



## Del ENIAC, hasta los andares\*

Xavier Molero

Departament d'Informàtica de Sistemes i Computadors  
Universitat Politècnica de València  
46022 València  
xmolero@disca.upv.es

### Resumen

Si bien los computadores actuales, en todas sus variantes —portátiles, tabletas, teléfonos inteligentes—, resultan más pequeños, baratos y rápidos que los precedentes, no es menos cierto que el estudio minucioso de las *viejas glorias* de la historia de la informática nos puede facilitar la comprensión, no solo de algunos de los aspectos de la tecnología informática de aquel momento e incluso de la actual, sino también de los rasgos socioculturales propios del entorno científico y humano de la época concreta en que estas venerables máquinas, y otros tantos dispositivos de todo tipo, se desarrollaron.

En particular, el ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*), uno de los primeros computadores electrónicos de la historia, nunca imitado y el único disponible en Estados Unidos entre 1946 y 1949, es un buen ejemplo de computador del que, desde un punto de vista pedagógico y divulgativo, se puede aprovechar casi todo. Y aún más: analizar su trayectoria vital puede convertirse en una sorprendente manera de mirarnos en un espejo y descubrir, al mismo tiempo, los aspectos más humanos de la informática. En este trabajo pretendemos demostrar que el estudio pormenorizado del proceso de diseño, construcción y uso posterior de esta máquina de carácter experimental nos puede aportar, en los inicios del siglo XXI, un gran abanico de conocimientos útiles. Y como consecuencia, este interesante bagaje podría formar parte de los contenidos de asignaturas, tanto de programación como de arquitectura y estructura de computadores, de los actuales estudios de grado.

**Palabras clave** Historia y desarrollo de la informática, sociedad e informática, programación, arquitectura y tecnología de computadores.

**Recibido:** 5 de noviembre de 2013; **Aceptado:** 21 de noviembre de 2013.

## 1. Introducción

El ENIAC está considerado uno de los primeros computadores de propósito general totalmente electrónicos de la historia. Fruto de acuciantes necesidades bélicas —el cálculo de trayectorias balísticas para la artillería estadounidense—, su diseño e implementación tuvieron lugar en el que, más de sesenta años después, podemos considerar el *hipocentro* de la informática tal como la conocemos hoy [13]. Sin embargo, desde su nacimiento se expidió lo que podríamos denominar, sin ninguna pretensión dramática, su certificado de defunción. Y ello debido a que sus mismos creadores, al tiempo que lo ponían en funcionamiento, fueron conscientes de sus considerables y angustiosas limitaciones.

Las principales desventajas serias del ENIAC fueron básicamente dos: una capacidad de memoria reducida y una programación extremadamente difícil [1]. Esta última se llevaba a cabo, *grosso modo*, mediante la manipulación de un número ingente de conmutadores y la conexión de cables entre los

diferentes elementos de la máquina; como afirmar más tarde Elizabeth Jean Jennings, una de sus primeras programadoras, «*the ENIAC was a son-of-a-bitch to program*» [20]. Todas las máquinas que se construyeron poco después, aunque fueron partícipes de la misma tecnología que el ENIAC, se diseñaron según el principio de programa almacenado —una idea que surgió antes de la construcción del ENIAC—, lo que permitió una programación y funcionamiento mucho más sencillos. El ENIAC, que dejó oficialmente de funcionar en 1955, estuvo operativo durante un periodo de tiempo que podemos estimar más que considerable y sufrió, durante este lapso temporal, algunas modificaciones y adaptaciones que hicieron más fácil su programación.

La literatura académica sobre programación y estructura de computadores, excepto en raras ocasiones como el conocido libro de Patterson y Hennessy [22], no suele dedicar mucho espacio a la historia de la informática. Y cuando lo hace se detiene poco en el ENIAC y su contexto histórico; de él suele referirse el mérito de haber sido el *primer* computador elec-

\*Este trabajo es una versión ampliada del artículo que el autor presentó en las XIX Jenui [21]. He retocado aspectos de la redacción y trato con más detalle algunas cuestiones que allí se tocaban sólo de pasada. La bibliografía está ampliada así como el número de ilustraciones, muchas de las cuales enfatizan y permiten entender mejor el texto. Agradezco sinceramente los consejos y sugerencias de los revisores, que han contribuido a mejorar la calidad del presente trabajo.

trónico, amén de alguna otra característica como la manera de ser programado, el número de válvulas de vacío, soldaduras, resistencias y condensadores que contenía, y otros detalles anecdóticos acerca de sus dimensiones. Y aquí es donde, en mi opinión, se comete un grave error, pues se dejan de lado otras valiosas cuestiones susceptibles de ser aprovechadas de manera específica para la formación de los ingenieros informáticos y cuyo análisis abordamos de manera somera en este trabajo. Tampoco cabe duda de que estos conocimientos serían igualmente interesantes para una audiencia más amplia y menos formada en esta disciplina técnica.

En particular, el ENIAC delimita claramente la frontera entre la computación antes y después del uso de la electrónica, entendida ésta no ya como la fuerza motriz de la máquina — caso de las máquinas electromecánicas del momento—, sino como la propia *materia* que podía emplearse en la computación. Al igual que la Máquina Analítica de Charles Babbage, las máquinas de Konrad Zuse o el Harvard Mark I de Howard Aiken, el ENIAC era esencialmente una calculadora programable, un poco lejos todavía de los computadores diseñados según el concepto de programa almacenado. Pero, a pesar de ello, era miles de veces más rápida y con muchas más posibilidades de cálculo que sus predecesores, representando, por sí misma, el *eslabón* que une aquellos dispositivos con el computador moderno [8]. Dicho de otro modo, aunque su impacto en el diseño de la lógica y de los circuitos de los computadores posteriores no fue significativo, su influencia en el desarrollo de la informática en general fue enorme.

El estudio del proceso de diseño y construcción del ENIAC (Figura 1) abre un largo y amplio camino sorteado de gratas sorpresas. Recorrerlo significa indagar en las fuentes de inspiración de sus creadores, J. Presper Eckert y John Mauchly, como la máquina calculadora diseñada por Blaise Pascal trescientos años antes; implica conocer de primera mano el papel que las autoridades académicas y militares jugaban en el desarrollo y uso de la tecnología de vanguardia; supone valorar las dificultades con que se enfrentaron los científicos en un contexto bélico y cómo les dieron solución en términos de fiabilidad de diseño e inmediatez de resultados; entraña el análisis de la utilidad de un dispositivo que, por sus características, fue único en el mundo durante al menos un lapso de tres años y dio servicio a aplicaciones de distinta índole pero con un marcado acento militar y ocultadas con un grueso velo de secretismo; conlleva el lujo de presenciar los primeros pasos de la humanidad llevando a cabo la programación de un computador electrónico, unos pasos dados por un equipo de mujeres totalmente ignoradas por la historia hasta hace bien poco tiempo; presume asistir a la génesis del concepto de programa almacenado —quizás uno de los aspectos más trascendentales acontecidos en la historia de la informática— y al inicio de la controversia en torno a la atribución de su paternidad, y los intentos de patentar, incluso, la idea misma de computador; y permite, finalmente, observar cómo la estética visual de este computador legendario inspiraría la puesta en escena de dispositivos tecnológicos en el cine de ciencia ficción.

