



RIDAA
Repositorio Institucional
Digital de Acceso Abierto de la
Universidad Nacional de Quilmes



Universidad
Nacional
de Quilmes

Brain, Robert M.

Representación en línea : los instrumentos de registro gráfico y el modernismo científico



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

Brain, R. M. (2008). *Representación en línea: los instrumentos de registro gráfico y el modernismo científico*. *Redes*, 14(28), 147-173. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/463>

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

REPRESENTACIÓN EN LÍNEA: LOS INSTRUMENTOS DE REGISTRO GRÁFICO Y EL MODERNISMO CIENTÍFICO

ROBERT M. BRAIN*

RESUMEN

El presente trabajo esboza una genealogía alternativa para dar cuenta del cambio epistemológico y técnico que supuso el pasaje de la energía a la información. El surgimiento del método del registro gráfico en el siglo XIX sienta las bases para la representación y cálculo analógicos del siglo XX y para la invención de la computadora. En ese sentido, el análisis de líneas de transmisión diferentes de las estandarizadas en la historia de las ideas permite revisar nociones sobre la “era de la información”.

PALABRAS CLAVE: MEDIOS TÉCNICOS – REPRESENTACIÓN GRÁFICA – COMPUTADORA.

Hacia el *fin-de-siècle* francés, el fabulador de la neociencia Alfred Jarry (1996: 98-99) relataba en sus *Gestas y opiniones del doctor Faustroll, patafísico*, la perplejidad de *monsieur* René-Isodore Panmuphle, alguacil a cargo del procesamiento de Faustroll por oscuras irregularidades, cuando en el curso de la investigación descubrió un manuscrito que contenía una única línea que, según pensaba el acusado, representaba un pequeño fragmento de lo Bello y de lo Verdadero en todo arte y ciencia, “lo que equivale a decir la totalidad”. Después de superar las interrupciones provocadas por “la monótona locuacidad de un mandril”, Panmuphle se topó con la solución. Recordó una proposición del matemático inglés lord Kelvin, citado por William Thomson, el gran científico escocés con el que Faustroll afirmaba estar en comunicación telepática. Según recordó Panmuphle, el matemático británico A. Cayley (1821-1895) aseguraba que “una simple curva trazada con tiza sobre un pizarrón de dos metros y medio de largo puede detallar todas las atmósferas de una estación del año, todos los casos de una epidemia, todos los regateos de los calceteros de cada pueblo, los fraseos y las alturas de todos los sonidos de todos los instrumentos y de todas las voces de

* Universidad de Columbia Británica.

El autor agradece a P. Galison, A. Lant y R. Staley por sus comentarios. Nota: se usan como sinónimos los términos “instrumentos de registro gráfico”, “instrumentos de autorregistro”, “método gráfico” y “dispositivos de registro automático”.

cien cantantes y doscientos músicos, junto con las fases correspondientes a la posición de cada espectador o participante que el oído es incapaz de aprehender". Según le pareció al asombrado Panmuphle, el viejo Faustroll aprehendió la totalidad bajo la forma de una curva "grabada... en las dos dimensiones de una superficie negra" (Jarry, 1996: 98-99). Jarry dedicó su lúdica parodia a su amigo, el crítico de arte Felix Fénéon, quien con gran habilidad había defendido tales ideas que guiaban las técnicas de sus amigos pintores Georges Seurat y Paul Signac. Sin embargo, su sátira también apuntaba a un imaginario científico más serio, en el que los científicos líderes promovían el método gráfico consistente en representar curvas registradas automáticamente como "el lenguaje de los fenómenos mismos" o el "lenguaje universal de la ciencia". En los enunciados de sus más ardientes promotores, tales como el fisiólogo francés Etienne-Jules Marey o el ingeniero Ernest Cheysson, los dispositivos de registro gráfico aparecían no solo como un efectivo método de laboratorio, sino que se transformaron en la técnica primaria de la comunicación universal, "perfectamente adecuada para esta era de vapor y electricidad" (Cesión, 1878: 330). Quien fue uno de los más conocidos representantes del método gráfico, Marey, era tan solo una voz entre muchas. Cuando el psicólogo norteamericano G. Stanley Hall escribía desde Berlín en 1879 para los lectores de *The Nation* en los Estados Unidos, se refería a una revolución en la comunicación científica prácticamente completada. En Europa, escribía Hall, "el método gráfico se está transformando rápidamente en el lenguaje internacional de la ciencia". En Alemania, agregaba, por su método lógico había revolucionado ciertas ciencias, y en uno o dos casos había transformado las aulas universitarias en una suerte de teatro en donde las pizarras con gráficos conformaban la escenografía, cambiaban diariamente con los temas, mientras el catedrático se ocupaba sobre todo de describir sus curvas e instrumentos y de dar señales a los asistentes para que oscurecieran la sala, hicieran explotar gases, lanzaran luces eléctricas y rayos de sol sobre espejos o lentes, o generaran sonidos armónicos según fuera el caso (Anónimo, 1879).

Esta era la coreografía predominante en la educación científica de toda una generación de europeos. Muchos de ellos llevaron más lejos esta articulación, tanto como método científico cuanto como imaginario. Walter Rathenau (1912), por ejemplo, quien obtuvo un doctorado en física en Berlín antes de embarcarse en su carrera de industrial y hombre de Estado, describía el método gráfico en términos más abstractos como el "método de los flujos" y lo caracterizó como la episteme predominante de su época.

Efectivamente, la introducción del método gráfico en el siglo XIX efectivamente dividió el mundo en distintos campos disciplinarios, cada uno con sus propios analistas o expertos que aprendían, memorizaban y llevaban consigo su propia "biblioteca mental de curvas" cuyo dominio definía su específica compe-

tencia en la materia (cf. Ferguson, 1992). Los especialistas entregaban su cosecha de representaciones gráficas no solo a los mercados del intercambio disciplinario (revistas, conferencias, textos), sino también al dominio público más amplio, aquello que Marey (1878) llamaba el *oeuvre commun* de la ciencia. En esas versiones, el método gráfico servía para implementar una fantasía en la cual los instrumentos de registro automático habrían de generar un vasto espacio heterotópico de inscripción que desplazaría el lenguaje y lo reemplazaría con formas mecanizadas del pensamiento y la comunicación (cf. Foucault, 1986: 24-26). Los datos gráficos de los laboratorios, las fábricas, las máquinas, los hospitales, los relojes marcadores y los estudios demográficos habrían de verterse en ese espacio generando un “paisaje de curvas” (*Kurvenlandschaft*) que Jürgen Link (1997) ha descrito como un elemento permanente de la vida moderna.

Para Marey y otros promotores del método gráfico, el principal enemigo de la comunicación científica tenía un nombre: el lenguaje. Del mismo modo que la “monótona locuacidad del mandril” distraía al Panmulphe de Jarry en sus intentos de descifrar la curva de la totalidad, Marey desaprobaba la preeminencia cultural del lenguaje y sus efectos sobre la ciencia. “Nacido antes de la ciencia”, escribía Marey (1878: iii), “y no habiendo sido creado para ella, el lenguaje a menudo es inapropiado para expresar medidas exactas y relaciones bien definidas” (*ibid.*). Marey consideraba que la era científica había vuelto obsoleto el lenguaje. Por lo tanto, “es indudable que la forma gráfica de la expresión habrá de sustituir tarde o temprano a todas las demás, toda vez que actúa para definir un movimiento o un cambio de estado, en una palabra, un fenómeno de todo tipo”. En lugar de la discusión oral o escrita, Marey (1878: vi) imaginaba la comunicación científica o técnica como un mutuo intercambio en el que las inflexiones de las curvas registradas mecánicamente imponían coincidencia o disenso de manera similarmente automática. En este sistema más o menos centralizado de comunicación, el intercambio de dichas curvas produciría un fluido intercambio disciplinario de resultados experimentales más allá de las fronteras institucionales, internacionales y en última instancia, disciplinarias. Invocaba el ejemplo de la meteorología, que estaba organizada desde antaño a través de la colaboración internacional.

Para Marey, la condición de posibilidad del método gráfico como un medio simple, claro y universal de intercambio científico derivaba no solo de su claridad lógica, sino ante todo de su capacidad de inscribir, y con ello representar, el trabajo mecánico o la energía. Una y otra vez, Marey explicaba cómo el registro gráfico servía como una piedra angular experimental de gran parte de la ciencia, incluyendo la emergente visión del mundo basada en la termodinámica. A diferencia del cálculo, que solo podía proveer una medida del trabajo o de la energía en aquellos casos ideales donde se conociera la masa a ser movida y la naturaleza

del movimiento impartido, la curva autorregistrada proveía esa medida directamente, tal como se desplegaba en el curso de su movimiento. De hecho, anotaba Marey, la primera persona en usar el método gráfico de esta manera fue nadie menos que James Watt, el inventor de la máquina de vapor, cuya técnica había sido perfeccionada por una generación de ingenieros mecánicos como una medida de la fuerza motriz de las máquinas. La inscripción del trabajo cobraba sentido en virtud de que se presumía una analogía entre todas las fuerzas físicas. Dicha analogía proveía un sólido fundamento ontológico para que el gráfico pudiera transformarse en el lenguaje universal de la ciencia como también en un emblema de la energía misma. A muchos científicos, especialmente aquellos que practicaban las nuevas disciplinas de la psicofísica, la psicología experimental o la lingüística, el empleo práctico del método gráfico como una moneda de cambio universal los llevó a inquirir en una nueva concepción del sujeto en tanto transductor de señales gráficas. Ferdinand de Saussure planteó al sujeto como un efecto del sistema del lenguaje, lo que significaba en primera instancia un receptor, transductor y emisor de señales acústicas vibratorias. Gabriel Tarde amplió esta perspectiva, argumentando que “nuestros sentidos nos brindan, cada uno de ellos de acuerdo con su especial punto de vista, una estadística del universo exterior. Su propia percepción consiste, por así decirlo, de tablas gráficas particulares. Cada sensación, color, tono, gusto, etcétera no es sino un número, una colección de innumerables medidas de vibración, repetidas como un todo por una única figura” (Tarde, 1891: 150-151). En el otro extremo de Europa, el trabajo de Ernst Mach (1900: 17) en psicofísica lo llevó a concluir, de manera similar, que el sujeto epistemológico se disuelve irrecuperablemente en los elementos mecánicos (sonidos, colores, temperaturas, presiones, espacios, tiempos y sensaciones de movimiento) que se experimentan como sensación. “El Yo es insalvable” (“*Das Ich ist unrettbar*”), concluye Mach sin ningún sentimentalismo (cf. Porter, 1994; Kobry, 1986).

