

LA LARGA HISTORIA DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Gerardo Menéndez¹
Guillermo Giucci²

RESUMEN: El artículo propone una revisión de nociones clave para la redefinición de las etapas del desarrollo tecnológico desde el inicio de la modernidad y su respectivo relacionamiento con los modos organizativos de la economía y el funcionamiento social. A través del rastreo histórico del origen y significado de conceptos como procesamiento de datos, información y computación, se devela que dichos términos, usualmente asociados al modo de producción inaugurado por el surgimiento de la computación electrónica a mediados del siglo XX, y luego de la inteligencia artificial en el XXI, son nociones nacidas en los albores de la era moderna, en los siglos XVI y XVII. Desde entonces jugaron un papel imprescindible en el surgimiento y la supervivencia de la sociedad industrial, así como en el trabajo humano asalariado, el sistema fabril y el descubrimiento de nuevos materiales y fuentes de energía. La solución de las necesidades relativas al procesamiento de datos y la computación representó desde el inicio del capitalismo mercantil un desafío tan vital al funcionamiento del industrialismo como los procesos productivos y distributivos basados en la materia, la quema de carbón e hidrocarburos y el esfuerzo muscular de animales y obreros.

Palabras clave: Modernidad; Tecnología; Datos.

THE LONG HISTORY OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION

ABSTRACT: The article proposes a review of key notions for the redefinition of the stages of technological development since the beginning of modernity and their respective relationship with the organizational modes of the economy and social functioning. Through the historical tracking of the origin and meaning of concepts such as data processing, information and computing, it is revealed that these terms, usually associated with the mode of production inaugurated by the emergence of electronic computing in the mid-twentieth century, and after with artificial intelligence in the XXI, are notions born at the dawn of the modern era, in the sixteenth and seventeenth centuries. Since then they played an essential role in the emergence and survival of industrial society, as well as in human wage labor, the manufacturing system and the discovery of new materials and energy sources. The solution of the needs related to data processing and computing represented since the beginning of commercial capitalism a challenge as vital to the functioning of industrialism as the productive and distributive processes based on matter, the burning of coal and hydrocarbons and the muscular effort of animals and workers.

Keywords: Modernity; Technology; Data.

¹ E-mail: gerar001@aol.com Orcid: <http://orcid.org/0000-0003-3470-5626>

² Doutor em Letras - Stanford University (1987). Atualmente é professor titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. E-mail: giucci@uol.com.br Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-8357-4194>

Introducción

Se suele definir la época que vivimos como la óera de la informaci33, óde los datos33, de lo ódigital33, una fase tecnológica con reglas diferentes, en la que impera cada vez más el mundo abstracto e intangible de los datos, del software y de los bits. Por oposici33, las revoluciones industriales en el sentido clásico son asociadas a fenómenos físicos tangibles. Así la historia habitual de las llamadas óprimera33 y ósegunda33 revoluciones industriales suele centrarse en el papel de invenciones mecánicas como la máquina de vapor o la línea de producci33, y en la explotaci33 de formas de energía como el carb33n, la electricidad o los hidrocarburos.

En este artículo se propone como ángulo alternativo la idea que el procesamiento de datos, la computaci33 y la informática son aspectos intrínsecos y definitorios de la modernizaci33 científica desde sus inicios en el siglo XVII, y de la industrializaci33 desde su primera fase en el siglo XIX. La producci33 sociológica predominante sobre la óera de la informaci33 se encuentra teñida por preocupaciones y supuestos propios del pensamiento social tradicional. Paralelamente, desde el ámbito de la tecnología, ha surgido una investigaci33 más versada en los aspectos técnicos e ingenieriles de la misma. A partir de esta perspectiva surge una narrativa alternativa sobre la industrializaci33, así como una definici33 sociológicamente más fértil de conceptos como ódato33 e óinformática33.

Como decíamos, las periodizaciones habituales del avance industrial se basan en distinciones técnicas referentes a los procesos de producci33 de bienes y servicios y las formas de energía utilizadas, con las consecuentes modificaciones económicas y sociales asociadas a ellas. En la era preindustrial, el trabajo era realizado principalmente por fuerza muscular humana o animal, y la fuente básica de energía era la bio-masa. La Primera Revoluci33 Industrial consistió en la mecanizaci33 -gracias a la invenci33 de la máquina a vapor- de actividades tales como la manufactura textil, se apoyó en el carb33n como fuente de energía, y significó enormes transformaciones sociales tales como el pasaje del tipo de producci33 rural a una centrada en el sistema fabril urbano.