Este trabajo pone sobre la mesa todas estas cuestiones con el objetivo de justificar por qué el ENIAC, con las limitaciones de su diseño y después del tiempo transcurrido, puede tomarse, *malgré tout*, como punto de partida para estudiar una significativa cantidad de cuestiones referidas a la génesis de la informática moderna que abarcan, por supuesto, temas tecnológicos, pero también antropológicos, sociales e históricos. Asuntos que, en mi opinión, podrían resultar de interés a una audiencia poco formada técnicamente y, al mismo tiempo, serían totalmente aprovechables en asignaturas relacionadas con la programación, estructura y tecnología de computadores, y que tratamos en los siguientes apartados.

## 2. Proyectos militares y tecnología

El proceso de gestación y nacimiento del ENIAC aporta una idea bastante clara de un proyecto desarrollado bajo una enorme presión por las necesidades bélicas del momento. En plena II Guerra Mundial el ejército estadounidense necesitaba disponer de tablas de disparo para que las piezas de artillería pudieran ser utilizadas de forma adecuada y eficaz por los artilleros. La confección de una tabla de disparo se hacía mediante la resolución numérica de un conjunto de ecuaciones diferenciales, un proceso que requería una gran cantidad de cálculos repetitivos.

Para hacernos una idea de las necesidades de cómputo del momento tomemos una ecuación diferencial muy común en la formulación de problemas eléctricos:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \epsilon(1 + k \cos t)y = 0$$

Si consideramos los valores  $\epsilon = 1, 2, \dots, 10$  y  $k = 0, 1, 0, 2, \dots, 1, 0$ , la resolución requiere 100 resultados, cada uno de los cuales es una tabla de  $y$  frente a  $t$ . Si  $t$  varía en el rango  $0 < t < \pi$  y  $\Delta t = 0,0004$ , haría falta llevar a cabo casi ocho millones de multiplicaciones y muchas más sumas y restas. Pues bien, la consecución de dos soluciones para  $y$ , correspondientes a dos condiciones iniciales distintas, requería de 15 horas de trabajo continuo del ENIAC [7].

Una única tabla de artillería necesitaba la resolución de unas 3000 trayectorias distintas. Una persona entrenada y ayudada de una pequeña calculadora electromecánica podía calcular una trayectoria en unas 20 horas, mientras que un dispositivo analógico como el Analizador Diferencial de Vannevar Bush, considerado el dispositivo de cálculo más rápido del momento, empleaba unos 20 minutos [29]. Este dispositivo analógico, versión más potente del construido inicialmente entre 1925 y 1931 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), había sido concebido específicamente para resolver problemas balísticos, constaba de unas 2000 válvulas de vacío, varios miles de relés electromecánicos, unos 320 kilómetros de cables y pesaba 200 toneladas.

Con el tiempo, las limitaciones temporales y el aumento desmesurado de solicitudes de nuevas tablas de disparo obligó al ejército a invertir recursos en el desarrollo de un dispositivo

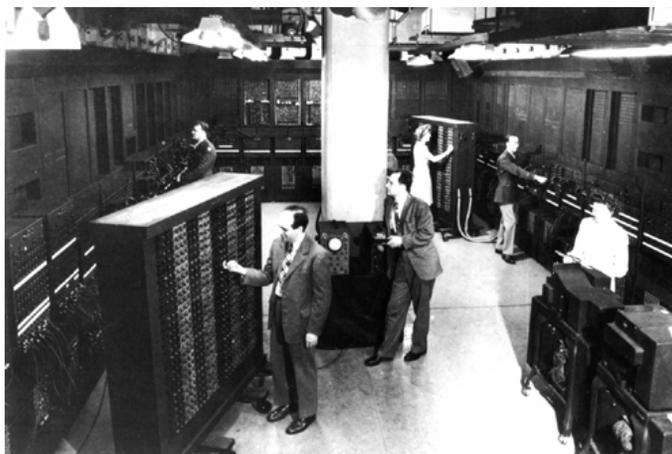


Figura 1: Vista general del ENIAC difundida por la prensa. De izquierda derecha: Homer Spence, Presper Eckert, John Mauchly, Elizabeth Jean Jennings, Herman Goldstine y Ruth Lichterman.

de cálculo más rápido y, sobre todo, necesariamente operativo en un plazo de tiempo muy corto. La cuestión que se planteó entonces fue: ¿se puede construir un dispositivo totalmente electrónico capaz de reducir significativamente el tiempo de resolución de estas ecuaciones diferenciales? La respuesta, a pesar de las dificultades, resultaría afirmativa: una vez construido, el ENIAC fue capaz de calcular una trayectoria en 32 segundos, es decir, unas 40 veces más rápidamente que el Analizador Diferencial.

El *Project PX*, nombre con que fue bautizado el proyecto secreto encargado de diseñar y construir el ENIAC, se puso en marcha en junio de 1943 como resultado de un acuerdo entre el ejército de los Estados Unidos y la Moore School of Electrical Engineering de la Universidad de Pensilvania. Sorprendentemente, este costoso proyecto fue dirigido por personas relativamente jóvenes (Figura 2). John Mauchly, de 35 años, se encargaría de su diseño conceptual y Presper Eckert, de 24, del diseño de los circuitos individuales. Las acuciantes necesidades militares obligaron a aprovechar muchos de los conocimientos previos que tenía el equipo encargado de su construcción. De hecho, la implementación física del ENIAC bebe directamente de la experiencia de sus diseñadores en el ámbito del radar: la electrónica básica de la máquina no hacía sino contar pulsos eléctricos [27].

Dado que era necesario construir una máquina efectivamente *operativa*, se optó por que cada parte fuese lo más simple y clara posible. Se utilizaron circuitos sencillos pero funcionales en vez de otros más elegantes. El coste y la fiabilidad fueron dos de los requisitos esenciales del diseño de la máquina. Así, en vez de usar válvulas de vacío especialmente fiables y muy caras, se usaron otras mucho más baratas. Sin embargo, a fin de evitar fallos, se redujo el voltaje de funcionamiento a valores moderados y, para acelerar las reparaciones, las casi 18 000 válvulas del ENIAC se ensamblaron en aproximadamente 700 paneles fácilmente desmontables en caso de

fallo. Es curioso que, una vez en operación, la fiabilidad de la máquina se resintió notablemente no por las válvulas, sino debido a los fallos en la lectora y la perforadora de tarjetas, construidas por IBM, que se usaron como dispositivos de entrada y salida de datos [7]. La fiabilidad también se tuvo muy en cuenta durante el uso posterior del ENIAC. Por ejemplo, los cálculos se solían hacer dos veces a fin de comprobar la unicidad de los resultados y de manera periódica se ejecutaban programas de comprobación cuya respuesta era conocida.

Y es que en un proyecto de esta importancia y envergadura la fiabilidad no era una cuestión baladí. El diseño del ENIAC lo convertía en el dispositivo electrónico más complejo construido hasta ese momento, con un número de válvulas de vacío cinco veces mayor que cualquier otro dispositivo. De hecho, dada la conocida poca fiabilidad de las válvulas de vacío, muchos de los colegas de Eckert y Mauchly desconfiaron abiertamente de la viabilidad del proyecto o, cuanto menos, se mostraron escépticos; entre ellos, Vannevar Bush, George Stibitz y Howard Aiken. El tiempo se encargaría de ajustarles las cuentas. Cuando se terminó, el ENIAC, que necesitaba alrededor de 147 kW de potencia para funcionar, supuso todo un logro de la ingeniería eléctrica del momento. Pero también resultó un reto para el bolsillo: el coste de “la factura eléctrica” del ENIAC era del orden de 60 dolares de entonces diarios (21 900 dólares de entonces al año, equivalente a casi 300 000 dolares actuales<sup>1</sup>), cuyo responsable principal era el sistema de refrigeración [1]. Un mito muy difundido —cuya veracidad está lejos de la realidad— acerca de este gran consumo eléctrico afirma que, cuando el ENIAC se ponía en marcha, las luces de la cercana ciudad de Filadelfia parpadeaban o bajaban de intensidad.