Si la noción del sujeto irrecuperable se transformó en una fuente de angustia para algunos, otros celebraron la afirmación de que acaso fuera reemplazable (*unrettbar, aber doch ersetzbar*) por un nuevo tipo de máquina universal. Ya en su artículo de 1879, Hall refería que los científicos, impresionados por la capacidad del método gráfico para reducir todo conocimiento en movimiento en el tiempo y el espacio, habían llegado a vaticinar “la realización de una máquina universal autocorrectora, autogobernada, autorreproductora, autocognoscente” (Hall, 1879: 23).

Durante muchas décadas, este vaticinio no fue sino un fulgor fantástico en la mirada de algunos científicos, y pasto para supercherías como la de Jarra. Sin embargo, después de 1918 ese imaginario europeo se arraigó firmemente en suelo norteamericano, donde se embarcó en una acelerada trayectoria a través de servomecanismos y máquinas automatizadas hacia su realización en varias series

de analizadores diferenciales de gran escala y en las computadoras analógicas de las décadas de 1930 y 1940. Alentado por estos logros de la ingeniería técnica, surgió un nuevo movimiento científico, la “cibernética”, que buscaba unificar una variedad de disciplinas técnicas a través de un tratamiento más riguroso y matemáticamente más sofisticado de la curva gráfica, que usaba innovaciones en el análisis armónico. En manos de Norbert Wiener, Arturo Rosenblyueht, John von Neumann y tantos otros, el foco pasó del referente al significante, de la energía representada por la curva a la onda gráfica misma como *mensaje*. “La idea unificadora de estas diversas disciplinas,” escribía Wiener (1948), “es el MENSAJE y no un aparato especial que actúe sobre los mensajes” (Heims, 1993). El intento del siglo XIX de crear un modelo universal de ciencia de la energía se transformó en una ciencia universal de la comunicación y el control. La característica definitoria de la inminente “era de la comunicación y el control”, escribía Wiener (1961: 39), que la diferenciaba de la “era de las máquinas a vapor” o de la “ingeniería eléctrica”, consistía en que “el interés principal reside no en la economía de la energía, sino en la reproducción precisa de la señal”.

El presente trabajo esboza ese movimiento que va de la energía a la información a través de la óptica del método gráfico. Pretende ser una contribución al revisionismo cada vez más extendido de la computadora y la “era de la información”, no bajo la forma de una historia estrictamente lineal o abarcadora, sino a través de apuntes para una genealogía alternativa, en algunos casos derivada de fuentes poco habituales, que traza líneas de transmisión diferentes de aquellas que aparecen en los relatos consagrados en la historia de las ideas y la historia de la ingeniería o de la organización de empresas.¹ Por cierto, el presente acercamiento se aboca a otras series de instrumentos y a una tradición intelectual diferente, específicamente a aquella que en el siglo XX se conoció como representación y cálculo analógicos. Esta genealogía se ha vuelto necesaria por la predominante historia moral que sostiene nuestras hipótesis sobre el surgimiento de una era de la información. El presente ensayo busca trazar algunos lineamientos de una mirada alternativa y llamar la atención sobre el trabajo de aquellos que han dado lugar a que este enfoque sea concebible (Edwards, 1996; Kittler, 1990; Mattelart, 1995).

ONTOLOGÍA DE LA IMAGEN GRÁFICA

Alrededor del año 1800, una nueva especie de instrumento científico hizo su aparición en los gabinetes de los filósofos naturales, anunciado por un nuevo

¹ Cf. Nietzsche en *Zur Genealogie der Moral* y Foucault (1992).

marcador semántico. Aparte de los sufijos ya establecidos para los aparatos experimentales (“-scopo” y “-metro”, por ejemplo), el sufijo “-grafo” designaba instrumentos que, tal como sugiere la etimología griega, podían “escribir” o “dibujar” (Licoppe, 1996; Roberts, 1991). Los “-grafos” hacían posibles formas mecánicas de la escritura o el dibujo, por lo general con poca o ninguna intervención de la mano humana, y en muchos casos, la capacidad de producir múltiples copias de un original (Kemp, 1990). Estos instrumentos mecánicos para dibujar, trazar e inscribir ingresaron en el arsenal de la filosofía natural en el momento en que los aparatos de medición adquirían un nuevo papel, uso y representación entre los empíricos (Licoppe, 1996; Schaffer, 1992). Mientras que en el siglo XVIII los filósofos naturales habían confiado en las reglas coherentes de la organización social, la regulación de los cuerpos y la crónica literaria para controlar la evidencia experimental, las turbulencias de la época revolucionaria los llevaron a transferir el peso del testimonio creíble a los instrumentos o máquinas científicos. Se dedicaba una rigurosa atención a transformar al instrumento en un relevo a prueba de tontos de los procesos naturales, que eran comunicados luego a la mente del experimentador, por cierto desligada del cuerpo (Schaffer, 1992: 359-362). En algunas versiones, las inscripciones resultantes funcionaban como imágenes de las cifras de la naturaleza, reveladas al versado filósofo (Blumenberg, 2000).

La nueva configuración de la inscripción experimental se basaba en gran medida en los métodos de la manufactura, sobre todo en las técnicas indispensables del copiado o de la reproducción mecánica. La copia, claro está, había constituido la base de los procesos artesanales e industriales desde los albores de la historia de la humanidad (Didi-Huberman, 1997). Las acciones de fraguar, moldear, estampar, troquelar, tornear, imprimir a partir de superficies o cavidades abarcaban toda una familia de procedimientos tradicionales que se transformaron en el foco de una explosión de innovación industrial. Muchas de las grandes ventajas de la maquinofactura a vapor derivaban de una astuta mecanización de esa clase de procesos. Un principio “recorre gran parte de todas las manufacturas”, escribía Babbage (1832), “y constituye una de las bases de las que depende que los productos producidos sean baratos”. El principio era simple: grandes faenas podían ser generadas a partir del original, de las que a su vez podían reproducirse series potencialmente ilimitadas, lo que volvía posibles nuevas economías sin precedentes.

La novedosa y sistemática atención prestada a los procesos de copia renovó el interés por sus implicaciones filosóficas. En la era industrial, los manufactureros se referían a la copia en dos registros, uno práctico, otro teológico. En el primero, la técnica apropiada de copiado preservaba las relaciones métricas del objeto a través de la transmisión, una virtud que volvía posible la estandarización de los compo-

nentes de las máquinas, pero también garantizaba la verosimilitud entre el original y la copia. Para muchos industrialistas británicos, la noción de copia proveía la racionalidad teológica de una sociedad manufacturera. Tradicionalmente, las artes de la copia habían estado rodeadas por un aura de magia o de misterio teológico. La lógica del negativo (cera y sello, yeso y molde, piedra e imprenta) conllevaba el enigma del parentesco, el de la transmisión del parecido físico y usualmente óptico a otro objeto respecto del cual lo impreso aparecía como una memoria archivada. Los cristianos de la alta Edad Media se veían muy impresionados por imágenes que consideraban, tal como demostró K. Park (1998: 256), “un tipo fundamental de causación física que ligaba procesos en apariencia disímiles como la cognición visual y la generación de fósiles”. En algunas instancias, dicha causación ocurría como una suerte de “acción a distancia”, como en las célebres imágenes *acheiropoietoi*, “imágenes verdaderas no creadas por mano humana”, cuyo modelo eran los divinos rostros (cf. Belting, 1990; Kuryluk, 1991).

De esta manera, el copiado no refería simplemente a procesos meramente materiales, sino a un encuentro de superficies sensibles, una matriz donde coincidían propiedades internas y regímenes externos. Por lo tanto, ya fuera en estas formulaciones seculares o teológicas, el copiado o la inscripción mecánica significaba un relevo ontológico, o en términos de la caracterización de A. Bazin (2004) de la imagen fotográfica, una “transferencia de la realidad de una cosa a su reproducción” (Gálvez, 1997). Tanto en sus versiones seculares como teológicas, este tipo de retórica signaba los primeros relatos sobre la fotografía y se prolonga a lo largo del siglo XIX (cf. Schwartz, 1996; Didi-Huberman, 1997; Schiff 1983), donde la transferencia de la realidad de las cosas a sus reproducciones se mostraba de manera destacada en los relatos sobre las cosas manufacturadas y la producción masiva.