La Segunda Revoluci33 Industrial designa al siguiente gran salto en productividad, impulsado por la energía eléctrica, la combusti33 de hidrocarburos y el motor de explosi33, así como la estandarizaci33, el carácter intercambiable de las piezas, la introducci33 de la línea de montaje y la automatizaci33 mecánica y electromecánica, que hicieron posible la producci33 masiva en serie.

Las ideas de una tercera y luego una cuarta órevoluciones industrialesô, además de las clásicas, y otras periodizaciones surgidas recientemente, como la óSegunda Edad de las Máquinasô, datan de inicios de este milenio. Pero se refieren a un cambio desarrollado a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, con la parcial excepción de la denominada ócuarta revolución industrialô, que sería asimismo en parte una expresión de la tecnología propia del tercer milenio.

En base a este tipo de definiciones se ha generado un debate sobre las periodizaciones centrado en aspectos descriptivos y trazos exteriores. Mientras las revoluciones industriales óclásicasô estarían pautadas por invenciones mecánicas y formas no renovables y contaminantes de energía, el nuevo régimen económico en la era de la información estaría determinado por la introducción del procesamiento de datos vinculado a la invención de la computación.

Aunque es común asociar la organización y manejo de los cálculos con el arribo de los ordenadores electrónicos, insistimos en que tal vínculo es insuficiente y no lleva en consideración el panorama más amplio de la modernización como computación. Campbell-Kelly et all (2014), al investigar la historia de la computación, mencionan que la palabra òcomputadorô (ordenador) es engañosa pues hasta la Segunda Guerra Mundial ella significaba una ocupación, y específicamente se refería a la persona que computaba y hacía cálculos. Por ello concluyen los autores que, aunque las personas generalmente suponen que el procesamiento de datos es un fenómeno del siglo XX, esto no es así, dado que el procesamiento de información podía ser hecho con o sin máquinas (CAMPBELL-KELLY, 2014, p. 10).

Examinamos en este artículo esa larga historia de la computación moderna, sin duda anterior al siglo XX, desde una perspectiva sociológica. Proponemos un análisis basado en el procesamiento de datos y la computación como aspectos definitorios de la industrialización y la modernización.

Modernización como computación

La ócomputaciónô -el procesamiento de datos y las operaciones rutinarias de cálculo destinadas a su análisis y su aplicación práctica- fue desde un inicio tan intrínseca al proceso de modernización, como las grandes invenciones mecánicas, las nuevas formas de energía y el trabajo fabril. Durante la era moderna, la investigación científica en sus más variadas ramas, así como la industria y la administración burocrática y financiera, pasan a exigir tablas y más

tablas para registrar y relacionar los crecientes océanos de datos que cada una de ellas requería.

Apoyada en la observación y la medición regulares del mundo, la computación surge como una necesidad inherente a la visión científica moderna. El cielo, la naturaleza y el cuerpo humano comenzaron a ser escudriñados metódicamente, ya no con fines místicos, religiosos o filosóficos, sino con objetivos prácticos y comerciales. La astronomía moderna se convirtió así en el campo dominante de investigación científica, y el primero en requerir acopio masivo de datos y cálculos a gran escala. Cuando Luis XIV creó en 1667 el primer observatorio astronómico moderno, estaba en juego la necesidad de elaborar mapas para la navegación marítima, en el contexto de la ambición francesa de expandir su comercio internacional. En este mismo marco de la investigación científica para fines prácticos, nacerían ciencias como la geodesia, la cartografía y la meteorología.

La era moderna y la propiedad privada a su vez trajeron consigo el desafío de medir la superficie de la tierra con el fin de crear mapas catastrales, con lo que surge la profesión de la agrimensura. Poco después surgirían la estadística y la teoría de las probabilidades. Revelador en este sentido es que el término *óestadísticaô*, introducido en 1749, se refería originalmente a la información acerca del estado (soberano). La estadística nace en el marco de la administración pública y se utiliza originalmente para los cálculos demográficos y económicos. Posteriormente la estadística se expande con la teoría de la probabilidad de Pierre-Simon Laplace (1749-1827) que se constituye en una herramienta para realizar predicciones útiles y realistas en áreas cada vez más amplias, que abarcan no sólo el mundo natural, sino la sociedad y el comportamiento individual.

Tales disciplinas responden a un requisito emergente: el registro constante de grandes volúmenes de datos y de cálculos destinados a relacionarlos y derivar predicciones. Al igual que *ócomputaciónô*, la palabra *ódatoô*, así como el sustantivo *ótablaô* y el verbo *ótabularô*, también provienen de esta época. Una tabla es un formato que organiza información en una matriz de filas y columnas, permitiendo el registro sistemático y comparable de información sobre cantidades de eventos. La tabla, y su unidad informacional, el dato, son instrumentos que nacen con la modernidad y se generalizan como modalidad de acopio, representación y análisis de información. En la actualidad, la *óbase de datosô* es incluso una mercancía en sí misma, que se ha convertido en la principal fuente de ganancias de las grandes corporaciones de la informática.