Un problema derivado del uso de válvulas de vacío como elemento de conmutación era el considerable calor que desprendían. Esto obligó al empleo de un notable mecanismo de refrigeración basado en ventiladores. Pero, en contra de lo que

<sup>1</sup>Según la calculadora de inflación del Ministerio de Trabajo de EEUU [http://www.bls.gov/data/inflation\\_calculator.htm](http://www.bls.gov/data/inflation_calculator.htm)



Figura 2: Responsables del proyecto ENIAC en su presentación a la sociedad. El primero por la izquierda es Presper Eckert, el cuarto es Herman Goldstine y el quinto John Mauchly.

comúnmente se pueda creer, el objetivo no fue tanto asegurar el funcionamiento de las propias válvulas como procurar una larga vida a las 70 000 resistencias que formaban parte de su entramado físico.

El procedimiento seguido por Eckert de *congelación del diseño*, que daba prioridad a acabar el diseño inicial y que hoy es esencial en informática, permitió que las inevitables propuestas de cambios y mejoras que suelen surgir durante el diseño de un dispositivo así no hicieran imposible la construcción final del ENIAC [3]. Esto contrasta con la actitud de Charles Babbage, que no llegó a construir ninguna de sus máquinas porque cambiaba constantemente sus diseños subyugado por un denodado afán perfeccionista. El coste final del proyecto pone de manifiesto el interés del ejército: el presupuesto inicial de 150 000 dólares creció hasta los 486 804 (tres veces más), aproximadamente unos 6 000 000 dólares a día de hoy. Este incremento se debió a que, a pesar de que el diseño inicial del proyecto apenas cambió, sí lo hizo la envergadura de la máquina definitiva. Por ejemplo, el ejército solicitó duplicar el número de acumuladores, que pasaron de los 10 inicialmente previstos hasta los 20, un añadido de última hora fácil de incorporar sin comprometer por ello la esencia del diseño original del computador.

En resumen, este origen tan especial del ENIAC resulta, cuanto menos, significativo. Como veremos, el contexto de la creación del ENIAC y su uso en la resolución de problemas de carácter militar durante los primeros meses de la postguerra establecieron el marco para el desarrollo inicial y el uso de los computadores en la sociedad estadounidense. Cabe la posibilidad, por tanto, de reflexionar sobre cómo podrían haber ido las cosas en tiempo de paz y sin la influencia de organismos gubernamentales.

### 3. Cuestiones de significado

Las palabras que conforman el acrónimo ENIAC ya sugieren a qué se iba a destinar. Originalmente se denominó *Electronic Numerical Integrator*, lo que dejaba claro que sería electrónico y se emplearía en integración numérica —el método de resolución de las ecuaciones diferenciales que describen las trayectorias balísticas—. Sin embargo, Mauchly ya previó que esta máquina podría resolver un conjunto mucho más amplio de problemas. Esto sin duda facilitó que, finalmente, se le añadiera, por sugerencia de un coronel del ejército, las palabras «*and Computer*» [11, 29].

Estas cuestiones semánticas hoy nos pueden parecer bastante obvias, pero entonces no lo fueron. En aquella época, el término *computer* refería originalmente a una persona con habilidades matemáticas capaz de resolver ecuaciones, es decir, se usaba como sinónimo de *calculista*. En la década de 1940 los departamentos de cálculo, incluidos los dedicados a cálculos balísticos del ejército, estaban formados mayoritariamente por mujeres equipadas con pequeñas calculadoras de escritorio, ya que se creía que podían hacer este tipo de trabajo de manera más exacta y rápida que los hombres. Resulta curioso que, durante la I Guerra Mundial, la creencia más extendida fuera exactamente la contraria, esto es, que los hombres estaban mejor dotados que las mujeres para el cálculo.

Por otro lado, no fue extraño que en esta época, e incluso años más tarde, cuando todavía no era fácil disponer de grandes computadores, se utilizaran personas extraordinariamente dotadas para el cálculo mental [6], como el caso del holandés William Klein, que trabajó en el CERN desde 1958 hasta 1975. Klein era capaz de resolver mentalmente y con gran rapidez multiplicaciones o raíces de grandes números; por ejemplo, calculó mentalmente la raíz perfecta setenta y tres de un número de quinientas cifras en poco más de dos minutos.

Fue alrededor de 1945 cuando el nombre *computer* se empezó a aplicar a los dispositivos automáticos [10]. De hecho, las primeras máquinas automáticas fueron denominadas en inglés *calculators* como en el caso del Mark I de Aiken, también llamado *Automatic Sequence Controlled Calculator*. Los mismos Eckert y Mauchly, cuando en 1948 crearon la primera empresa comercial del mundo que fabricaba computadores, la llamaron *Electronic Control Company*, evitando así el uso de un término con una nueva semántica que todavía no se había asentado en el acervo cultural de la sociedad. Incluso IBM, en la publicidad de sus primeros computadores comerciales a lo largo de la década de 1950, utilizaba *data processing system* para referirse a sus computadores.

Otra interesante cuestión que viene al hilo gira en torno a las distintas acepciones y usos que podemos dar en la actualidad a las palabras *computador*, *calculadora*, *ordenador*, e incluso *informática*. Ya hemos visto que el término *computer* fue añadido al ENIAC en último término, y las siglas del su propio nombre reflejan, ante todo, el objetivo que se perseguía en su construcción. En opinión de Ifrah [15] el término *computer*, utilizado desde tiempos inmemoriales por británicos y americanos, pertenece a una especie de metavocabulario que emplea las palabras de manera genérica y por tanto plantea dificultades en el uso de la terminología. Igual problema hay en otras lenguas, como el francés o el castellano, cuando se utiliza el término *cálculo* (en inglés, *computation* o *calculation*) y algunas de sus derivadas, como *calculadora* o *calculable*. De acuerdo con la etimología, *calculadora* (*computer*) designa genéricamente a cualquier dispositivo físico capaz de transformar unos datos de entrada con el fin de obtener unos resultados. La Pascaline, el Analizador Diferencial de Vannevar Bush o el Mark I de Howard Aiken —Ifrah también incluye al ENIAC en esta lista—, serían dispositivos estructuralmente concebidos para llevar a término unas operaciones muy particulares, por lo que deberían denominarse calculadoras. Para soslayar este problema terminológico, este autor justifica ampliamente el uso del término *ordenador* para nombrar a aquellas máquinas capaces de manipular todo tipo de informaciones, siempre que puedan ser representadas mediante símbolos y estos, a su vez, se puedan expresar en términos numéricos. En esta línea también propone usar el término *informática* (palabra introducida en 1962 por el francés Philippe Dreyfus y formada a partir de *información* y *automática*) como sustituto de expresiones más vagas como *information processing* o *tratamiento de la información*.