De ahí el poder del instrumento de registro gráfico como una manera de permitir que la manufactura de la Naturaleza produzca sus propias imágenes sin verse impedida por complicadas intervenciones. A pesar de que habían existido unos cuantos ejemplos de registradoras automáticas, el primer instrumento que atrapó la imaginación de los científicos e ingenieros provenía del taller de James Watt. En busca de una manera a prueba de tontos de medir el trabajo de sus máquinas a vapor, Watt experimentó con distintas técnicas antes de apostar a un ingenioso recurso desarrollado por su asistente John Southern, que consistía en trazar mecánicamente los movimientos del pistón dentro del cilindro. El diagrama indicador de Watt, como se llegó a llamar pronto el instrumento, consistía de un cilindro en comunicación con el motor, que contenía un pistón balanceado por la presión del vapor y un resorte en espiral; fijado a la vara del pistón había un grafito y un aparato de registro armado con un papel fijado a una pequeña pizarra, cuyos desplazamientos eran proporcionales a los volúmenes creados por

el pistón (cf. Hills y Pacey, 1972: 34). La línea en forma de *loop* trazada por el grafito era cotejada con dos coordenadas, lo que delineaba un gráfico que mostraba la relación entre la presión del cilindro y el desplazamiento del pistón.

El aparato de Watt se transformó así en uno de los primeros dispositivos indicadores basados en un proceso de copia gráfica para registrar sobre una superficie la memoria de las acciones de otra superficie. Los ingenieros usaban la curva de dos maneras distintas. La más importante consistía en determinar, en cualquier momento y bajo cualquier circunstancia, la fuerza actual de la máquina, valuada como un componente integral del trabajo. Al medir geométricamente el área bajo la curva, el ingeniero obtenía una figura directamente proporcional al trabajo desarrollado por la máquina cuando se había registrado la indicación. Siempre y cuando la máquina funcionara de manera continua a una velocidad constante, y que el número de revoluciones y la longitud de carrera del pistón fueran variables conocidas, podía obtenerse una determinación notablemente precisa de la “fuerza de trabajo”, que más adelante pasó a llamarse “trabajo” y finalmente, “energía”.

El segundo uso del diagrama indicador permitía a los ingenieros examinar la forma de la curva para determinar toda falla o perturbación, toda desviación patológica del normal funcionamiento de la máquina. Esto permitía al ingeniero descubrir, por ejemplo, si había defectos en aquellas partes en la que el vapor llega al pistón. Si se controlaba el trazado en busca de irregularidades podía determinarse, por ejemplo, si las válvulas estaban apropiadamente ajustadas o si los conductos para el vapor eran suficientemente grandes, un defecto que podía sugerir que fuera recomendable ajustar las partes de la maquinaria de otra manera. Esta era la función *observacional* del dispositivo, su capacidad de volver visible regiones remotas dentro de la máquina o bien fenómenos demasiado efímeros para ser detectados sin auxiliares. Cuando el diagrama indicador devino público en la década de 1820, después de haber sido un secreto industrial guardado con celo por décadas, varios ingenieros franceses lo adoptaron con fervor como solución a una serie de problemas persistentes. Para los ingenieros de la Restauración, entrenados en la École Polytechnique, los problemas prevaecientes se definían en el marco del sistema de la mecánica práctica y la geometría descriptiva de Gaspard Monge. A lo largo de la época revolucionaria, Monge promovió la geometría descriptiva como un lenguaje universal de la industria, que vinculaba artesanos y élites de ingenieros, articulaba el área fronteriza entre teoría y práctica, a la vez que permitía la mecanización de operaciones desarrolladas en oficios específicos (Alder, 1998; Belofsky, 1991). La geometría descriptiva de Monge ofrecía técnicas útiles para los ingenieros cada vez más interesados en representar fenómenos dinámicos, pero en última instancia carecía de la precisión requerida para los nuevos sistemas industriales basados en la máquina de vapor (Dupin,

1819). A lo largo de la década de 1820, los ingenieros franceses luchaban con lo que uno de los tratados sobre ingeniería hidráulica más influyentes de la época definía como “la necesidad de establecer una suerte de tipo de cambio mecánico (*monnaie mécanique*), si se permite el término, con el cual pueda establecerse la cantidad de trabajo empleado en ejecutar toda suerte de manufacturas” (Navier, 1819: 376).

El término “*monnaie mécanique*” evocaba las resonancias físicas y económicas de la noción de trabajo, o de valor del trabajo, planteando una suerte de equivalente universal que sirviera como medio de cambio entre “el empresario y el capitalista” y los ingenieros a la hora de medir la fuerza de los motores (Vatin, 1993). Jean-Victor Poncelet, profesor en la Escuela Unida de Artillería e Ingeniería de Metz, ponderaba esta medida en términos de la elevación vertical de cuerpos pesados: “Esta definición y esta medida del trabajo mecánico se adecuan a la manera en que en los oficios, todos los trabajos son pagados en relación con la elevación vertical de cargas” (cf. Séris, 1987: 429). Al contemplar el método de registro gráfico de Watt, Poncelet reconoció que proveía la solución deseada para medir el trabajo. De manera similar a la definición en términos de cuerpos que caen, el método gráfico medía el trabajo como el producto del *esfuerzo* y la *distancia a través de la cual es realizado*: fuerza x distancia en lugar de fuerza x tiempo. Esto diferenciaba la medición de otras realizadas con instrumentos de balanza, como el dinamómetro a resorte, que solo medían el movimiento o el efecto del trabajo realizado. Se lograba fácilmente trazando la curva del movimiento sobre un sistema de coordenadas en el que los espacios atravesados servían de abscisa y el flujo de tiempo como ordenada. Este instrumento combinaba por lo tanto el movimiento continuo y uniforme de un lápiz o placa con el objeto cuyo movimiento se quería medir.

De inmediato, Poncelet se puso a trabajar con su colega de Metz y condiscípulo politécnico, Arthur Morin, para construir toda suerte de dinamómetros autorregitrantes que podían usarse en una variedad de situaciones industriales y experimentales. Gran parte de la ambición de universalidad de la geometría descriptiva se materializaba en dichos instrumentos; el ámbito de potencial aplicación iba a terminar siendo tan amplio como la mecánica misma. Los dinamómetros para máquinas a vapor optimizaron el diagrama indicador de Watt; otros medían el trabajo con dispositivos traccionados por animales o locomotoras en caminos de diferente construcción; algunos se usaban para experimentos de balística, para medir la resistencia del aire o la trayectoria y penetración de proyectiles, o la reculada de los cañones; otros medían la elasticidad relativa de materiales de todo tipo. Estos problemas de física práctica formaron la constelación de problemas que iban a encontrar su expresión teórica en las nuevas ciencias de la energía (Morin, 1839; Smith, 1998; Brain y Wise, 1998).

Poncelet y Morin difundían profusamente los beneficios de los nuevos instrumentos. A modo de demostración, en los liceos franceses equipos de registro gráfico para medir la ley de caída de los cuerpos inculcaban a cada alumno de escuela el principio del trabajo mecánico como un “axioma autoevidente”. Al mismo tiempo, Poncelet y Morin hacían campaña (sin éxito) para que la medición gráfica del trabajo mecánico fuera adoptada como medida con fuerza de ley. Al observar el grado de confusión que reinaba entre los legisladores que deliberaban sobre los valores de calles, puentes, canales y ferrocarriles, o entre los agricultores a la hora de decidir inversiones en equipamiento, Morin (1838a: 1-2) sugirió que la nueva medida del trabajo, “fundamentada en bases experimentales bien establecidas”, podía clarificar los cálculos de la utilidad de proyectos públicos y permitir a los industriales comerciar con el tipo de cambio del valor del trabajo. El ingeniero observó que a pesar de que la medida basada en la fuerza equina (HP) era de uso muy difundido como unidad de medida convencional, “no tiene valor legal y sería deseable que una medida legislativa le diera dicho carácter, dado que es el *tipo de cambio del trabajo industrial*” (Morin, 1838b: 24). Los instrumentos de autorregistro implicaban por ende un nuevo método de control mecánico, o dicho en términos de Crary (1990: 113), una nueva “técnica del observador” en la que el observador funcionaba como el operador de “un engranaje de partes rodantes que giran y se mueven de manera regular”, que de esa manera reforzaban los imperativos que “generaban una organización racional del tiempo y el movimiento en la producción”. Los principales ejemplos a los que recurre Crary para describir la emergente configuración observacional del siglo XIX son los populares juegos de salón con los que las clases medias europeas sometían “los sentidos humanos a un complejo entrenamiento” (W. Benjamín, citado en Crary, 1990: 112). Con frecuencia los científicos formalizaban dicho entrenamiento, estableciendo reglas y protocolos para asegurar el rigor y la pureza de la observación. Muchos de dichos protocolos forman parte de una estrategia más amplia destinada a reemplazar, cuando fuera posible, la acción humana por figuras parecidas a máquinas o mejor aún, por las máquinas mismas. Morin solía adjuntar a sus descripciones de aparatos una *mémoire*, vinculaba su método con el diagrama indicador de Watt y delineó una filosofía más amplia del registro automático y su aplicación a todo tipo de motores inanimados y animados. Los protocolos estipulaban las condiciones requeridas para transformar los instrumentos adecuadamente autorregistradores, es decir, capaces de medir las cantidades físicas continuas dentro del aparato mismo, sin interferencia mecánica o humana. Por ejemplo, la sensibilidad del instrumento tenía que ser proporcional a los esfuerzos medidos, en todo punto de su curso temporal, y tenía que permanecer inalterado por el uso. Dichas condiciones aseguraban que las operaciones realizadas dentro del aparato pudieran ser consideradas con

la debida seguridad, en tanto análogas u homomorfas con los fenómenos registrados (Morin, 1839).