A lo largo del siglo XVIII irían aumentando las demandas en relación con la utilidad práctica del conocimiento científico. Organizar este conocimiento en tablas especializadas se

hacía menester no solamente en el ámbito de la astronomía, sino en muchos otros. En ningún campo del conocimiento esto era más evidente que en la navegación. La elaboración de tablas de navegación confiables adquirió por tanto una tremenda importancia para naciones marítimas como Gran Bretaña. Fue el gobierno británico el que desde 1766 se encargó de contratar astrónomos para que cada año se pudieran elaborar tablas de navegación. El Almanaque Náutico, conocido en la época como óla Biblia del naveganteô, mejoró notablemente la precisión de la navegación. Un elemento de destaque de la elaboración del Almanaque Náutico era su descentralización. Éste no se construía directamente desde un punto fijo, el Observatorio Real, con los especialistas agolpados en un recinto físico y realizando todas las tareas, sino por un número variado de computadores humanos, generalmente empleados jubilados y clérigos, desperdigados por Gran Bretaña.

Lo que se pretende señalar es que esta incipiente forma de generación de conocimiento, a partir de la observación regular de procesos naturales aplicados a necesidades prácticas, es un aspecto inherente al proceso de racionalización y modernización, y de consolidación del estado nacional y de la propiedad privada, que son condiciones previas al surgimiento de la industrialización. El registro permanente de mediciones numéricas sobre el mundo como fuente primordial no sólo de las decisiones políticas y tecnológicas, sino del funcionamiento más cotidiano y rutinario de la sociedad, es una novedad de la era moderna.

El método de la triangulación utilizado para medir distancias interplanetarias pasó a ser decisivo para la medición y demarcación de terrenos, con la consecuente exigencia de tablas trigonométricas. En Francia, el gobierno revolucionario de inmediato se propuso reformar muchas de las antiguas instituciones nacionales, en particular el sistema de impuestos sobre la propiedad. Dado que para tal objetivo eran necesarios mapas actualizados, se creó la Oficina de Catastro de Francia y como su primer director se designó al ingeniero Gaspard De Prony (1755-1839). Entre los cambios del gobierno revolucionario estaba la reforma del viejo sistema imperial de pesos y medidas. Ello acrecentaba tremendamente la dificultad de cualquier tarea de procesamiento de datos, ya que el conjunto de tablas decimales, conocidas como *tables du cadastre*, debía ser calculado en base al nuevo sistema métrico que el gobierno se empeñó en imponer.

De Prony enfrentó el titánico proyecto organizando una estructura piramidal de la división del trabajo como si se tratara de una fábrica y que tomó de los primeros capítulos del libro de Adam Smith, *The Wealth of Nations*. En el ápice de la pirámide se encuentra un puñado de matemáticos encargados de proveer las fórmulas analíticas a ser usadas en los cálculos. Debajo de ellos se encontraban siete u ocho ócalculadoresô entrenados en análisis

encargados de deducir a partir de estas fórmulas los números necesarios para comenzar los cálculos reales. Y en la base había entre sesenta a ochenta obreros computadores (muchos de ellos peluqueros o peluqueras que con la revolución habían perdido su trabajo con miembros de la aristocracia), conocedores solamente de los rudimentos de aritmética, encargados de ejecutar las millones de adiciones y sustracciones -no las operaciones más complicadas de multiplicación y división- e ingresar a mano los valores en planillas de papel, mecanismo computacional conocido como método de diferencias. En sí mismo no se trataba de una operación matemática, pese a la producción de tablas matemáticas. Sin embargo, se había logrado, seguramente por primera vez fuera de la manufactura o el contexto militar, aplicar una tecnología organizativa a la producción de información. A través de estos métodos de manufactura, como los denominaría De Prony, se completaron en 1801 dos copias de diecisiete volúmenes conteniendo las tablas manuscritas. A pesar de que este monumental esfuerzo nunca fue publicado y casi siquiera utilizado (el sistema métrico pronto quedaría en desuso y el grado de exactitud era excesivo para cualquier necesidad práctica), las tablas cumplieron el papel de monumento simbólico al poder de la razón.

¡Ojalá estos cálculos pudieran ser realizados a vapor (Charles Babbage)

En el libro *When Computers were Human* (2005) David Alan Grier profundiza en el hecho poco conocido de que el término computador/a se refería originalmente a una especialización profesional humana. Los computadores o computadoras eran personas, a las que se asignaba la tarea de, con la sola ayuda de lápiz y papel, registrar los datos y realizar la infinidad de cálculos rutinarios necesarios a lo largo y ancho de la actividad científica, tecnológica, fabril, burocrática, financiera y militar de la sociedad industrial.

