar el concepto de lo orgánico y arrojar nueva luz sobre la condición de filosofar, en vista del ‘volverse orgánico’ de las máquinas digitales a escala planetaria”⁶⁴. Desde nuestro punto de vista, este y otros planteos similares retoman la intención de elaborar un saber analítico que aborde la tecnología como un saber *a posteriori*, que analiza esquemas modulares de funcionamientos incomprensibles para descubrir en ellos lo que, a pesar de ser artificial, es ignorado. El estudio de máquinas y maquinarias es un aspecto central en ese programa de indagación algo que, según hemos querido mostrar aquí, comienza a proponerse en el siglo XIX.

Teoría marxista de la evolución tecnológica

El enfoque analítico modular no pasó desapercibido para Karl Marx, quien en enero de 1863 le escribió una carta a Frederick Engels en la que comentaba su decisión de asistir “a un curso práctico (puramente experimental) para obreros impartido por el Prof. Willis”⁶⁵. Allí, además, realizó alguna observación sobre los tipos de saberes necesarios para comprender la constitución y dinámica de la maquinaria. “Para mí, la mecánica presenta el mismo problema que los idiomas. Entiendo las leyes matemáticas, pero la realidad técnica más simple, que requiere conocimiento ocular, es más difícil para mí que las combinaciones más complicadas”⁶⁶. Este parecer se condice con las afirmaciones metodológicas de uno de sus autores de cabecera en materia tecnológica, Babbage, quien planteaba la necesidad de completar el análisis matemático de las máquinas con observaciones directas en la industria bajo la perspectiva de la economía política. En julio de 1847, Marx publicó *Miseria de la filosofía*, donde toma de Babbage la definición de máquina como “un conjunto de instrumentos de trabajo”⁶⁷.

A partir de allí Marx enriqueció la posición de Babbage sobre que la lógica de evolución de las herramientas no es la misma que la de la maquinaria. A partir de los antecedentes que hemos destacado en este trabajo, creemos que es posible postular una hipótesis de lectura de la teoría de la evolución tecnológica en Marx, que si bien es antropométrica en su dimensión herramental, adquiere cierto grado de autonomía en su dimensión maquinaica. Si

63. Javier Blanco y Pablo Rodríguez, “Sobre la fuerza y la actualidad de la teoría simondoniana de la información”, en *Amar a las máquinas: cultura y técnica en Gilber Simondon*, coords. Javier Blanco et al. (Buenos Aires: Prometeo, 2015), 95-120.

64. Yuk Hui, *Recursivity and Contingency* (Londres: Rowman & Littlefield, 2019), 13.

65. Karl Marx y Frederick Engels, *The Collected Works*, 50 vols. (Londres: Lawrence & Wishart, 1985), 41: 449.

66. Marx y Engels, *The Collected Works*, 41: 449.

67. Karl Marx, *Miseria de la filosofía: respuesta a la filosofía de la miseria de Proudhon* (Buenos Aires: Siglo XXI, 1987), 91.

aceptamos eso, ¿es posible proyectar la teoría evolutiva marxista sobre la maquinaria digital contemporánea? Cualquier línea de trabajo en ese sentido no puede omitir, desde nuestra perspectiva, la influencia del enfoque analítico modular que hemos reconstruido aquí.

La máquina de Turing

Es curioso que, aunque Marx se interesó mucho en las observaciones que Babbage realizó sobre las máquinas industriales, no se vio interpelado del mismo modo por su máquina de calcular. De hecho, a pesar de citar en muchas ocasiones el tratado de Babbage no reparó en el capítulo “Sobre la división del trabajo mental” en donde el matemático inglés plantea asuntos clave para comprender el significado de las máquinas de calcular. Recientemente, el filósofo George Caffentzis ha llamado la atención sobre este hecho⁶⁸ y ha propuesto como una tarea relevante incorporar a la teoría de las máquinas de Marx una máquina que no llegó a conocer: la máquina de Turing, que retomó el aspecto de la obra de Babbage que Marx omitió y que se encuentra en la base histórica de sus dos célebres artículos. A pesar de que en el artículo de 1936, Alan Turing no menciona aún a Babbage, podemos ver allí la continuidad con sus intereses al menos en tres puntos: primero, la pregunta por la naturaleza de las máquinas; segundo, la pregunta acerca de la capacidad de las matemáticas para dar cuenta de esa naturaleza o forma de operar; y tercero, la pregunta por un código y un lenguaje simbólico propio de las máquinas que nos permite diseñarlas según las operaciones que queremos que realicen⁶⁹. Luego, en el artículo de 1950, Turing señaló que Babbage fue quien presentó los “principios fundamentales” de las computadoras y afirma que “como la máquina de Babbage no era eléctrica, y como todas las computadoras digitales son en cierto modo equivalentes a ella, el empleo de la electricidad no es teóricamente relevante”⁷⁰, una afirmación inquietante para indagar en el presente, ya que de ella emerge una serie de discusiones que continúan en la actualidad. Una de ellas es la siguiente: ¿qué grado de continuidad existe entre las máquinas mecánicas del siglo XIX y las actuales máquinas digitales?⁷¹