Los instrumentos autorregistradores, subrayaba Morin (1839: 29-30), deben proveer indicaciones “en una manera independiente de la atención, la voluntad o los prejuicios del observador”. Aquí, el ingeniero invoca la implacable tendencia del siglo XIX de controlar la voluntad individual y su propensión al error a través de protocolos mecánicos. Daston y Galison (1992) denominaron este impulso “objetividad mecánica” y han argumentado de manera convincente que se trata no solo de una garantía epistemológica, sino de una visión moral más amplia. La objetividad mecánica, sostienen, oponía las virtudes de la máquina a los vicios de la naturaleza humana y confería autoridad moral a aquellos que comprendieran la diferencia. Con la imagen de la máquina, los antiguos ideales ascéticos cristianos de la autodisciplina y la templanza se transformaron en valores modernos, seculares, que prepararon a los científicos para recibir las inscripciones de la Naturaleza. “La Naturaleza le habla a aquellos que saben cómo interrogarla”, rezaba el mantra que adornaba los tratados de Morin sobre sus instrumentos. Como mejor hablaba la voz de la Naturaleza era a través de la máquina en el idioma primordial, preverbal, de las imágenes.

LOS INSTRUMENTOS DEL MODERNISMO CIENTÍFICO

Los instrumentos Poncelet-Morin dieron lugar a una serie de intentos de dar cuenta de diversos fenómenos a través del método gráfico. A lo largo de las siguientes décadas, emprendedores científicos prácticos de diversas disciplinas adaptaron el método gráfico a las necesidades de un sorprendente rango de disciplinas prácticas y científicas. En casi todas las instancias, la importación del método gráfico trajo consigo los valores representacionales, epistemológicos y morales que Poncelet y Morin le habían asignado: el concepto de trabajo o energía, la observación mecánica y la comunicación universal. Sin embargo, el intercambio también operó en otra dirección. Cada nueva aplicación disciplinaria agregaba o aumentaba el creciente complejo que rodeaba el método gráfico, hasta que a fines de siglo quedó constituido por una serie de elementos distintivos: matemáticas prácticas, un complejo tecnológico, un lenguaje de la observación, un sujeto corpóreo, un arte de la representación y un imaginario moral y político. Esta sección examina brevemente los distintos casos de aplicación, a fin de volver manifiestos algunos de los modos en que esto ocurrió.

En toda Europa, los instrumentos Poncelet-Morin atrajeron la inmediata atención en los ámbitos en que se investigaba en ciencia o ingeniería e inspiraron numerosos intentos de mejorarlos o de adaptarlos a una variedad de propósitos.

Una de las adaptaciones más importantes vino de las manos de varios jóvenes fisiólogos alemanes que rápidamente inventaron modificaciones capaces de registrar funciones fisiológicas tales como acción muscular, circulación y respiración. Carl Ludwig produjo el más importante de estos dispositivos, el quimógrafo, agregando un componente autorregistrador a un “hemodinamómetro” (registrador de la presión sanguínea) usado por un ingeniero y físico francés para medir la presión arterial. De manera similar, Hermann Helmholtz, un joven médico interesado en física y fisiología, modificó otros equipos, usados hasta entonces para medir esfuerzo muscular, para lograr medir la “energía” del músculo (trabajo realizado) en la ordenada, que se desplegaba en los espacios-tiempo (“*Zeiträume*”) representados en la abscisa (Brain y Wise, 1998; Holmes y Olesko, 1995). Con los nuevos instrumentos, Helmholtz (1861: 115) logró articular “una estrecha conexión entre las preguntas fundamentales de la ingeniería y las de la fisiología con respecto a la conservación de la fuerza”. Para la experimentación fisiológica, esto significaba en palabras de su cercano colega Emil Du Bois-Reymond (1848-1849: xxvi) que “la forma apropiada de representación fisiológica debía ser una curva: la dependencia del efecto sobre cada condición se presenta bajo la forma de una curva, cuya ley exacta permanece por cierto ignorada, pero cuyo carácter general podrá ser trazado en muchos de los casos”.

Esta suerte de analogías entre una variedad de fenómenos considerados ondas gráficas capturó la imaginación de Etienne-Jules Marey (cf. Braun, 1993; Dagognet, 1987). El fisiólogo francés, que se consideraba a sí mismo un ingeniero fallido, hizo carrera desarrollando y promoviendo el método gráfico no solo en su propio campo, sino para todo el espectro de disciplinas científicas. Marey anticipó una imagen de la ciencia del siglo XIX en la que las disciplinas científicas caían cada vez más en un aislamiento de mutua incomprensibilidad, semejante a una torre de Babel (Hankins y Silverman, 1995). En parte, el problema se debía al carácter internacional de la ciencia y a que los científicos preferían escribir en sus propios idiomas. Pero también resultaba de la división del trabajo, cuyas manifestadas ganancias se perdían cuando “el científico se especializa... y el horizonte de cada uno retrocede”. La respuesta se encontraba en el nuevo lenguaje del método gráfico que no solo ofrecía claridad, sino que representaba todos los resultados como relaciones de energía, el “lenguaje de los fenómenos mismos” (Marey, 1878: iii y v).

Marey alentaba a hacer realidad la gran visión universalista de la inscripción gráfica a través de maneras muy mundanas y particulares. De sus confiables manos surgieron innumerables dispositivos de registro gráfico que incluían no solo los célebres instrumentos de cronofotografía y cinematografía, sino también componentes clave de los aparatos de autorregistro tales como el tambor de Marey, un diafragma que permitía la captura y amplificación del más delicado de los movi-

mientos. Marey imaginaba estos componentes como análogos mecánicos de la percepción humana, modelos de las vías por las cuales la actividad funcional cava canales en lo profundo del organismo. En muchas instancias, los instrumentos efectivamente sacaron afuera la interioridad corporal, produciendo un doble funcional y autónomo de las funciones humanas. El esfigmógrafo de Marey duplicaba la estructura arterial del cuerpo a través del tubo usado para transmitir la señal de pulso. De manera similar, podía decirse que los componentes receptivos del aparato, en primer lugar el diafragma de Marey (la “piel”), luego los tubos elásticos (que actuaban de “nervios”) y el diafragma ahumado o papel (“memoria”), representaban diferentes componentes de las funciones sensoriales de un observador. Los instrumentos de autorregistro funcionaban no como dispositivos de prótesis, ni tampoco como ampliaciones de sentidos existentes a la manera del microscopio, telescopio o estetoscopio, sino “como nuevos sentidos” que poseían “su propio dominio”, enfrentados al observador humano, que constituían “su propio campo de investigación” (Zinder, 1998). Este era el dominio de la energía, de las fuerzas, adaptadas de manera única a este ámbito; los instrumentos de registro gráfico capturaban los fenómenos “desde adentro” y “bajo la forma en que son producidos” (Marey, 1878: xiii).

Los sujetos humanos quedaban fuera del cuadro excepto como operadores provisionales de la máquina, una necesidad técnica de improbable persistencia. Marey evitaba las reflexiones epistemológicas sobre estas cuestiones, aunque Snyder ha argumentado de manera convincente que la ausencia del sujeto humano subrayaba una noción de objetividad implícita en muchos de los enunciados de Marey. La tarea de elaborar las implicaciones filosóficas de estas cuestiones recayó en otros, tales como Mach (1862) quien también había escrito el estudio más profundo sobre la física del esfigmógrafo.

Sin tener en cuenta esta precisa posición filosófica, Marey adhirió a los ingenieros franceses que celebraban los instrumentos de registro gráfico como una medida imparcial, pública, adecuada para la naciente cultura de expertos tecnocientíficos, característica de los primeros años de la Tercera República francesa. Marey apuntaba a que su laboratorio de París fuera el lugar en el que los prácticos de toda clase de disciplinas pudieran reunirse y entrenarse en los métodos del registro gráfico, un emprendimiento que hiciera avanzar tanto la causa de la especialización como una más amplia cultura interdisciplinaria de expertos. Las numerosas colaboraciones de Marey contribuyeron a establecer el método gráfico en un vasto espectro de los programas de investigación científica en Francia y el extranjero.

Una de las colaboraciones más fructíferas que surgió del laboratorio de Marey fue la que reunió al fisiólogo con una serie de figuras clave de la nueva disciplina de la lingüística científica. En 1874, Marey comenzó a colaborar en torno al registro gráfico de la vocalización con su colega del Collège de France, el profesor

de lingüística Michel Bréal, así como con otro integrante de la Société de Linguistique de Paris, el especialista en sordomudos Charles Rosapelly. En sus aspectos técnicos, este trabajo era paralelo al de Edison que resultó en la invención del fonógrafo en 1877. Sin embargo, Marey y Bréal tenían fines científicos más que comerciales; especialmente, buscaban darle nuevos fundamentos de laboratorio a la ciencia lingüística para superar así el dominio de la filología alemana (Brain, 1997).

Dichos estudios gráficos de vocalización jugaron un papel indispensable en el nacimiento de la lingüística moderna, especialmente a través del sistema desarrollado por el protegido de Bréal, Ferdinand de Saussure (1945; cf. Aarslef, 1982). Permitían dar cuenta de fenómenos volátiles e invisibles del lenguaje como un objeto materializado y visible. La *image vocal*, en la terminología de Bréal, o la *image acoustique*, como la llamaba Saussure, permitían codificar el concepto de la señal lingüística elemental, o fonema, noción clave para la constitución de la moderna ciencia lingüística (Auroux, 1976: 174). Saussure fue inequívoco en su tratamiento de la imagen acústica como representación gráfica. El significante material o imagen acústica (Saussure solía emplear ambos términos como si fueran uno) devino en un modelo de la comunicación como un circuito en el que palabras o mensajes verbales se intercambian, se entrecruzan, se hacen pasar, se envían, se retransmiten, se reciben y se incorporan.