#### 4. Las fuentes de inspiración

Los diseñadores del ENIAC, un dispositivo con una finalidad concreta y que había de construirse en poco tiempo, forzadamente no podrían partir de cero. Antes de participar en el proyecto del ENIAC, Mauchly estuvo involucrado en la resolución de modelos numéricos para predecir el tiempo. Para ello concibió la posibilidad de construir calculadoras de escritorio usando tecnología electrónica; en efecto, su deseo no

era otro que *unir* diez o veinte calculadoras de este tipo para acelerar los cálculos meteorológicos.

En el verano de 1941 Mauchly visitó a John V. Atanassof y pudo examinar su máquina ABC (Atanassof-Berry-Computer), un modesto dispositivo diseñado para resolver sistemas de ecuaciones lineales. Aunque parece que no llegó a ser totalmente operativo, una sentencia judicial estableció en 1973 que el ABC fue el primer computador electrónico de la historia. Sea como fuere y, según parece, Mauchly tomó de esta máquina calculadora algunas ideas para implementar el ENIAC, como la de usar válvulas de vacío como elemento básico de conmutación o la de emplear un reloj para sincronizar las operaciones internas, aunque desestimó otras valiosas posibilidades como la aritmética binaria, la lógica booleana o el establecimiento de una clara división entre la unidad de memoria del ABC y sus unidades aritméticas.

Sabemos por el propio Mauchly su desconocimiento de los trabajos de Babbage escritos en el primer tercio del siglo XIX. Sin embargo, Aiken sí los había estudiado; incluso, había leído su autobiografía, y sabemos que el Mark I de Aiken proporcionó una gran inspiración en el diseño del ENIAC. En particular, sus acumuladores no eran otra cosa que versiones electrónicas de los registros mecánicos del Mark I. A su vez, el empleo de las tablas de funciones del ENIAC, que servían para almacenar valores conocidos de ciertas funciones, también fue un concepto tomado de aquella enorme máquina electro-mecánica.

Por otro lado, el ENIAC utilizaba una técnica de anticipación del acarreo similar a la que Babbage propuso en los diseños de su Máquina Analítica. Y como ya hiciera Babbage en aquel tiempo, los diseñadores del ENIAC también plantearon mecanismos alternativos basados en sumas, restas y desplazamientos, a fin de evitar las operaciones de multiplicación y división, verdaderas bestias negras de los cálculos computacionales también durante el primer tercio del siglo XX. En definitiva, podemos afirmar que, aunque de manera indirecta, los trabajos de Babbage, vía Aiken, llegarían a influir parcialmente en el ENIAC.

En otro orden de cosas, el ENIAC empleaba aritmética decimal y, al contrario de lo que ocurre hoy en día, no requería ninguna conversión de decimal a binario y viceversa. Esto no significa, en absoluto, que Mauchly y Eckert desconocieran las ventajas que el uso del sistema binario aportaba al diseño de los circuitos electrónicos. Por el contrario, lo que ellos pretendieron fue facilitar el manejo de la máquina por parte de los operadores, esto es, hacer que fuera interpretable fácilmente en términos *humanos* [26]. Y no hay nada más sencillo para un humano que ver y leer números expresados en el sistema decimal.

Los computadores modernos, como sabemos, hacen uso extensivo del sistema binario y utilizan el complemento a 2 para representar los números enteros negativos. De manera análoga, los números negativos eran representados en el ENIAC mediante la técnica del complemento a 10, que permite resolver restas mediante sumas. Esta técnica ya había sido introducida en calculadoras más antiguas como la Pascaline



Figura 3: Computador ABC (izquierda) y Mark I (derecha). En el primero se pueden apreciar las válvulas de vacío en la parte inferior. En el segundo destacan los acumuladores en el extremo izquierdo, junto a las lectoras de cinta perforada en la parte central.

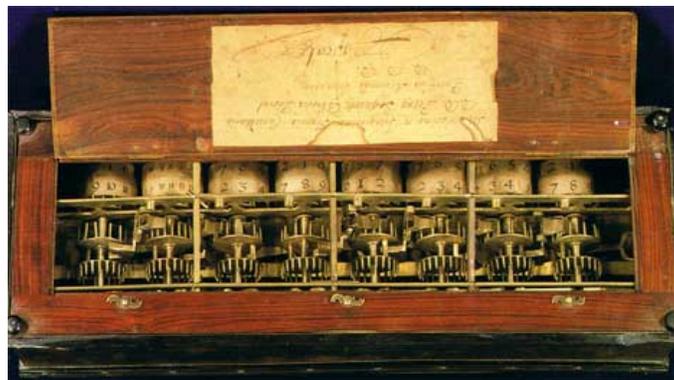


Figura 4: Vista de los cilindros interiores de la Pascaline, diseñada por Blaise Pascal. En ellos se puede apreciar la disposición, en vertical, de un dígito y su complemento a 9. De la cincuenta de máquinas construidas, todavía se conserva casi una decena.

(Figura 4), diseñada por el matemático y filósofo francés Blaise Pascal a mediados del siglo XVII. Por ejemplo, para calcular la resta de dos números de tres dígitos  $745 - 132$ , podemos usar el complemento a 10 de 132, que es  $10^3 - 132 = 868$ , hacer la suma  $745 + 868 = 1613$  y descartar el cuarto dígito, con lo que obtenemos el resultado buscado 613. En la práctica el cálculo del complemento a 10 de un número es muy sencillo: basta con sustituir cada cifra por el valor que le falta para llegar a 9, y al final sumar 1. Así, el número 132 se transforma en 867 y se convierte en 868 tras añadirle un uno. En definitiva, tanto el ENIAC entonces, como los computadores ahora, *no restan*, sino que, en su lugar, efectúan sumas que proporcionan el mismo resultado.

En la Pascaline el complemento a 10 permitía que las ruedas girasen siempre en la misma dirección, facilitando el diseño y funcionamiento del sistema mecánico de engranajes, al tiempo que simplificaba el uso de las manivelas. El ENIAC, trescientos años después, efectuaba por medio de la electrónica las operaciones aritméticas de suma y resta exactamente de la misma manera que esta calculadora mecánica cuyo funcionamiento se basaba en engranajes de ruedas dentadas. En su más pura esencia, el ENIAC podría concebirse como un conjunto de Pascalines interconectadas [20].

## 5. Maneras de escribir la historia

Si bien en términos estrictamente históricos sesenta y cinco años representan un periodo de tiempo corto, ello no justifica la casi inexistencia de una *necesaria* perspectiva histórica en los ámbitos divulgativos y, peor aún, educativos, de la informática. Por otro lado, como acertadamente señala Barceló [3], la mayor parte de la historia de la informática escrita hasta la fecha proviene de Estados Unidos, es obra de los propios informáticos y en raras ocasiones se aparta de una mera relación de biografías de personas y máquinas, respondiendo a menudo a pretensiones más de calado propagandístico que histórico. Por si esto fuera poco, muchas veces las decisiones que atañen a detalles científicos y técnicos no son sino consecuencias de una simple política de mercado.