La profesión de computadora humana o computador humano fue vital al proceso de industrialización y se extendió desde sus inicios hasta los años 1970s cuando comenzó a ser desplazada por las máquinas computadoras. A veces los computadores humanos eran personas con habilidad en algún área del cálculo mental, como la multiplicación o factorización de números muy grandes. En muchos casos eran personas con alguna forma de autismo o incapacidad social, pero con la capacidad de realizar velozmente complicados cálculos matemáticos. Debido a los salarios más bajos que era necesario pagarles, la profesión de computadora humana se fue convirtiendo en una tarea predominantemente femenina.

El matemático, economista e inventor Charles Babbage (1791-1871), a quien se le atribuye la invención de la primera computadora mecánica, se refirió en detalle al proyecto de

De Prony en su libro clásico, *On the Economy of Machinery and Manufactures* (1832), en particular en el capítulo 19, *On the Division of Mental Labour*. ¿Qué se podía hacer para eliminar los errores en el registro de las tablas y que amenazaban los resultados del arduo trabajo computacional? Babbage exaltó lo que para esa época era una idea revolucionaria: fragmentar o descomponer el trabajo intelectual en tareas de diversos grados de complejidad. Para ello aprovechó la idea de que la maquinaria podía hacerse cargo por completo de los trabajos de las computadoras no calificadas.

Tal idea era concebible porque en la época de Babbage despuntaba en las fábricas la posibilidad de la producción masiva mecanizada. No era aún el caso cuando tres décadas antes de Prony había concebido la elaboración de tablas usando principios de producción en masa que implicaba la organización del trabajo intensivo y la producción exclusivamente manual. Eso le permitió a Babbage orientarse hacia la idea de una máquina de producción de tablas, que además debía evitar los típicos errores humanos. El método de diferencias era el mismo utilizado por de Prony para la elaboración de tablas, y por ello Babbage denominó su invención Máquina Diferencial (Difference Engine). Pero además de la mecanización, diseñó una máquina de imprimir, convencido como estaba que gran parte de los errores en las tablas no se generaba durante el cálculo sino durante la impresión.

Miembro destacado de la aristocracia científica inglesa, Babbage fue un polímata apasionadamente dedicado a los acuciantes problemas relacionados a la implementación del nuevo sistema industrial. Así, se dedicó a los más dispares proyectos que van de la investigación académica en física y astronomía, hasta la invención de piezas para locomotoras. Tomando la posición de los industrialistas dentro del debate intelectual, Babbage favorecía la postura de priorizar la solución de los principales obstáculos a la eficiencia del funcionamiento del modelo industrial, dentro de los cuales resaltaba el que es tema de estas páginas, es decir el problema de la computación, en el sentido de aquellas tareas relativas al registro, almacenamiento y análisis de datos requerido por las diversas áreas del funcionamiento de la sociedad moderna e industrial. En la década de 1820, recorrió las fábricas de Europa en busca de la tecnología más moderna que le permitiera construir su Máquina Diferencial y se convirtió en el mayor conocedor de métodos de manufactura de su época. No sorprende por tanto que a Babbage lo leyeran y citaran pensadores en el área de la economía política, como Karl Marx y John Stuart Mill.

Precisamente, el problema concreto que, en la propia versión de Babbage, motivó inicialmente su monumental esfuerzo de inspiración que lo llevó a concebir lo que hoy se entiende como una máquina computadora, se dio cuando la Astronomical Society le

encomendó el perfeccionamiento del Almanaque Náutico. Ante la dificultad de controlar y reducir discrepancias y errores decurrentes del carácter rutinario de las actividades realizadas de forma manual por parte de trabajadores humanos no calificados, y de incrementar la velocidad de tales tareas, Babbage tuvo por primera vez la idea de sustituir el trabajo de estos últimos por el de máquinas.

Como parte de tales esfuerzos de automatizar las operaciones lógicas, Babbage ideó una máquina mecánica que calculaba tablas de funciones numéricas por un método de diferencias que, tras casi dos décadas de trabajo, solo llegó a construir en forma de pequeño prototipo. Aunque tal prototipo (que hasta hoy funciona perfectamente y puede verse en el London Science Museum) indicaba que el concepto era factible de ser desarrollado, con la tecnología disponible en la época no resultó posible construir la máquina calculadora, que exigía enormes sumas de dinero y una perfección mecánica fuera del alcance de los ingenieros.