Saussure (1983: 32) atribuía los méritos de su ruptura con la concepción del lenguaje referencial a la inscripción gráfica del habla. “Así, los primeros lingüistas”, explicaba, “que nada sabían de la fisiología de los sonidos articulados, caían a cada paso en estas trampas; desprenderse de la letra era para ellos perder pie; para nosotros es el primer paso hacia la verdad”. Los estudios de fonética gráfica asignaban valores metrológicos precisos al habla. Esto le permitió formular su célebre ruptura con una teoría del lenguaje basada en la correspondencia y reemplazarla por una concepción del lenguaje viviente como un vasto espectro de imágenes acústicas relativas y contrastadas, distinguibles unas de otras por grados mensurables de diferencia. La imagen acústica le permitió a Saussure definir una unidad fundamental de análisis lingüístico: el fonema, definido como sonidos fonéticamente similares pero con sonidos levemente diferentes (“ruido”, “arco”, “perro”). El oído y el cerebro, munidos de un repertorio de huellas fónicas, analizaban acústicamente las imágenes sonoras que a su vez eran presentadas ante la mirada por instrumentos autorregistradores. En última instancia, Saussure estaba menos interesado en la psicofísica del habla que en los efectos de dichos procesos para la comprensión lingüística. No obstante, las condiciones materiales del habla condicionaban cada aspecto del sistema del lenguaje.

Con tan solo una ínfima alteración, la descripción de Saussure del lenguaje como un sistema de señales ondulatorias diferenciales podría aplicarse a la pin-

tura neoimpresionista de Georges Seurat y Paul Signac. La coincidencia no es arbitraria, dado que estos artistas recurrieron a técnicas similares para crear un arte algorítmico apropiado a la era de la máquina. Durante la década de 1880, Seurat y Signac se vincularon con un excéntrico polimatémico, especialista en sánscrito, historiador de las matemáticas y psicólogo experimental, Charles Henry, quien había desarrollado una “estética científica” inspirada en el trabajo de Marey, Helmholtz, W. Wundt, Gustav T. Fechner y otros. Henry buscaba generalizar el descubrimiento de Fechner, quien había señalado que la relación .618, conocida desde la Antigüedad como “sección áurea”, producía de hecho un efecto armónico sobre los observadores, aunque por razones psicofísicas más que metafísicas. Henry suponía que debía haber toda una gama de efectos estéticos que podían determinarse sobre una base psicofisiológica, usando los principios derivados de Helmholtz y Wundt, tales como la ley del mínimo esfuerzo, los principios de las direcciones de la orientación del ojo, además del método de la expresión, que usaba el registro gráfico para dar cuenta de sensaciones de placer, dolor, excitación e inhibición. Henry (1985) argumentaba que un conocimiento operativo de estos principios habría de ayudar a los artistas en los problemas de composición y darles mayor control sobre los efectos estéticos que sus obras producían en el espectador.

Henry basó su técnica psicofísica en el método gráfico que permitía representar relaciones de energía entre movimientos. Dado que con el método gráfico, todos los fenómenos sensoriales podían reducirse en principio a una línea, como las ondulaciones sonoras, las longitudes de las ondulaciones luminosas, etc., el artista o artesano, el poeta o el músico (todos ellos “trabajadores de la línea”, escribía Henry) podrían componer sus obras basados en constantes y contrastes de efectos psicológicos conocidos. Para facilitar estas mediciones, Henry (1888) diseñó instrumentos, como el *Rapporteur esthétique*, el *Cercle chromatique* (un transportador impreso sobre una tela translúcida y una rueda con una escala cromática) para estimar los ángulos de todo tipo de curva o las relaciones métricas entre dos matices de color. También compiló catálogos de medidas lineales y sus correspondientes valores para inducir sensaciones de placer o dolor, excitación o inhibición. Los instrumentos permitían a los artistas componer con poco o ningún conocimiento de la teoría, y mucho menos de la ciencia o las matemáticas implicadas, del mismo modo en que las célebres fichas de F. W. Taylor (1911) regían a los obreros remunerados a destajo. Un algoritmo desplegado con destreza debía aliviar la lucha del artista con los deficientes sentidos humanos y las técnicas de una regla empírica daban cuenta de las cualidades fisionómicas y expresivas de la línea o el color.

Un pequeño pero influyente grupo de poetas y artistas adoptó los curiosos métodos de Henry. De manera similar, el poeta Gustav Kahn, interesado en el énfasis rítmico de los poemas en prosa y el *vers libéré* de Rimbaud, Verlaine y

Laforgue, buscaba “una música más compleja” en su poesía, tomada de la voz hablada con máxima agudeza. Kahn encontró su inspiración en Wagner, quien rechazaba el uso tradicional de grandes bloques prefabricados en la composición musical, prefiriendo a cambio que las más pequeñas unidades musicales (escalas, arpeggios y demás, junto con las cualidades tímbricas) transportaran la expresión. A partir de estas pequeñas unidades, el compositor buscaba producir un realismo emocional que permitiera un sutil registro de las pequeñas variaciones de un momento al otro, dándole una estructura fluida a la música que permitía a su vez la libre circulación de motivos y fragmentos musicales. En la poesía francesa, podía encontrarse una analogía con la forma prefabricada en la estructura cadencial de la clásica forma alejandrina, que exigía un cierre en el hemistiquio y al final del verso, acompañada a menudo de versos rimados rutinariamente. Kahn contrastaba la vacua rigidez de la versificación clásica francesa con su propia forma poética del *vers libre* y demostraba cómo podía eliminarse la tiranía de la forma clásica, creando nuevas afinidades acústicas y combinaciones armónicas, de modo que la poesía se veía dotada de una nueva lógica, fluida a la vez que rigurosa.² La principal fuente conceptual provenía de la teoría estética de Henry, aplicada aquí a la voz humana.

Entre los artistas que adoptaron la estética científica, el más célebre fue Seurat en sus últimas pinturas, como *Le Chahut* (Herbert, 1991; Smith, 1997; Zimmerman, 1991). Seurat asistía a las conferencias de Henry, estudiaba sus escritos (junto con las obras de Helmholtz, Chevreul, Rood y otros científicos) y como confirman sus cuadernos, compuso algunas de las pinturas de su obra tardía de acuerdo con las técnicas de Henry con respecto a las direcciones lineales, los movimientos angulares y los correspondientes esquemas cromáticos. Sin embargo, los cuadernos y la correspondencia también sugieren que mientras Seurat estaba más abocado que nunca a explorar la estética científica de Henry, en público guardaba silencio e incluso se mostraba particularmente quisquilloso. Seurat reaccionaba con particular enojo cuando se le reprochaba que este método mecanizado disminuía el papel que jugaba su propio talento y su educación en la ejecución de la pintura. Es probable que fueran las cualidades semimaquinales de la imagen las que atrajeron en cambio a Signac, un ferviente anarco-comunista que vaticinaba una edad de oro en la que la expansión y el avance de la maquinaria habrían de eliminar la opresión por los intereses sociales y económicos y aliviar las penas de la Humanidad.³

² Cf., entre otros, G. Lote (1913), *L'Alexandrin, d'après la phonétique expérimentale*, Paris, Edition de la Phalange.

³ Paul Signac a Vincent Van Gogh, carta 584a, en *The Complete Letters of Vincent Van Gogh*, vol. III, p. 153. Cf. Ungersma Halperin (1998), *Félix Fénéon: Aesthete and Anarchist in Fin-de-Siècle Paris*, New Haven, Yale University Press.

Sin embargo, como revela una lectura de sus últimas pinturas tanto en su técnica como en su narrativa social, Seurat parece haber llegado a entrever que las promesas utópicas de la mecanización universal eran cada vez más problemáticas. Por un lado, si se analiza la construcción de la penúltima pintura de Seurat, *Le Chahut*, parece una fotografía de alta velocidad de Marey de la bailarina como un cuerpo trabajador o deportivo, un motivo que subraya el sentido de una percepción mecanizada de un instante que huye, un intercambio metabólico entre la energía y la imagen. Por el otro lado, la relación de la bailarina con el burgués cabeza de cerdo en el primer plano da lugar a interrogarse si su performance casi-mecánica genera libertad o esclavitud. Tanto en lo formal, con la adopción de algoritmos casi-maquinales, como en el contenido, Seurat puso en cuestión el principio anarquista de la libertad a través de la mecanización del trabajo, transformando la pintura en un examen de sus propias condiciones de posibilidad.

Más allá de París, quienes trabajaban con métodos gráficos se enfrentaban a casi idénticas encrucijadas. Del otro lado del Atlántico, y ciertamente sin saber lo que ocurría en la ciudad en la que algún día habría de ser famosa, Gertrude Stein, a la sazón joven estudiante en Radcliffe, investigaba en el Laboratorio de Psicología de Harvard, dirigida por H. Muensterberg, temas como el automatismo, la doble conciencia y la pérdida de personalidad.⁴ Además de los dos artículos profesionales sobre psicología experimental que publicó, la joven Stein componía ejercicios literarios basados en sus experiencias de laboratorio. En una entrada en su diario, fechada el 19 de diciembre de 1894, incluido luego en un ensayo titulado “En un laboratorio de psicología” que presentó en su curso de escritura en Harvard, Stein consideraba la posición del sujeto en un experimento con numerosos instrumentos de registro gráfico.⁵ Como Seurat, o como las célebres demostraciones de Charcot de las pacientes histéricas en el hospital parisino de Salpêtrière, Stein representaba al sujeto como femenino y subyugado, tanto por el aparato mecánico como por sus operadores.