En el caso concreto de los primeros pasos de la informática todavía queda mucho por hacer, porque hay que añadir su carácter secreto que, todavía hoy, impide conocer con exactitud todo lo que pasó. El caso de la informática británica de este periodo es un ejemplo perfecto. Las máquinas Colossus, destinadas a tareas de criptografía, fueron implementadas con válvulas de vacío y, sorprendentemente, la primera de la serie estuvo operativa dos años antes que el ENIAC, lo que en su día obligó a cuestionar la consideración de *primer* computador electrónico de que gozó durante mucho tiempo. Con el computador LEO I (*Lyons Electronic Office I*) estaríamos ante un caso similar pero en el terreno comercial [14, 26]. Razones no faltan, por tanto, para hacer nuevos intentos y esclarecer, en la medida de lo posible, estas y otras cuestiones históricas.

El caso del ENIAC ilustra poderosamente, en este sentido, algunos aspectos tanto sobre cuestiones historiográficas

como antropológicas. Por ejemplo, en el proyecto del ENIAC se consideró, de manera *implícita*, que el diseño del hardware era masculino mientras que la programación era un trabajo femenino, a la misma altura que cualquier tarea de carácter administrativo o de oficina. No es extraño, por tanto, que la literatura haya destacado de forma contumaz el papel de Eckert y Mauchly como diseñadores y constructores de la máquina, y que la omisión histórica del papel de las mujeres en el proyecto haya perpetuado la creencia en su desinterés e incapacidad en el ámbito informático en particular y tecnológico en general.

Hubo de transcurrir un periodo de casi cuarenta años para conocer con cierto detalle la historia de las seis mujeres que programaron el ENIAC en sus primeros meses de vida. Estas mujeres, conocidas también como las *ENIAC girls*, que aparecen de perfil en muchas fotografías de la época a modo de *refrigerator ladies*, no fueron simples y vistosos reclamos de una máquina sofisticada, sino avezadas matemáticas y lógicas que, una vez concluida la fase de construcción del computador, se enfrentaron con su ardua programación (Figura 5). Algunas de ellas tenían experiencia en la programación del complicado Analizador Diferencial de Bush, y fueron reclutadas de las casi 200 mujeres del Laboratorio de Balística del ejército. Sus nombres son muy poco conocidos: Frances Bilas Spence, Elizabeth Jean Jennings, Ruth Lichterman Teitelbaum, Kathleen McNulty, Elizabeth Snyder Holberton y Marlyn Wescoff Meltzer [20]. Estos nombres, lamentablemente, suelen variar en la literatura disponible debido a la costumbre norteamericana de sustituir, después del matrimonio, el apellido de la mujer con el de su pareja masculina, lo que dificulta la fijación de un nombre único para designarlas. A esta lista podemos añadir el nombre de Adele Goldstine (esposa de Herman H. Goldstine), que colaboró con el grupo en la formación del personal que había de programar el ENIAC, y redactó su manual de funcionamiento (“Report on the ENIAC”). El propio Goldstine llega a transcribir mal el nombre de dos de estas mujeres [13].

Hasta aquel momento, nadie había programado jamás un computador así y la única herramienta práctica disponible era el diagrama lógico de la máquina. Estas mujeres no solamente se enfrentaron con un problema intelectual de gran complejidad, sino que también hubieron de realizar un gran esfuerzo físico, ya que tuvieron que manipular cerca de 3000 conmutadores y un gran número de cables a fin de distribuir los datos y pulsos eléctricos a través de los componentes de la máquina. En general, para programar el ENIAC se necesitaban varios días según la complejidad del problema, tiempo que se repartía entre la formulación del mismo en términos del ENIAC, la conexión de sus unidades y la posterior comprobación de resultados [1]. En el caso de las trayectorias balísticas este tiempo se veía amortizado porque para calcular una nueva trayectoria solamente había que ajustar unos pocos conmutadores para reflejar los cambios en algunos parámetros.

Curiosamente, el programa usado como demostración en la presentación al público del ENIAC fue el cálculo de una trayectoria y su diseño corrió a cargo de —las seis mujeres se organizaron para trabajar por parejas— Elizabeth Jean Jen-

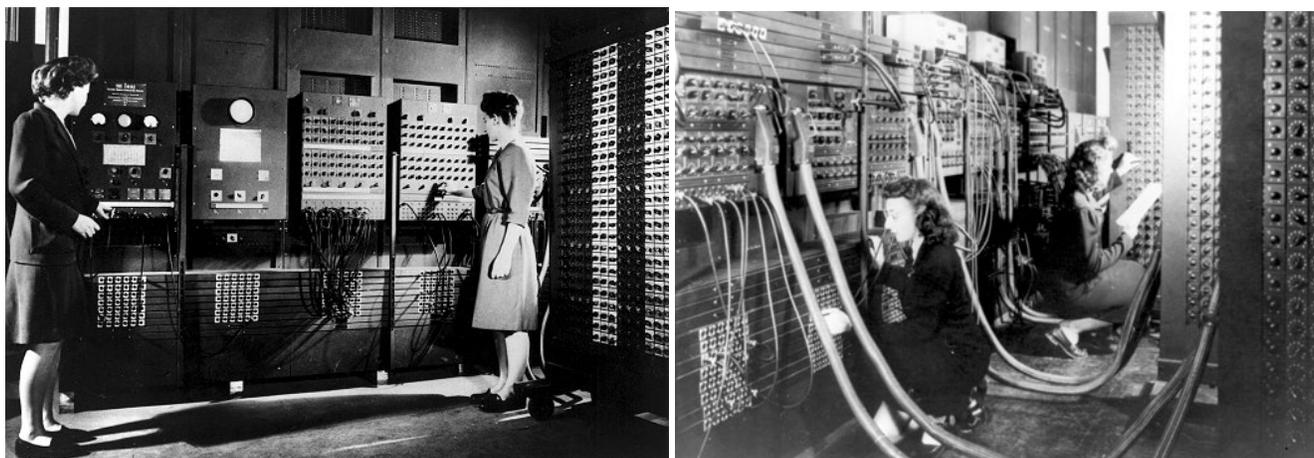


Figura 5: Las programadoras Elizabeth Jean Jennings y Frances Bilas junto al ENIAC (izquierda). La foto de la derecha ofrece una idea clarificadora del esfuerzo que suponía el manejo de cables y conmutadores durante el proceso de programación o puesta a punto (*setup*) para resolver un problema con el ENIAC.

nings y Elizabeth Snyder. Esta última está considerada como una de las mejores programadoras del grupo y participó poco después en el UNIVAC I contribuyendo al desarrollo del lenguaje C-10, prototipo de los lenguajes de programación modernos, y a la estandarización del lenguaje FORTRAN. Por su parte, Elizabeth Jean Jennings formó parte del equipo que en 1948 transformó el ENIAC en un computador con programa almacenado. Aunque esto provocó una disminución del rendimiento en un factor de entre cinco y seis, redujo su programación a solamente cuestión de horas [1, 29].

En definitiva, este grupo de programadoras demostró un gran talento y eficacia y fue capaz de desarrollar un método sistemático de uso de la máquina así como de la localización de errores de programación y del descubrimiento de fallos en válvulas de vacío. Así mismo, estas mujeres desarrollaron las bases de la programación de computadores, creando la primera biblioteca de rutinas y las primeras aplicaciones de software. Sin embargo, a pesar de que fueron en gran medida responsables del éxito del ENIAC, siguieron siendo tratadas como simples empleadas administrativas. Tres de las seis mujeres del grupo acabaron casándose con ingenieros del proyecto y, como consecuencia de ello, algunas de ellas dejaron su puesto de trabajo para cuidar de su familia.