La obra de Babbage representa el ápice de un período de búsqueda por inventar herramientas para realizar operaciones lógicas, que se venía gestando desde inicios del siglo XVII con las investigaciones de John Napier, Wilhelm Schickard, Blaise Pascal y Gottfried Wilhelm Leibniz. Pero todos estos modelos, incluida la máquina diferencial de Babbage, no se ajustaban aún a la definición de una máquina computadora, en el sentido de que solo eran capaces de ejecutar el tipo específico de tarea para el que habían sido diseñadas.

Babbage se arrojó a un salto cualitativo histórico cuando se propuso diseñar una máquina que denominó *“Máquina Analítica”* y cuyas instrucciones debían ser modificadas a través de *“programas”* registrados en tarjetas perforadas e intercambiados para la realización de diferentes tareas. El sistema de tabulación por medio de tarjetas perforadas ya estaba siendo usado en la manufactura textil para reconfigurar las instrucciones de los telares automáticos de modo que pudiesen ejecutar diversos patrones de tejido. Babbage tomó esta idea pero la superó en el sentido de que la máquina analítica puede no solo leer las instrucciones y los datos que le son alimentados, sino hacer nuevas perforaciones en las tarjetas alterando sus propias instrucciones, una circularidad esencial de la definición de una máquina computadora.

No es posible profundizar aquí en el papel jugado en la génesis de la computación moderna por Ada Lovelace (1815-1852), la única hija legítima de Lord Byron que sería una estrecha interlocutora y colaboradora de Babbage en su trabajo sobre computación mecánica. Lovelace, una niña prodigio en su avidez por el conocimiento, en particular las matemáticas, habría escrito un programa o *“software”* para la máquina de Babbage, por lo que es

generalmente considerada como la primera programadora de computadores de la historia. Más allá de la precisión histórica de esta afirmación, sobre la que existe cierta polémica, y aún más relevante para nuestro asunto, la contribución indudable de Lovelace fue concebir la potencialidad de la máquina de Babbage para representar y manipular cualquier tipo de símbolos.

Electrotecnia y procesamiento de datos en la Segunda Revolución Industrial

Hasta aquí hemos estado hablando básicamente de la etapa histórica que va desde los inicios de la modernización en el siglo XVII hasta la época de Charles Babbage, figura crucial de los esfuerzos modernos por aplicar el potencial de la ciencia al mundo real. Este período es generalmente designado como óprimera revolución industrialô, ocurrida en Inglaterra desde mediados del siglo XVIII, y principalmente asociada con la invención de la máquina de vapor y con la explotación del carbón mineral como fuente de energía.

En las descripciones usuales de este período no suelen resaltarse de la misma manera los problemas y progresos relativos a las necesidades de procesamiento de información, que implicaba grandes proyectos de registro y cálculo (tablas, mapas, almanaques) llevados adelante por los gobiernos. De modo semejante, la segunda revolución industrial es usualmente descrita en tanto relacionada a la aparición de fuentes de energía (la electricidad y poco después los hidrocarburos) desde fines del siglo XIX, que harían posible en Estados Unidos y partes de Europa nuevas formas de producción, comunicación y transporte. Se suele hablar así de la importancia de la aparición de las redes ferroviarias, de la siderurgia, la industria química, de la producción en serie, de la aparición del motor de explosión y el automóvil.

Ya mencionamos que las dos primeras revoluciones industriales suelen ser concebidas a través del mundo de lo tangible, de la energía y la materia. Mucho menos considerados han sido los aspectos relativos a la esfera del procesamiento de información y su papel en el funcionamiento y avance de la sociedad industrial. Mientras en la modernidad temprana y durante la primera revolución industrial esas necesidades eran de nivel general y atañían al Estado, a partir de fines del siglo XIX el trabajo de computación se hace obligatorio para el funcionamiento empresarial, económico y social a niveles cada vez más capilares.

La electricidad provocó una enorme aceleración de la demanda por soluciones al problema de la computación y el procesamiento de datos. Al mismo tiempo, proporcionó

renovadas posibilidades para resolver tales requerimientos. La década de 1880, vio una explosión de múltiples fuentes que dependían del procesamiento de información.

En el transporte ferroviario, infinidad de pequeñas compañías locales se unieron ahora en redes de alcance nacional, e incorporaron compañías de minería y siderúrgicas que les suministraban carbón y acero, convirtiéndose en corporaciones verticalmente integradas, con las consecuentes necesidades logísticas y de administración burocrática y financiera. Surgen asimismo en esta época los sistemas de subterráneos y tranvías urbanos. Los sistemas de automatización de los flujos ferroviarios, basados ahora en sistemas eléctricos de semáforos y desvíos automáticos, ejercen por supuesto crecientes demandas de registro estandarizado y de cálculo logístico.