Estas instancias ilustran el grado en que una clase relativamente discreta de artefactos determinó la cultura de la ciencia alrededor del 1900. No pecaba de exageración ni de grandilocuencia el profesor alemán que en su lección inaugural

⁴ Cf. G. Stein (1898), “Cultivated Motor Automatism; A Study of Character in its Relation to Attention”, *Psychological Review*, pp. 295-306; L. Solomons y G. Stein (1896), “Normal Motor Automatism”, *Psychological Review*, pp. 295-306. Cf. C. Edwards-Pitt (1998), “Sonnets of the Psyche: Gertrude Stein, the Harvard Psychological Lab, and Literary Modernism”, tesis m.s., Universidad de Harvard.

⁵ “In a Psychological Laboratory”, 19 de diciembre, 1894. Escritos de G. Stein, caja 10, carpeta 238, Biblioteca Beinecke, Yale Collection of American Literature Manuscripts, Yale University. Cf. Drod, 1998; Stearns y Lewis, 1999.

de ese año, sugería que “en principio no sería difícil hacer un inventario de todo nuestro conocimiento usando las máquinas de autorregistro y otros dispositivos automáticos”. Existían, de hecho, toda una serie de intentos de volver realidad esa idea a través de la construcción de aparatos de computación analógicos de gran escala, basados en instrumentos de registro automático. La versión emblemática de este tipo de máquina había sido construida por lord Kelvin (William Thomson), la misma persona con la que Faustroll de Jarry se comunicaba por telepática.

El verdadero Thomson, diestro en el uso con diagramas indicadores y dinamómetros franceses, quería construir un aparato que no solo permitiera registrar fenómenos naturales continuos, sino que ejecutara automáticamente los cálculos necesarios para integrar la onda gráfica resultante. El desafío más inmediato para Thomson consistía en medir las fluctuaciones de las mareas, un problema para el cual la Asociación Británica para el Mejoramiento de las Ciencias había constituido una comisión especial. El físico se dedicó a los movimientos armónicos en una línea (diferentes amplitudes, fases y períodos) descritos por el análisis de Fourier, que consideraba “un instrumento indispensable para el tratamiento de casi cualquier cuestión recóndita en la física moderna” (Thomson y Tait, 1962: 54). El físico francés J. B. J. Fourier había mostrado en su *Théorie analytique de la chaleur* (1807) que toda vibración o movimientos periódicos, no importa cuán complicados, pueden ser construidos por la superposición de un número apropiado de simples curvas armónicas. El análisis de Fourier permitió resolver toda suerte de ondas complejas en curvas más simples basadas en los senos y cosenos de la trigonometría. Esas curvas eran fáciles de visualizar y de esta manera, razonaba Thomson, también podían ser mecanizadas por medio de instrumentos de autorregistro. Para estos fines, Thomson (1881) construyó un instrumento para medir, analizar y predecir el verdadero arquetipo del movimiento ondular: las mareas.

James Thomson, el hermano del físico, hizo realidad dicha máquina gracias a un ingenioso invento, el “integrador de disco, globo y cilindro”. El dispositivo efectivamente mecanizaba la operación del planímetro, permitiendo evaluar automáticamente las integrales necesarias para el análisis armónico (cf. Goldstine, 1972: 43-44). Thomson implícitamente comparó su máquina con el motor diferencial de Babbage, el gran intento fallido de mecanizar el trabajo de computación (Schaffer, 1994). En cambio, la computadora “analógica” de Thomson fue exitosa; Thomson (1876) construyó diferentes variantes basadas en el analizador de mareas con aplicaciones potenciales para toda una gama de fenómenos armónicos. Después de alabar el ahorro de trabajo que conllevaba el analizador de Thomson, James C. Maxwell se maravillaba por el espectro de problemas en que podía aplicarse la máquina.

Las observaciones de Maxwell daban cuenta de la enorme promesa que representaba la computa analógica. A la zaga del aparato diseñado por Thomson aparecieron toda una serie de equipos similares, incluyendo el destacable analizador armónico de A. Michelson y un monumental mareógrafo construido por la prefectura costera norteamericana en vísperas de la Primera Guerra Mundial, llamado “cerebro gigante” (Michelson y Statton, 1898).

Estos equipos habrían de ser los prototipos de toda una serie de servomecanismos y analizadores diferenciales (es decir, de las computadoras) hasta la Segunda Guerra Mundial, incluyendo aquellos que dieron lugar al movimiento cibernético (Goldstine, 1986; Owens, 1986).

CODA: DE LA ENERGÍA A LA INFORMACIÓN

A través de este tipo de máquinas analógicas, los instrumentos de registro gráfico llegaron a su apoteosis en vísperas de la Segunda Guerra Mundial. Durante las décadas de 1920 y 1930, proliferaron los servomecanismos y los aparatos de integración automática basados en registros gráficos, culminando en algunas de las innovaciones claves de la guerra, cuando, en palabras de Galison (1994), “la teoría servomecánica se transformó en la medida del ser humano”. Estas palabras hacían referencia al movimiento que se dio en llamar “cibernética”, consagrado en torno a los artefactos emblemáticos de la artillería antiaérea y de las nuevas ciencias de la información. Mucho se escribió sobre el movimiento cibernético y sobre el ascenso de la teoría de la información y la comunicación y se produjeron excelentes análisis sobre el papel que desempeñó la colaboración durante la guerra entre los matemáticos, los ingenieros y los fisiólogos. En su mayor parte, los comentarios históricos solo enfocaron el problema a través de la lente de la revolución en electrónica digital y teorías de la comunicación que tuvo lugar tras la Segunda Guerra Mundial, que complementó las operaciones discretas que estas nuevas máquinas volvían posibles. En resumen, esta historiografía, a pesar de ser esclarecedora, a menudo trata la cibernética como un comienzo, antes que como un punto final de la historia, por lo cual las condiciones del pasaje de la energía a la información permanecen encerradas en la proverbial caja negra de la cibernética.

Por el contrario, un análisis alternativo de la transición requeriría una atención más detallada sobre las colaboraciones de la preguerra en las que se basaron los esfuerzos bélicos; so riesgo de simplificación, las cooperaciones se basaban en el desarrollo del método gráfico, especialmente de las tecnologías instrumentales ligadas a las computadoras analógicas tales como el analizador diferencial de Bush y una serie de cuestiones teóricas centradas en el análisis armónico de los fenómenos ondulares. Dicho planteo supera los alcances del presente trabajo,

pero puede resultar instructivo señalar cómo se desarrollaron una serie de nuevos instrumentos y herramientas conceptuales a partir de dichas cuestiones y cómo se lanzó un nuevo imaginario tecno-científico que resultó, tal como observó John von Neumann en su reseña de Wiener, “de los problemas de intensidad, sustancia y energía”, que devinieron problemas de estructura, organización, información y control.⁶

Durante la década de 1930, en la Escuela Médica de Harvard, Norbert Wiener, matemático y una de las figuras centrales en el desarrollo de la cibernética, unió esfuerzos con un grupo de médicos y físicos, incluyendo al notable mexicano Arturo Rosenblueth, para llevar a cabo un seminario interdisciplinario sobre metodología científica. Según relata Wiener, pronto el grupo coincidió en la “necesidad espiritual” de explorar las “regiones límites de la ciencia”, los intersticios entre las disciplinas científicas, que a su vez eran “las más refractarias a las técnicas aceptadas del ataque masivo y la división del trabajo”. Para Wiener y Rosenblueth, todas esas investigaciones sobre legibilidad universal de la Naturaleza tenían lugar a la sombra de las extraordinarias posibilidades que abría una nueva computadora analógica, el analizador diferencial de Bush, y las promesas que abría una “nueva era en el cálculo mecanizado”.⁷ Ya en 1935, la Fundación Rockefeller había aprobado la financiación del diseño y la construcción de una nueva versión de dicha computadora, cuyo poder y capacidad superaba con creces todas las máquinas inteligentes existentes (Owens, 1986). Tanto en la versión existente como en las proyectadas, el analizador diferencial establecía el campo discursivo para las investigaciones protocibernéticas que determinaban el campo de posibilidades y de limitaciones en las que se podía pensar, visualizar, enunciar y representar. Todos los esfuerzos para expresar las interconexiones entre neurofisiología (especialmente el electroencefalograma de reciente invención), las matemáticas puras, la ingeniería eléctrica, la mecánica estática y en algunos momentos incluso la lingüística y la estética, ocurrieron cuando el analizador diferencial cobró forma.

Desde fines de la década de 1920, Wiener se había visto aleccionado por los esfuerzos de V. Bush para construir computadoras analógicas capaces de manejar ecuaciones diferenciales; consultó repetidas veces a su colega del MIT y en su momento, intentó construir su propia máquina. El proyecto de Bush surgió de los ensayos del laboratorio de investigación del Departamento de Ingeniería Eléctrica del MIT para crear métodos que permitieran manejar las ecuaciones refractarias generadas por las líneas de teléfono y las redes de energía de larga

⁶ “Governed”, reseña de Norbert Wiener (1948), *Cybernetics*, en *Physics Today*, (2), 1949, p. 33.