La prensa tampoco se mostró libre de prejuicios después de la presentación oficial del ENIAC al público el día de San Valentín de 1946 (sábado, 14 de febrero). El comunicado del Departamento de Guerra, emitido por la radio y que empezaba así: «*A new machine that is expected to revolutionize the mathematics of engineering and change many of our industrial design methods. . .*», enfatiza el papel de los constructores de la máquina y nada dice de sus programadoras [12]. Por otro lado, se hicieron filmaciones de la máquina en funcionamiento para proyectar la noticia en cines, ya que la televisión no era todavía un medio de comunicación de masas. En estas breves

noticias audiovisuales se emplea una música de fondo de marcado acento militar, se describe el computador en términos de *cerebro electrónico* y se mencionan las válvulas de vacío, un elemento conocido por la sociedad por su utilización en los aparatos de radio, pero de nuevo se olvida el papel jugado por estas mujeres.

En general, el tratamiento informativo de la presentación del ENIAC al gran público por los medios de comunicación hacía uso, igual entonces como ahora, de la metáfora. Nombres como cerebro, calculadora o robot, y adjetivos como rápido, inteligente, infalible y consciente se utilizaron profusamente. En la edición de 1946 de la revista *Mechanix Illustrated* una fotografía del ENIAC aparecía sobreimpresa sobre un cerebro humano (Figura 6).

En el artículo que el *New York Times* publicó el 15 de febrero (Figura 7) se indica que el cálculo efectuado en 15 segundos hubiera requerido el trabajo de un *hombre* entrenado durante varias semanas, obviando de manera incomprensible que, en este momento, el término *computer* era indefectiblemente femenino porque eran mujeres las personas dedicadas a las tareas de cálculo. Ni tampoco se dice nada acerca del trabajo previo que las mujeres invirtieron en la programación del problema (*setup*) en la máquina [18]. En la foto de este mismo artículo, que fue una de las más ampliamente difundidas, aparece en primer plano un hombre uniformado, mientras que dos mujeres apenas se vislumbran en un segundo plano. La misma fotografía aparece en un anuncio de reclutamiento del ejército donde el texto, amén de enfatizar los detalles técnicos de la máquina, especifica literalmente la necesidad de *hombres* para trabajar con el ENIAC. Todo parece indicar que, acabada la guerra, la mujer puede volver a casa.

Un caso similar ocurrió, por citar otro ejemplo, en un artículo que publicó la revista *Popular Science* en abril de 1946, en el que las fotografías solo muestran a hombres manejan-

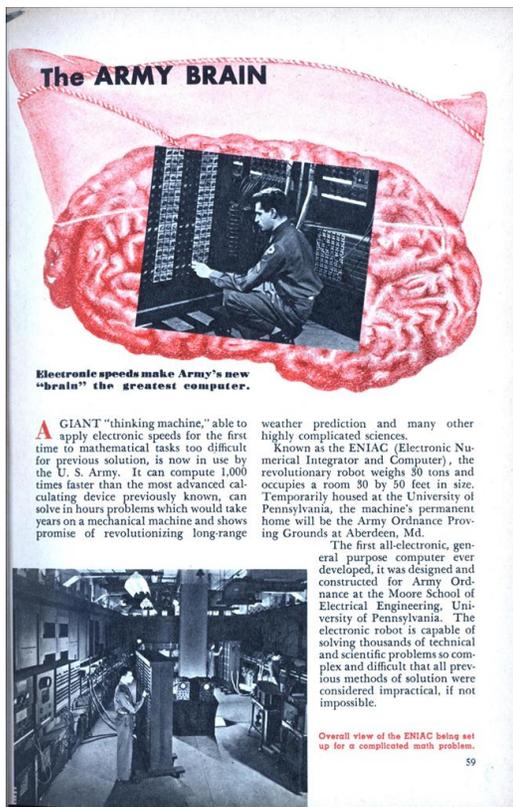


Figura 6: Artículos publicados por las revistas Mechanix Illustrated (izquierda) y Popular Science (derecha).

do el ENIAC. El único vestigio femenino consiste en unas manos anónimas que manejan la perforadora de tarjetas de la máquina (Figura 6). Así pues, en la mayoría de publicaciones escritas las mujeres no aparecen ni en las fotografías ni en los textos, prevaleciendo sin embargo los hombres vestidos de uniforme.

## 6. Concepto de programa almacenado

El ENIAC nos brinda también la posibilidad de asistir a una de las grandes polémicas científicas de la historia: el origen del concepto de programa almacenado (*stored program*) y la atribución que de su paternidad se hace en los textos sobre historia de la informática. Este concepto se refiere a la codificación mediante números de los programas y los datos y a su ubicación en la unidad de memoria del computador.

El inicio del problema, al menos, sí es bien conocido: vino dado por la difusión del, hoy clásico borrador, “First draft of a report on the EDVAC”, escrito y firmado por John von Neumann, un científico de gran prestigio del proyecto Manhattan que colaboró activamente con Eckert y Mauchly a partir de septiembre de 1944 (Figura 8). Como nota anecdótica, la casa de subastas Christie’s vende por unos tres mil dólares una copia original de este borrador que perteneció a Arthur W. Burks, un ingeniero que participó en el proyecto del ENIAC.

A pesar de tratarse de una cuestión que ha generado una gran controversia, la mayoría de las recientes publicaciones (consúltense, por ejemplo, [9, 10, 15, 16, 28]) coinciden en aceptar que la idea ya había sido contemplada por los creadores del ENIAC, conscientes desde un principio de sus deficiencias estructurales y la dificultad de programación, antes de la llegada de von Neumann a la Moore School. Dado que, por las necesidades inmediatas del ejército, el ENIAC se construía prácticamente sin cambios y de acuerdo a su diseño original, se reservó la puesta en práctica de las innovaciones en el diseño y construcción del EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*), la máquina que había de suceder al ENIAC y cuya construcción sufrió una larga serie de reveses de todo tipo.

El mérito del borrador de von Neumann se debe, fundamentalmente, a la brillante exposición y síntesis de las ideas que habían tenido lugar durante la concepción del diseño del EDVAC, pero lo hizo sin mencionar a ningún miembro del grupo de trabajo que intervino en él. Por consiguiente, a ojos de los demás, pareció que fue él quien las originó y, con el tiempo, retuvo el mérito de todo el trabajo —von Neumann tampoco hizo un esfuerzo por aclarar esta cuestión—. La difusión de este borrador de 101 páginas entre una treintena de expertos en el tema, auspiciada por Goldstine, determinó que las siguientes máquinas se construyeran de acuerdo con los planos allí expuestos y, al mismo tiempo, evitó el intento



Figura 7: Artículo publicado por The New York Times el 15 de febrero de 1946 (izquierda) y anuncio del ejército estadounidense para el reclutamiento de *hombres* dispuestos a trabajar con el ENIAC (derecha). Se aprecia que la fotografía ha sido manipulada y ya no aparecen mujeres del artículo de la izquierda.