68. George Caffentzis, *En letras de sangre y fuego. Trabajo, máquinas y crisis del capitalismo* (Buenos Aires: Tinta y Limón, 2020), 227.

69. Alan Turing, “On Computable Numbers, with an application to the Entscheidungsproblem”, *Proceedings of the London Mathematical Society* s2-42, no.1 (1936): 230-265, <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230>

70. Alan Turing, “Computing Machinery and Intelligence”, *Mind* 59, no. 236 (1950): 439, <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

71. Para indagar esta discusión ver Darío Sandrone y Pablo Rodríguez, “El ajedrez, el go y la máquina. El desafío de las plataformas para América Latina”, en *Tecnología, política y algoritmos en América Latina*, ed. Andrés-Maximiliano Tello (Santiago de Chile: Cenaltes, 2020), 35-53.

Bibliografía

Fuentes primarias

Documentos impresos y manuscritos

- [1] Babbage, Charles. "On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery". En *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (1776-1886)*, vol. 116. Londres: s.e., 1826.
- [2] Babbage, Charles. *On the Economy of Machinery and Manufactures*. Nueva York: Cambridge University Press, 2009.
- [3] D'Alembert, Jean le Rond. *Discurso Preliminar de la "Enciclopedia"*. Buenos Aires: Lautaro, 1947.
- [4] Marx, Karl y Frederick Engels. *The Collected Works*, 50 vols. Londres: Lawrence & Wishart, 1985.
- [5] Reuleaux, Franz. *Kinematics of Machinery: Outlines of a Theory of Machines*. Londres: Macmillan and Co., 1876.
- [6] Smith, Adam. "Contributions to the Edinburgh Review of 1755-56: Review of Johnson's Dictionary / A Letter to the Authors of the Edinburgh Review". En *The Glasgow Edition of the Works and Correspondence of Adam Smith (III)*, editado por William Wightman, John Bryce e Ian Ross, 227-256. Oxford: Clarendon Press, 1980.
- [7] Smith, Adam. *Investigación sobre la naturaleza y causa de la riqueza de las naciones*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012.
- [8] Willis, Robert. *Principles of Mechanism*. Londres: Cambridge University Press, 1841.

Fuentes secundarias

- [9] Blanco, Javier y Pablo Rodríguez. "Sobre la fuerza y la actualidad de la teoría simondoniana de la información". En *Amar a las máquinas: cultura y técnica en Gilber Simondon*, coordinado por Javier Blanco Diego Parente, Pablo Rodríguez y Andrés Vaccari, 95-120. Buenos Aires: Prometeo, 2015.
- [10] Blom, Philipp. *Encyclopédie. El tiempo de la razón en tiempos irracionales*. Barcelona: Anagrama, 2007.
- [11] Bryant, Levi. *Onto-Cartography: An Ontology of Machines and Media*. Edimburgo: Edinburgh University Press, 2014.
- [12] Caffentzis, George. *En letras de sangre y fuego. Trabajo, máquinas y crisis del capitalismo*. Buenos Aires: Tinta y Limón, 2020.
- [13] Cannan, Edwin ed. Introducción a *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, por Adam Smith, xxiii-lvi. Nueva York: The Modern Library, 1937.
- [14] Darnton, Robert. "Los filósofos podan el árbol del conocimiento: la estrategia epistemológica de La Enciclopedia". En *La gran matanza de gatos y otros episodios en la historia de la cultura francesa*, 192-215. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2000.
- [15] Daston, Lorraine. "Calculation and the Division of Labor, 1750-1950". Ponencia presentada en el 31st Annual Lecture of The German Historical Institute, German Historical