⁷ H. Hazen, director del Departamento de Ingeniería Eléctrica del MIT, informe del presidente, 1940, 101, citado en Owens (1986: 65).

distancia. Bush resolvió el problema, como demostró Larry Owens, utilizando los métodos gráficos familiares en la ingeniería de principios del siglo xx; incluso había llegado a construir un instrumento de registro gráfico para su tesis de maestría (cf. Owens, 1986). Como una manera de resolver las ecuaciones complejas, Bush puso a varios estudiantes graduados a investigar el problema de cómo construir dispositivos basados en el integrador de disco, globo y cilindro de Thomson. Pronto desarrollaron una serie de dispositivos denominados “*product integrator*”, que respondían a las expectativas y que inspiraron un equipo más complejo que combinaba componentes eléctricos y mecánicos. Dicha máquina, el analizador diferencial, era un marco largo, parecido a una mesa, dotado de engranajes interconectables, una serie de seis integradores de disco y pizarras, dispuestos de manera ingeniosa para transformar de distintas maneras las rotaciones de los engranajes. El cambio de las variables de una ecuación se vinculaba con la rotación de los engranajes, lo que permitía a la calculadora sumar, restar, multiplicar, dividir e integrar. A través de estos mecanismos y de una disposición elegante y dinámica de sus componentes, el analizador diferencial funcionaba como un modelo mecánico de las diferentes ecuaciones que ejecutaba cinéticamente.⁸

Durante la década de 1930, el analizador diferencial se transformó en el pilar de distintos proyectos en los límites de la investigación en ciencia y tecnología, algunos de los cuales eran llevados adelante por participantes del coloquio interdisciplinario de Rosenblueth y Wiener. En 1936, la Fundación Rockefeller apoyó con entusiasmo la máquina y el sueño de Bush de crear “un centro de análisis de cierto tipo de importancia al cual se dirijan los investigadores en todos lados para solucionar sus ecuaciones”.⁹

En el ínterin, varios estudiantes y colegas de Bush investigaban las aplicaciones de la nueva máquina, desarrollando un género totalmente novedoso de servomecanismos que usaba una señal gráfica amplificada para un control continuo de “circuito cerrado”, que permitía dirigir otras máquinas de acuerdo con los saltos de línea. Hasta ese momento, los servomecanismos solían ser instrumentos giroscópicos puesto que seguía siendo muy difícil entregar una cantidad apreciable de fuerza o de corriente y dar instrucciones exactas. H. L. Hazen, uno de los socios claves de Bush, inventó un método eléctrico que permitía desarrollar la tarea del integrador de Thomson, produciendo una máquina que, según el dicho

⁸ Bush, V., F. Gage y H. Stewart (1927), “A continuous recording Integrator”, *Journal of the Franklin Institute*, 212, pp. 63-84; Bush, V. y H. Hazen (1927), “Integrator solution of differential equations”, *Journal of the Franklin Institute* 204; Bush, V. (1931), “The Differential Analyzer”, *Journal of the Franklin Institute*.

⁹ Bush a Warren Weaver, 17 de marzo de 1936, cit. en Owens (1986: 79).

popular, “seguía una línea como un perro sigue una huella”.¹⁰ Los nuevos servomecanismos no solo brindaban toda una plétora de aplicaciones industriales y tecnológicas, desde la automatización de las fábricas hasta el manejo de barcos y el control de armas, sino que también daban lugar a nuevas reflexiones teóricas sobre la naturaleza de los servomecanismos que habrían de ocupar el centro de las preocupaciones cibernéticas bajo el rubro de *feedback*.¹¹ Mientras los nuevos dispositivos seguían usándose para registrar, transmitir y dirigir energía, permitían un nuevo grado de libertad para considerar la naturaleza de la señal con cierta abstracción de las constricciones del soporte material.

En 1936, mientras seguía persiguiendo su gran sueño de la máquina analógica, Vannevar Bush emprendió una nueva investigación sistemática sobre “la mutua influencia en el futuro entre las máquinas [...] y las matemáticas formales”.¹² A diferencia del luego célebre trabajo de Alan Turing de la misma época, que consideraba los problemas de cálculo con total prescindencia de las máquinas y materiales reales, Bush se aproximó a la cuestión a través de los mecanismos disponibles, inquirendo qué tipo de matemáticas podían generarse con qué tipo de mecanismos. Cada disposición de dichos mecanismos aparecía como un nuevo medio, sus operaciones como un sistema autónomo, autorreflexivo, con sus inherentes tendencias determinantes. El rango de posibilidades que surgían tenía un alcance sin precedentes; el tipo de problemas matemáticos implicados era de similar riqueza y variedad. Mientras que el centro de sus análisis permanecía focalizado en posibles mecanismos analógicos, Bush introdujo una nueva consideración de la aritmética y del número de “fragmentos de información” (“*bits of information*”) que podían ser archivados en una tarjeta perforada. Al mismo tiempo, Bush puso a sus investigadores más jóvenes, especialmente a Claude Shannon, a trabajar sobre la cuestión, lo que luego dio lugar al texto fundante de la era de la información, *The Mathematical Theory of Communication* (1948).

Wiener hacía progresos en el mismo rumbo. En septiembre de 1940, cuando Bush, quien había pasado a trabajar en la Carnegie Institution de Washington, D. C., consultó a sus colegas del MIT sobre cuáles proyectos científicos podían contribuir a los fines bélicos, Wiener (1987) respondió con ideas que ambos ya habían intercambiado: un método para convertir señales analógicas en unidades

¹⁰ Anónimo (1933), “A machine that bosses other machines”, *The Literary Digest*, 9 de septiembre, p. 20.

¹¹ Hazen, H., (1934), “Theory of Servo-Mechanisms”, *Journal of the Franklin Institute* 218, pp. 279-331; L. MacColl (1945): *Fundamental Theory of Servomechanisms*, Nueva York, Van Nostrand.

¹² Bush, V. (1936), “Instrumental analysis”, *Bulletin of the American Mathematical Society*, 42, p. 665.

binarias electrónicas. La técnica, insistía Wiener, habría de facilitar la labor en una serie de problemas analógicos familiares de relevancia militar: el flujo de aire alrededor de las alas de los aviones, la teoría de la elasticidad, los problemas de las ondas sonoras de amplitud finita y los problemas de balística interior. La propuesta no fue tomada en cuenta durante la guerra por razones que se ignoran; pero tras el fin del conflicto, estas y otras innovaciones digitales se transformaron en elementos centrales de la cibernética y la teoría de la información. Después de la guerra, la noción de información adquirió el estatuto de un parámetro físico cuantificable, una medida de lo que podía ser dicho dentro de las constricciones de un medio dado (cf. Kay, 2000). Las nuevas computadoras electrónicas digitales que estaban apareciendo en aquel momento, intensificaron la toma de conciencia en torno a esta cuestión; sin embargo, el problema mismo había sido planteado en el marco de las computadoras analógicas del período de entreguerras.

En 1935, W. Benjamin (1989) había articulado la noción de que el comienzo de la obsolescencia traía consigo una instantánea revelación de los sueños y las posibilidades codificadas en un medio tecnológico en el momento de su invención (Krauss, 1999). Benjamin pensaba en la fotografía, por cierto; pero su tema podría haber sido del mismo modo el registro gráfico. A pesar del hecho de que el movimiento cibernético y la nueva “ciencia computacional” habían cancelado la alternativa analógica y su confianza fundamental en los instrumentos de autorregistro, los cibernéticos siguieron sintiendo nostalgia por la computación analógica; algunos incluso llegaron a cifrar esperanzas de una capacidad redentora en dicho medio, del mismo modo que Benjamin había observado en el caso de la fotografía pasada de moda (Small, 1993). Cuando el ingeniero de MIT le concedió a Warren Weaver que el analizador era “esencialmente obsoleto”, que había sido superado por los enfoques basados en el procesamiento de símbolos del nuevo campo de la “ciencia computacional”, Weaver respondió con un mero lamento.¹³

En el momento mismo de la defenestración de la máquina analógica, los ingenieros de MIT se entregaron a una nostalgia por la redención de los sueños y las posibilidades que Poncelet y Morin habían imaginado en los albores de los medios de inscripción gráfica.

Es obvio que la plena concreción de las posibilidades de las computadoras digitales no se dio de inmediato; en muchos aspectos, es un proceso que aún sigue abierto. Tan solo con los procesadores paralelos de la década de 1980 es cuando la digitalidad comenzó a vencer las problemáticas lineales que habían materializado las máquinas gráficas y analógicas. Aun así, irónicamente, mientras van desapareciendo los últimos vestigios de la configuración gráfica analógica en

¹³ Weaver a Caldwell, 27 de marzo de 1950, en RFI. 1/224/2/26, en Owens (1986: 66).

el curso de la acumulación acelerada de bits discontinuos de información, los sueños utópicos encriptados en las registradoras gráficas despertaron una nostalgia, un ansia redentora de los significados universales que Faustroll había encontrado en las convexidades y concavidades de una línea continua.

BIBLIOGRAFÍA

- Aarsleff, H. (1982), *From Locke to Saussure: Essays on the Study of Language and Intellectual History*, Minneapolis, University of Minnesota Press, "Bréal, 'la sémantique', and Saussure", pp. 382-400.
- Alder, K. (1998), "Making things the same: representation, tolerance and the end of the *Ancien Régime* in France", *Social Studies of Science*, 28/4, pp. 499-545.
- Anónimo [Granville Stanley Hall] (1879), "The graphic method", *The Nation*, 745, p. 238.
- Auroux, S. (1976), "La catégorie du *parler* et la linguistique", *Romantisme*.
- Babbage, C. (1832), *The Economy of Machinery and Manufacture*, *The Works of Charles Babbage*, vol. 8, Londres, William Pickering, pp. 49-78.
- Bazin, A. (2004) [1967], *¿Qué es el cine?*, Madrid, Ediciones Rialp.
- Belofsky, H. (1991), "Engineering Drawing—a universal language in two dialects", *Technology and Culture*, 32, 1, pp. 23-46.
- Belting, H. (1990), *Bild und Kult. Eine Geschichte des Bildes vor dem Zeitalter der Kunst*, Munich.
- Benjamin, W. (1989), *Discursos interrumpidos I*, Buenos Aires, Taurus, "La obra de arte en la época de su reproducibilidad técnica".
- Blumenberg, H. (2000), *La legibilidad del mundo*, Barcelona, Paidós.
- Brain, R. (1997), "Standards and Semiotics", en T. Lenoir (ed.), *Inscribing Science. Scientific Texts and the Materiality of Communication*, Stanford, Stanford University Press, pp. 249-284.
- y M. Norton Wise (1998), "Muscles and engines: indicator diagrams and helmholtz's graphical methods", en M. Biagioli (ed.), *The Science Studies Reader*, Londres, Routledge, pp. 51-66.
- Braun, M. (1993), *Picturing Time: The Work of Etienne-Jules Marey*, Chicago, University of Chicago Press.
- Cheysson, E. (1878), "Les méthodes de statistique graphique à l'Exposition universelle de 1878", *Journal de la Société de Paris XIX*.
- Crary, J. (1990), *Techniques of the Observer*, Cambridge, The MIT Press.
- Dagognet, F. (1987), *Etienne-Jules Marey: La Passion de la trace*, París, Hazan.
- Daston, L. y P. Galison (1992), "The Image of Objectivity", *Representations*, 40, pp. 81-126.
- Didi-Huberman, G. (1997), *L'Empreinte*, París, Centro Pompidou.