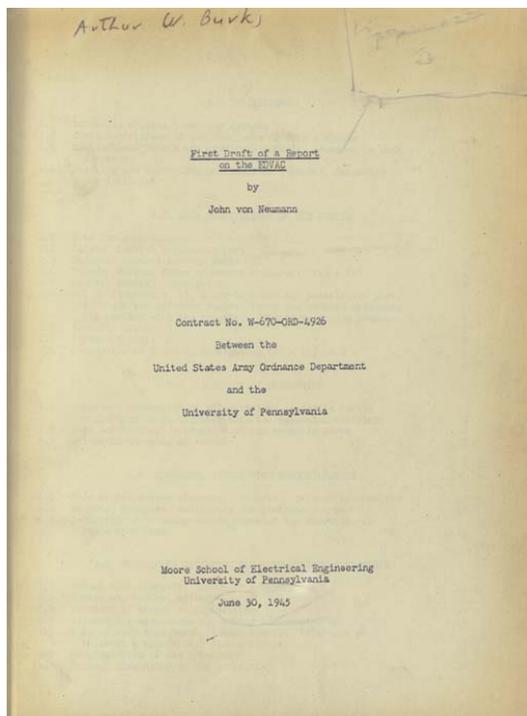


Figura 8: Portada de una de las copias del borrador "First draft of a report on the EDVAC" distribuido por Herman Goldstine (izquierda) en junio de 1944. John von Neumann (derecha).

de monopolización de la incipiente informática por parte de los intereses puramente comerciales de Eckert y Mauchly. Estos últimos nunca perdonaron esta afrenta de von Neumann y Goldstine y el resultado fue una legendaria enemistad recíproca que permaneció inalterada durante décadas.

Visto este oscuro episodio con perspectiva, resulta evidente que las disputas tuvieron origen en los malentendidos producidos por la visión de personas prácticas como Eckert y Mauchly, más centradas en el proceso constructivo de las máquinas, y la visión más amplia y sistematizadora de un teórico como von Neumann. En cualquier caso, parece claro que el uso del término *arquitectura von Neumann* para referirse a los computadores electrónicos digitales de programa almacenado no refleja fielmente la historia.

## 7. Aplicaciones del ENIAC

Aunque el ENIAC se acabó demasiado tarde para una guerra, llegó justo a tiempo para otra, la Guerra Fría, que enmarcó el nuevo contexto político mundial en el que se enfrentaron las dos potencias hegemónicas del momento, EEUU y la URSS. Este incipiente clima político determinó las nuevas aplicaciones en las que se usó el ENIAC. Para hacernos una idea de la situación social y política establecida por la Guerra Fría, señalaremos que la irracional histeria anticomunista auspiciada en EEUU por el senador McCarthy llegó a afectar al propio Mauchly quien, entre 1948 y 1952, fue objeto de una rocambolesca investigación del FBI (Augarten [2] recoge muchos detalles). La razón: Mauchly firmó una petición para la adopción de leyes en favor del control civil de la energía atómica.

Como ya hemos mencionado, la motivación del diseño del ENIAC fue la confección de las tablas de tiro de los artilleros durante la II Guerra Mundial. A pesar de la celeridad en acabar el proyecto, el ENIAC se terminó tres meses antes de la rendición japonesa y, acabada la guerra, la necesidad de las tablas pasó a un segundo plano. Desde su presentación en público el 14 de febrero de 1946 en una memorable rueda de prensa [19], ya se hizo hincapié en la versatilidad de cálculo del nuevo computador. La prensa recogió la noticia de forma sensacionalista y, empleando el habitual lenguaje metafórico de las publicaciones científicas dirigidas al gran público, se llegó a hablar de *cerebro gigante*. Poco después el ENIAC fue trasladado al BRL (Ballistic Research Laboratory) en la base militar de Aberdeen para su explotación. A modo de anécdota, cabe señalar que la URSS solicitó formalmente al gobierno norteamericano conocer los detalles del ENIAC e incluso comprarlo, petición que fue lógicamente denegada.

Aunque diseñado con el máximo cuidado en términos de fiabilidad, el uso de una cantidad tan grande de válvulas de vacío impidió que fuera un dispositivo eficiente en términos eléctricos. Por ejemplo, durante los cuatro primeros años de operación, nunca operó más del 70 % del tiempo, y lo normal fue que este valor se acercase al 50 %. Los ingenieros lo apagaban cerca de una vez por semana, circunstancia que daba pie a que más de una válvula se fundiese.

El ENIAC se dedicó principalmente a resolver problemas de dos ámbitos, el militar y el puramente científico [23]. En total, el número de problemas concretos tratados por el ENIAC está en torno al centenar. El 25 % del tiempo se usó en el cómputo de tablas balísticas, que fue el objetivo que motivó su creación. Más del 50 % de los problemas tuvieron que ver con la integración numérica de ecuaciones diferenciales no lineales. En cualquier caso, no hay que perder de vista que el ENIAC fue siempre una máquina experimental, nunca destinada a su producción en masa.

Antes de su presentación en sociedad, por sugerencia de von Neumann, el ENIAC fue programado para evaluar la viabilidad de la bomba de hidrógeno (bomba H) [2, 5, 23, 20, 26], una cuestión surgida dentro del proyecto Manhattan de Los Alamos. Este proyecto, de triste recuerdo, gestó las bombas atómicas usadas contra la población civil en Japón. El programa, diseñado por los físicos Stanley Frankel y Nicholas Metropolis, y puesto a punto con la ayuda de las programadoras del ENIAC, se ejecutó en noviembre de 1945, requirió un millón de tarjetas perforadas y reveló varios fallos en el diseño propuesto para la bomba.

El ENIAC fue utilizado en problemas de predicción meteorológica, diseño de túneles de viento, física nuclear, física de la materia y análisis de trayectorias de cohetes experimentales. Estas investigaciones dieron lugar a conocidos métodos matemáticos usados en investigación operativa y simulación, como el método de Montecarlo, el método Simplex y los primeros procedimientos de generación de números pseudoaleatorios.

El ENIAC tampoco fue ajeno a uno de los problemas clásicos del cálculo desde la Antigüedad: la expansión decimal del número  $\pi$ . En 1949 un grupo de científicos dirigidos por George Reitwiesner lo programó para calcular 2035 decimales, más del doble del último estudio que recogía 808 dígitos [24]. La máquina tardó 70 horas en obtener el resultado. Poco antes, el ENIAC había ayudado a computar 2010 decimales del número  $e$ . La intención de los científicos era conocer el grado de aleatoriedad de la distribución estadística de los dígitos decimales de estos números tan importantes en el ámbito matemático. Pero la lista de problemas no acaba aquí, hubo otros, como el cálculo del factorial y sus recíprocos de los 1000 primeros números naturales.

Finalmente, la posibilidad de disponer en la actualidad de herramientas de simulación [30] de una máquina como el ENIAC es una oportunidad inmejorable al alcance de cualquiera para comprender más profundamente cuáles fueron los principales obstáculos con que se enfrentaron las personas que lo programaron.

## 8. El ENIAC y la ciencia ficción

La presentación del ENIAC a la sociedad estadounidense fue todo un acontecimiento y, como tal, su recepción fue clamorosa [19]. Por primera vez la radio emitió noticias sobre el computador y sus imágenes se difundieron ampliamente a tra-

vés de los periódicos y revistas (el uso masivo de la televisión no se extendió hasta la década de 1950). En estas imágenes se apreciaban sus enormes dimensiones y las distintas unidades conectadas mediante cables de gran longitud. Según cuenta Elisabeth Jean Jennings, los periodistas empezaron a escribir entonces *idiotic articles* sobre máquinas pensantes y cibernética. Si examinamos las fotografías difundidas del ENIAC, las personas que estaban introduciendo datos y examinando los resultados dan la sensación de estar *al servicio* de la máquina y no al revés, en la línea de la película de ciencia ficción *Metrópolis* de Fritz Lang, realizada en 1927.