Desde nuestro sentido común actual, habituado a la automatización, no se suele pensar que cada llegada y partida de un tren a una estación, cada pequeño depósito de un cheque bancario, cada pequeña operación aritmética necesaria para el diseño de una locomotora o un remolcador, y cada minúsculo dato que fue necesario para el desarrollo de la modernidad y la industrialización hasta este punto, tuvieron que ser realizados por un lápiz sobre un papel por la mano de alguien. Cuando se piensa en el abismal número de horas de agobiantes y aburridas tareas de computación que las cortas décadas de la industrialización habían demandado de malos clerks en bancos, laboratorios, bureaus de cálculo y contabilidad, se comienza a tener una idea más clara de la dimensión y de los problemas asociados a esta incipiente esfera de lo social.

Las monótonas tareas que un moderno funcionario, por ejemplo bancario, tenía que realizar a lo largo del día, así como el tedio y alienación asociados con tales tareas repetitivas, conforman un tipo de problemática que ya había preocupado a De Prony y Babbage. Ambos intentaron mejorar las condiciones técnicas para el funcionamiento más eficiente de la empresa y de la sociedad industrializada.

La monotonía y el aburrimiento inherentes al trabajo de computación, la anónima tarea de hacer sumas y restas durante todo el día, en algún banco u oficina de contabilidad, o de anotar en interminables planillas los registros en alguna estación meteorológica, era una cuestión relevante para los grandes saltos dados hacia la tecnología informática. En el siglo XIX, como vimos en los casos de De Prony y Babbage, el proceso automático de información había estado directamente motivado por la búsqueda de eficiencia. En su extensión y profundidad, se trataba de una experiencia novedosa para esta época. Cada vez a un mayor número de asalariados les tocaba sentarse en los *bureaus de calcul* o los *computer rooms*. Eran espacios completamente desencantados, típicamente ocupados por mujeres jóvenes

ubicadas en hileras rectilíneas estrictamente vigiladas y prohibidas de conversar o mirar hacia los costados por un segundo nivel de supervisores también comúnmente del género femenino. La estructura de división y de disciplina piramidal del trabajo intelectual no calificado propuestas en su momento por De Prony y Babbage, se torna progresivamente usual en cualquier empresa o institución científica en el mundo industrializado.

A fines del siglo XIX, se produce un salto cualitativo en la historia del procesamiento de datos. Uno de los sectores donde se manifestó poderosamente la presión por el procesamiento de datos fue en la administración burocrática. Es en esta época que se acelera el proceso de agregación e integración vertical de la empresa capitalista, con el desarrollo de las sociedades anónimas y las corporaciones, así como de la emisión de títulos de deuda pública para financiar proyectos masivos de infraestructura.

El sistema bursátil y la moderna industria financiera, un sector casi puramente óvirtualô o informacional, implican un enorme aparato contable y burocrático y demandan constantes tareas de cálculo rutinario. Seguramente no es casual que una de las principales invenciones de las que estamos hablando, la máquina de sumar, fuera obra de un joven empleado bancario, William Seward Burroughs. Luego de sufrir por cinco años las inclemencias inherentes a la monótona tarea de hacer sumas y restas durante todo el día, Burroughs sufrió un quebranto de salud y abandonó su trabajo regular para dedicarse a la invención de una máquina capaz de facilitar los cálculos aritméticos elementales.

Conocido como óaritmómetroô, la historia de la máquina de sumar se remonta al año 1694, cuando Leibniz construyó una máquina calculadora capaz de realizar las cuatro operaciones básicas (sumar, restar, multiplicar, dividir). Esta máquina sería posteriormente desarrollada y patentada por Charles Xavier Thomas de Colmar. Cuando Burroughs a fines del siglo XIX introduce su máquina sumadora, ésta era más fácil de construir y menos costosa, permitiendo una utilización comercial de gran alcance. El proceso de comercialización del perfeccionado óaritmómetroô derivó, gracias al talento y agresividad de Burroughs en los negocios, en el ascenso de su pequeña *Burroughs Adding Machine Company* hasta convertirse en la casi monopólica *Burroughs Adding Machine Company*, con más de 100.000 usuarios hacia 1910.

Otro aspecto relevante en esta época es la necesidad de sincronización de los procesos no solo tecnológicos sino organizacionales a nivel de la sociedad en general. En comparación con épocas previas, durante la segunda revolución industrial se dio un salto en la obligación de coordinación de los procesos de funcionamiento productivo y social. Los cambios en la organización son inevitables cuando el requisito de coordinar la multiplicidad

de actividades se torna una exigencia de la producción y la administración. En la sociedad urbana, con el desarrollo de la gran industria y la gran burocracia, cada vez más todo tiene que coincidir con todo. Por ejemplo, con el acrecentamiento de las redes ferroviarias y con la complejidad de la producción y de la sociedad, la precisión horaria en la llegada y salida de los trenes adquiere una importancia crucial. Cada tren debe arribar a una hora precisa no solo para evitar accidentes sino para que los pasajeros o las cargas estén a tiempo para coincidir con otros transportes y con horarios estandarizados en fábricas y oficinas.