- Dror, O. (1998), "Creating the Emotional Body: Confusion, Possibilities, and Knowledge", en P. Stearns y J. Lewis (eds.), *An Emotional History of the United States*, Nueva York, New York University Press.
- Du Bois-Reymond, E. (1848-1849), *Untersuchungen über die thierische Elektrizität*, Berlin, Reimer.
- Dupin, C. (1819), *Essai historique sur les services et les travaux scientifiques de Gaspard Monge*, París, Bachelier.
- Edwards, P. (1996), *The Closed World. Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, Cambridge, The MIT Press.
- Ferguson, E. (1992), *Engineering and the Mind's Eye*, Cambridge, MIT Press.
- Foucault, M. (1986), "Of other spaces", en *Diacritics*, primavera.
- (1992), *Nietzsche, la genealogía y la historia*, Barcelona, Pre-Textos.
- Galison, P. (1994), "The Ontology of the Enemy: Norbert Wiener and the Cybernetic Vision", *Critical Inquiry*, 21, pp. 228-266.
- Galvez, P. (1997), "Register and Copy: John Herschel Photographic Observations", tesis, Harvard University.
- Goldstine, H. (1972), *The Computer from Pascal to von Neumann*, Princeton, Princeton University Press.
- Hankins, T. y R. Silverman (1995), *Instruments and the Imagination*, Princeton, Princeton University Press.
- Heims, S. (1991), *The Cybernetics Group*, Cambridge, The MIT Press, pp. 14-30.
- Helmholtz, H. von (1971), *Selected Writings of Hermann von Helmholtz*, ed. R. Kahn, Middleton, Wesleyan University Press, "The Application of the Law of the Conservation of Force to Organic Nature" (1861).
- Henry, C. (1885), "Introduction à une esthétique scientifique", *La Revue contemporaine*, pp. 442-469.
- (1888), *Rapporteur esthétique. Notice sur ses applications industriel, à l'Histoire de l'Art, à l'interprétation de la Méthode Graphique*, París, Séguin.
- Herbert, R. et al. (1991), *Georges Seurat 1859-1891*, Nueva York, Metropolitan Museum of Art.
- Hills, R. y A. Pacey (1972), "The measurement of power in early steam-driven textile mills", *Technology and Culture*, 13.
- Holmes, F. y K. Olesko (1995), "Precision's Images: Helmholtz and Graphical Methods in Physiology", en M. Norton Wise (ed.), *The Values of Precision*, Princeton, Princeton University Press.
- Jarry, A. (1996), "Concerning the Line", *Exploits & Opinions of Dr. Faustroll, Pataphysician. A Neo-Scientific Novel*, Boston, Exact Change Press [*Gestas y opiniones del doctor Faustroll, patafísico*, Buenos Aires, Atuel, 2001].
- Kay, L. (2000), *Who Wrote the Book of Life. A History of the Genetic Code*, Stanford, Stanford University Press.
- Kemp, Martin (1990), *The Science of Art. Optical Themes in Western Art from Brunelleschi to Seurat*, New Haven, Yale University Press.

- Kittler, F. (1990), *Discourse Networks 1800/1900*, Stanford, Stanford University Press.
- Kobry, Y. (1986), "Ernst Mach et le moi insaisissable", en Jean Clair (ed.), *Vienne 1880-1938. Apocalypse Joyeuse*, Paris, Centro Pompidou.
- Krauss (1999), "Reinventing the medium", *Critical Inquiry*, 25, pp. 289-305.
- Kuryluk, E. (1991), *Veronica and Her Cloth. History, Symbolism, and the Structure of a "true" Image*, Cambridge, Blackwell.
- Link, J. (1997), *Versuch über den Normalismus. Wie Normalität produziert wird*, Opladen, Westdeutscher Verlag.
- Licoppe, C. (1996), *La formation de la pratique scientifique. Le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*, Paris, La découverte.
- Mach, E. (1862), "Zur Theorie der Pulswellenzeichner", *Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, 46, pp. 157-174.
- (1900), *Die Analyse der Empfindungen*, 2ª ed., Jena, Fischer.
- Marey, E.-J. (1878), *La méthode graphique dans les science expérimentales*, Paris, Masson.
- Mattelart, A. (1995), *La invención de la comunicación*, México, Siglo XXI.
- Michelson, A. y S. Stratton (1898), "A new harmonic analyzer", *American Journal of Science*, 4, 5, pp. 1-13.
- Morin, A., (1838a), *Notice sur les divers appareils dynamométriques*, Metz, Lamort.
- (1838b), *Leçons de mécanique*.
- (1839), *Notice sur divers appareils dynamométriques, propres à mesurer l'effort du travail développé par les moteurs animés ou inanimés, ou consommé par des machines de rotation, et sur un nouvel indicateur de la pression dans les cylindres des machines à vapeur*, Paris, Mathias.
- Navier, C. (1819), Introducción, Forest de Bélidor: *Architecture Hydraulique*, Paris.
- Owens, L. (1986), "Vannevar Bush and the Differential Analyzer: The Text and Context of an Early Computer", *Technology and Culture*, pp. 63-95.
- Park (1998), "Impressed images: reproducing wonders", en C. Jones y P. Galison (eds.), *Picturing Science, Producing Art*, Londres, Routledge.
- Porter, T. (1994), "The death of the object: fin de siècle philosophy of physics", en Dorothy Ross (ed.), *Modernist Impulses in the Human Sciences 1870-1930*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, pp. 128-51.
- Rathenau, W. (1912), *Hauptwerke und Gespräche*, München y Heidelberg, "Zur Kritik der Zeit".
- Roberts, L. (1991), "A word and the world, the significance of naming the calorimeter", *Isis*, 82, 2, pp. 199-232.
- Saussure, F. de (1945) [1983], *Curso de lingüística general*, Buenos Aires, Losada.
- Schaffer, S. (1992), "Self-evidence", *Critical Inquiry*, 18, pp. 327-362.
- (1994), "Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System", *Critical Inquiry*, 21, 1, pp. 203-227.

- Schiff, R. (1983), "Representation, copying, and the technique of originality", *New Literary History*, xiv, pp. 332-363.
- Schwartz, H. (1996), *The Culture of the Copy: Striking Likenesses, Unreasonable Facsimiles*, Nueva York, Zone Books.
- Séris, J.-P. (1987), *Machine et Communication*, París, Vrin.
- Shannon, C. (1948), "A mathematical theory of communication", *Bell System Technical Journal*, 27, pp. 379-423 y 623-656.
- Small (1993), "General-purpose electronic analog computing: 1945-1965", *Annals of the History of Computing*, 15, 2, pp. 8-17.
- Smith, C. (1998), *The Science of Energy. A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Smith, P. (1997), *Seurat and the Avant-Garde*, New Haven, Yale University Press.
- Snyder, J. (1998), "Visuality and Visualization", en C. Jones y P. Galison (ed.), *Picturing Science...*, op. cit., pp. 380-385.
- Stearns, P. y J. Lewis (1999), "The Scientific Image of Emotion: Experience and Technologies of Inscription", *Configurations*, 7, pp. 355-401.
- Tarde, G. (1891), *Les lois de l'imitation*, París.
- Taylor, F. (1911), *The Principles of Scientific Management*, Nueva York.
- Thomson, W. (1876), "An instrument for calculating the integral of the product of two given functions", *Proceedings of the Royal Society of London*, 24, pp. 266-268; "Mechanical integration of linear differential equations of the second order with variable coefficients", *Proceedings of the Royal Society of London*, 24, pp. 269-271; "Mechanical integration of the general linear differential equation of any order with variable coefficients", *Proceedings of the Royal Society of London*, 24, pp. 271-275.
- (1881), "The tide gauge, tidal harmonic analyzer, and tide predictor", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 65, pp. 2-31 y 58-64.
- Thomson, W. y P. G. Tait (1962), *Principles of Mechanics and Dynamics*, Nueva York, Dover.
- Vatin, F. (1993), *Le Travail. Economie et physique 1780-1830*, París, Presses Universitaires de France.
- Wiener, N. (1948), "Time, Communication, and the Nervous System", *Annals New York Academy of Sciences*, 50, pp. 220-243.
- (1961), *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets, 1985.
- (1987), "The Wiener memorandum on the mechanical solution of partial differential equations", *Annals of the History of Computing*, 9, pp. 183-197.
- Zimmerman, M. (1991), *Les Monde de Seurat: son œuvre et le débat artistique de son temps*, París.

Artículo recibido el 15 de diciembre de 2007.
Aceptado para su publicación el 1º de agosto de 2008.