- Institute, Washington D.C., Estados Unidos, noviembre de 2017. https://legacy.ghi-dc.org/fileadmin/user_upload/GHI_Washington/Publications/Bulletin62/9_Daston.pdf
- [16] Ferguson, Eugene. "The Mind's Eye". *Leonardo* 11, no. 2. (1978): 131-139.
- [17] Harman, Graham. *Hacia el realismo especulativo*. Buenos Aires: Caja Negra, 2015.
- [18] Hui, Yuk. *Recursivity and Contingency*. Londres: Rowman & Littlefield, 2019.
- [19] Iliadis, Andrew. "Mechanology: Machine Typologies and the Birth of Philosophy of Technology in France (1932-1958)". *Systema* 3, no. 1 (2015): 131-144.
- [20] Kafker, Frank A. y Jeff Loveland. "L'Admiration d'Adam Smith pour l'Encyclopédie". *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, no. 48 (2013): 191-202. <https://doi.org/10.4000/rde.5045>
- [21] Lafitte, Jacques. *Réflexions sur la science des machines*. París: Vrin, 1972.
- [22] Maniglier, Patrice. *Manifiesto por un comparativismo superior en filosofía*. Buenos Aires: Isla Desierta, 2020.
- [23] Mankin, Robert. "Pins and Needles: Adam Smith and the Sources of the Encyclopédie". En *The Adam Smith Review*, vol. 4, editado por Vivienne Brown, 181-206. Londres: Routledge, 2008.
- [24] Marx, Karl. *Miseria de la filosofía: respuesta a la filosofía de la miseria de Proudhon*. Buenos Aires: Siglo XXI, 1987.
- [25] Marx, Karl. *El capital*. Buenos Aires: Siglo XXI, 2013.
- [26] Meillassoux, Quentin. *Después de la finitud: Ensayo sobre la necesidad de la contingencia*. Buenos Aires: Caja Negra, 2015.
- [27] Moon, Francis. "Robert Willis and Franz Reuleaux: Pioneers in the Theory of Machines". *Notes and Records: the Royal Society Journal of the History of Science* 57, no. 2 (2003): 209-230. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2003.0207>
- [28] Moon, Francis. *The Machines of Leonardo da Vinci and Franz Reuleaux*. Nueva York: Springer, 2007.
- [29] Morton, Timothy. *Hiperobjetos*. Buenos Aires: Adriana Hidalgo, 2018.
- [30] Sandrone, Darío. "Elementos para una fundamentación y metodología de la educación tecnológica argentina en la Enciclopedia de Diderot". *Revista Argentina de la Enseñanza de la Ingeniería* 5, no. 10 (2016): 63-70.
- [31] Sandrone, Darío. "La especificidad del objeto industrial y la ontología de los objetos técnicos: acerca de los enfoques semánticos y sintácticos de la tecnología". *Quadranti: rivista internazionale di filosofia contemporanea* 4, nos. 1/2 (2016): 215-242. https://www.rivistaquadranti.eu/riviste/05/Sandrone_13.pdf
- [32] Sandrone, Darío y Pablo Rodríguez. "El ajedrez, el go y la máquina. El desafío de las plataformas para América Latina". En *Tecnología, política y algoritmos en América Latina*, editado por Andrés-Maximiliano Tello, 35-53. Santiago de Chile: Cenaltes, 2020.
- [33] Shigley, Joseph y Joseph Uiker. *Teoría de máquinas y mecanismos*. Ciudad de México: McGraw-Hill, 1988.
- [34] Simondon, Gilbert. *El modo de existencia de los objetos técnicos*. Buenos Aires: Prometeo, 2007.

- [35] Turing, Alan. "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem". *Proceedings of the London Mathematical Society* s2-42, no.1 (1936): 230-265. <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230>
- [36] Turing, Alan. "Computing Machinery and Intelligence". *Mind* 59, no. 236 (1950): 433-460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>