El *timestamping*, la práctica de grabar marcas temporales de forma consistente, es hoy un fenómeno ubicuo y esencial de prácticamente cualquier actividad cotidiana. Cada mensaje de email tiene asociadas una hora exacta de envío, cada transacción, cada llamada telefónica, es de igual manera marcada, cada carta que pasa por el correo, cada producto en el mostrador del supermercado recibe un sello, una secuencia de caracteres que denotan la hora y fecha (o alguna de ellas) en las que ocurrió determinado evento. El *timestamping* es esencial a la propia lógica de la tecnología de la computación y la programación digital.

Pero esta faceta del procesamiento de datos, como las otras que hemos analizado, no es exclusiva de la era digital o de la información, sino que irrumpe con el proceso de modernización e industrialización y debía ser solucionada de manera manual. La expansión explosiva de la complejidad social a fines del siglo XIX hace cada vez más forzoso el registro automatizado. Las grandes industrias que emplean a miles de obreros requieren un sistema automático de registro diario de la hora exacta de entrada y salida de cada uno de ellos.

También a fines del siglo XIX se patentó el reloj de fichar o ómáquina de marcar tarjeta, que se usa para registrar la hora exacta de entrada y salida de empleados en fábricas y oficinas. Willard Le Grand Bundy seguramente perfeccionó modelos anteriores y en conjunto con su hermano Harlow, fundaron en 1891 la Bundy Manufacturing Company, que masificó el reloj de fichar. Una década después se fusionó con otras dos compañías de fabricación de equipos de medición del tiempo para formar la International Time Recording Company. En 1911, esta compañía se amalgama con otras dos compañías, formando una quinta compañía, Computing-Tabulating-Recording Company, que posteriormente, en 1924, cambiaría su nombre para International Business Machines Corporation (IBM).

A fines del siglo XIX se hacen más acuciantes también demandas de procesamiento de información que remontan a los inicios de la modernización, como el registro metódico de grandes masas de datos. Ya mencionamos que los observatorios astronómicos, laboratorios científicos, estaciones meteorológicas, oficinas de información estadística, requerían ingentes

tareas de tabulación. Tales tareas se realizaban de manera manual con los consiguientes costos en errores y lentitud.

La Constitución de los Estados Unidos exigía la realización de un censo general cada 10 años, requerimiento que se venía cumpliendo cada vez con mayor dificultad dado el explosivo crecimiento poblacional, en parte a causa de la inmigración. Con los métodos manuales usados, el procesamiento de los datos del censo de 1880 mal había finalizado cuando se debía realizar uno nuevo en 1890. Era urgente la creación de una forma de automatización que acelerara el registro de los datos. Quizás no sea casual, una vez más, que la invención destinada a la tabulación automática de datos proviniera de profesionales empleados en tales tareas. En 1890, Herman Hollerith (1860-1929), un ingeniero contratado como estadístico en la Oficina del Censo de los Estados Unidos, patentó una máquina electromecánica de tabular basada en el uso de tarjetas perforadas. Un precoz talento matemático y científico, que con solo 19 años se graduó como Ingeniero de Minas, por la Universidad de Columbia, Hollerith inventó la máquina tabuladora que sería usada por el gobierno estadounidense para procesar el Censo de 1890, acortando el conteo significativamente.

El tabulador de 1890 sólo era capaz de contar. Los modelos subsiguientes, desarrollados por el mismo Hollerith, ampliaron su alcance a las aplicaciones de contabilidad, almacenamiento y envío. En 1896, Hollerith fundó la Tabulating Machine Company. Entre 1902 y 1905, Hollerith desarrolló una alimentación automática de tarjetas y un método para leer tarjetas en un formato estandarizado. Como sucedió con los hermanos Bundy, en 1911 la Tabulating Machine Company se fusionó con otras compañías para crear la Computing Tabulating Recording Corporation, que luego sería conocida como International Business Machines Corporation (IBM).

Otro elemento de la segunda Revolución Industrial que implicó renovadas demandas de procesamiento informacional es el control del proceso industrial. El advenimiento de la tecnología de la electricidad hace posible, y a la vez imprescindible, la automatización electromecánica de las tareas industriales. El surgimiento de las grandes siderúrgicas y la industria química y petroquímica, así como la mecanización de la manufactura y el sistema de producción en línea, abrieron una vertiente de la ingeniería dedicada a formalizar la lógica de control de los mecanismos electromecánicos de automatización industrial.

La industrialización es aquella fase del proceso de modernización en que aflora la automatización. El elemento definitorio de lo industrial es la presencia de un motor, un *prime mover*, una causa primera del movimiento. No existe unidad de producción automática sin por

lo menos un autómata, un aparato mecánico capaz de ser la causa primera del movimiento. Y no existen autómatas sin algún sistema de causación circular que proporcione auto-corrección, comportamiento estable y controlado. Ese mecanismo a lo largo de la primera revolución industrial lo fue un simple aparato mecánico, el gobernador centrífugo. Un aparato desarrollado de forma intuitiva, por ensayo y error, desde el siglo XVII. Por lo tanto, así como ócomputaciónô, ódatoô o óalgoritmoô no son realidades propias de la segunda mitad del siglo XX, sino de la modernización racional como un todo, lo que en la llamada ãera de la informaciónô se comenzó a llamar ócibernéticaô, y lo que pasó a llamarse órobóticaô, son realidades definitorias de la modernización y la industrialización desde sus inicios.

Se recorta aquí la problemática de la retroalimentación, de la circularidad causal entre variables dentro de un sistema dinámico. Una problemática que hasta este punto se había resuelto a través de la óingeniería intuitivaô de ensayo y error, y que recién a fines del siglo XIX se constituye en un nuevo campo de las matemáticas y la ingeniería. En esta época se concibe la óteoría del controlô, inaugurada por el artículo del físico y matemático británico James Clerk Maxwell (1831-1879), óOn Governorsô, publicado en 1868 en los Proceedings of the Royal Society. Se trata de un texto de difícil comprensión, compuesto básicamente de fórmulas matemáticas, que por primera vez formaliza matemáticamente el problema del control de sistemas dinámicos.

La electricidad juega un papel fundamental en este período. No apenas como una nueva fuente de energía, sino como medio de transmisión de señales y de conexión o ósistema nerviosoô de cada vez más complejos mecanismos de automatización de sistemas mecánicos. Es el inicio de la tecnología electromecánica. Los circuitos eléctricos de control comienzan a ser representados a través de diagramas, en los que los interruptores y relés operan de hecho como ópuertas lógicasô que vinculan estructuras de cableado y procesos dinámicos de control automático. Así como ócomputaciónô no es un concepto de la óera informacionalô, sino un requisito intrínseco a la propia era moderna e industrial, la automatización, la tecnología electromecánica, la órobóticaô y la ócibernéticaô -aunque no con esos nombres- son cuestiones esenciales del proceso iniciado con simples mecanismos de automatización a principios de la primera revolución industrial.

Conclusión

El procesamiento de datos y la computación no suelen ser mencionados en las descripciones históricas de la modernización y de las dos revoluciones industriales clásicas

del siglo XIX. Más bien, tales aspectos son generalmente señalados como definidores de la era de la información que incluye la tercera y la cuarta revoluciones industriales. En este artículo se planteó la idea de que el procesamiento de datos fue el común denominador del proceso de racionalización. El problema del registro y el almacenamiento, el análisis y la derivación de predicciones sobre el mundo a partir de grandes masas de datos desde un principio se convirtió en una necesidad tan imperiosa como la obtención de fuentes de energía y el desarrollo de sistemas mecánicos de manufactura, o la explotación del trabajo asalariado para el avance del proceso de industrialización.

REFERÊNCIAS

- BYNUM, William. *A Little History of Science*. New Haven: Yale University Press, 2012.
- CAMPBELL-KELLY, Martin et al. *Computer. A History of the Information Machine*. Philadelphia: Westview Press, 2014.
- COWAN, Ruth Schwartz. *A Social History of American Technology*. New York: Oxford University Press, 1997.
- DASTON, L. Enlightenment Calculations. *Critical Inquiry*, v. 21, n. 1, p. 182-202, Autumn, 1994.
- FUEGI, J; FRANCIS, J. Lovelace. Babbage and the Creation of the 1843 “Notes” *IEEE Annals of the History of Computing*. IEEE Computer Society, 2003.
- GIEDION, Siegfried. *La Mecanización Toma el Mando*. Barcelona: Gustavo Gili, 1978.
- HOUNSHELL, David A. *From the American System to Mass Production, 1800-1932. The Development of Manufacturing Technology in the United States*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1985.
- RIFKIN, Jeremy. *La Tercera Revolución Industrial*. España: Paidós, 2011.
- ROSENBERG, Nathan. Babbage: pioneer economist. En: <https://projects.exeter.ac.uk/babbage/rosenb.html> (visto el 29/04/2019).
- SCHWAB, Klaus. *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, 2016.

Enviado em: 07 de fevereiro de 2020.

Aceito em: 04 de maio de 2020.