El elemento más resaltante visualmente del ENIAC eran los acumuladores (Figura 9). Cada acumulador almacenaba un número decimal de 10 dígitos cuyo valor se representaba mediante un código de luces emitidas por bombillas. En particular, cada dígito del número se hacía visible por medio de diez pequeñas luces que representaban cada uno de los posibles valores entre 0 y 9; el valor del dígito en cuestión venía dado por la posición de la bombilla que estaba encendida. En su origen, cada acumulador se limitaba a incluir una matriz de pequeños agujeros a través de los cuales las luces eran visibles. Mientras el ENIAC calculaba las luces de los acumuladores se apagaban y encendían en una especie de danza luminosa.

Poco antes de la presentación, Eckert y Mauchly se apercebieron de que la luz emitida por las bombillas era demasiado débil para que las cámaras de Pathé News pudieran captarlas. Entonces decidieron añadir en cada agujero una pequeña lámpara de neón que se encendería de acuerdo con el estado de la bombilla encima de la cual se colocaba. Pero fueron un paso más allá: tomaron pelotas de ping-pong, las cortaron por la mitad, las colocaron encima de las lámparas de neón y escribieron la cifra que representaba a fin de que la audiencia pudiera ver y comprender lo que mostraban los acumuladores. Incluso la velocidad del ENIAC fue reducida notablemente para que las cámaras pudieran captar el movimiento de las luces [14, 20].

La puesta en escena no pasó desapercibida a los directores de Hollywood: creyeron que, para que un computador funcionase, había que contemplar un despliegue de conmutadores, cables y luces. Una tradición visual, empleada en la inmensa mayoría de películas de ciencia ficción, que potenció el lado sublime de la tecnología en general y de la informática en particular, y que ha perdurado desde entonces. Todavía hoy podemos percibirla en películas de culto como la trilogía *Matrix* (1990–2003).

## 9. Aspectos pedagógicos

Llegados a este punto se hace patente que el ENIAC pone sobre la mesa un amplio surtido de cuestiones susceptibles de ser tratadas desde un punto de vista didáctico. En este apartado sugerimos una pequeña muestra de propuestas que pueden plantearse en el ámbito de la docencia universitaria de informática.

Por un lado, el entorno social y cultural que envolvió el diseño e implementación del ENIAC permite abordar temas transversales que pueden llamar la atención de nuestros alumnos, muchos de los cuales —a pesar de los tópicos— están comprometidos con la sociedad en cuestiones como la sostenibilidad y el medio ambiente, los derechos humanos, los usos civiles de la tecnología, etcétera. Estos temas, por su naturaleza, están orientados hacia la puesta en común y el debate. Entre ellos sugerimos:

- ¿La informática interesa a las mujeres? Los tópicos frente a la realidad: el papel de la mujer en el desarrollo de la informática.
- Los usos de la tecnología: ámbitos civil y militar. ¿Cuál debe ser el papel del científico? Se puede plantear, como punto de partida, la interesante novela de Leonardo Sciascia “La desaparición de Majorana” [25] que gira en torno a la energía atómica y el binomio ética-ciencia.
- Proyección y percepción social de la informática. El papel de la informática en la sociedad y la imagen del informático.
- La importancia de ser el primero: tratamiento histórico del ENIAC frente al de las máquinas británicas Colossus y LEO. Para este tema recomendamos la visión de los vídeos “Colossus: Creating a Giant” [4] y “LEO: Celebrating The Pionners” [17], ambos realizados por Google.

En esta misma línea de transversalidad, se pueden plantear otras actividades a modo de pequeños trabajos de una o dos páginas de extensión como máximo, en los que los alumnos analizan algún tema concreto de los expuestos en este artículo. Para no desanimar al alumno en este tipo de actividades, el ámbito de búsqueda se restringe a una o dos referencias bibliográficas. Sirvan los siguientes como casos de estudio:

- La Pascaline: representación de números enteros, implementación de las operaciones aritméticas, difusión y uso de la máquina en la sociedad de la época [29].
- Terminología: acepciones de términos como computador, ordenador y calculadora, y su uso actual en diferentes idiomas [15, 16].
- Contexto y perspectiva histórica: análisis del tratamiento de la perspectiva histórica en algún libro de la bibliografía de la asignatura, como por ejemplo [22].

Por otra parte, y ya dentro de un plano más técnico, se pueden establecer paralelismos entre el ENIAC y los modernos procesadores. Aunque difieren ampliamente en su arquitectura, un estudio comparativo puede resultar didácticamente fructífero. De hecho, podemos encontrar todavía importantes similitudes entre las unidades funcionales del ENIAC y los elementos constitutivos de los procesadores actuales. En particular, abordaremos una posible aplicación en la asignatura

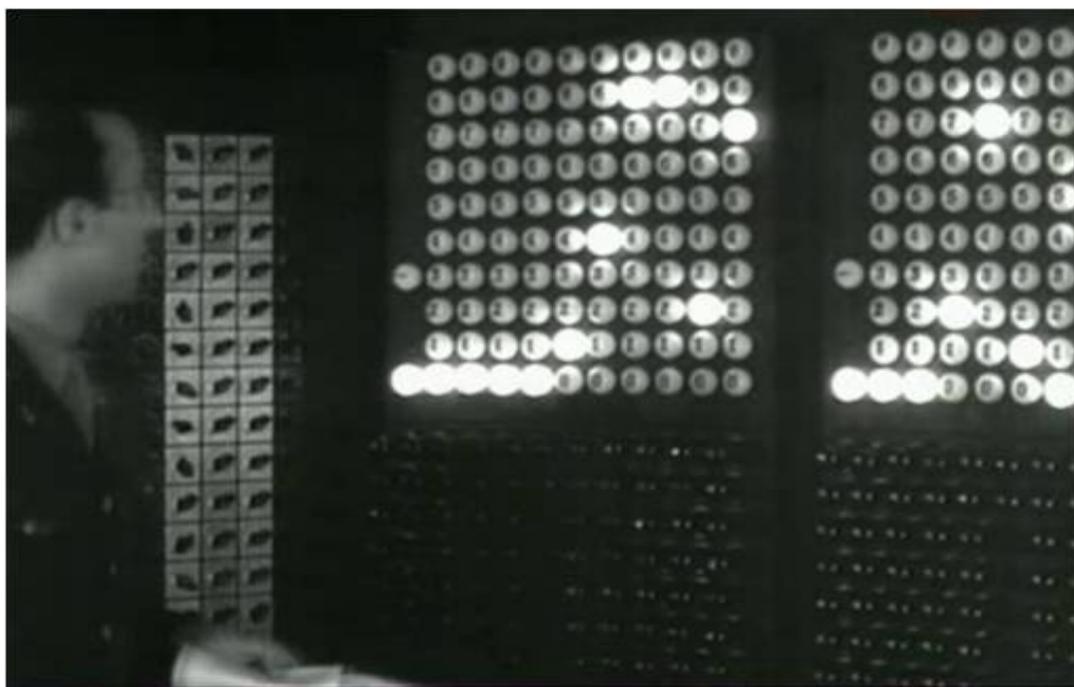


Figura 9: Aspecto de un acumulador durante la operación del ENIAC tal como se presentó a la sociedad en un reportaje gráfico.

de Grado en Informática *Estructura de Computadores*, de segundo curso, en la que tiene experiencia el autor, y que se centra en la arquitectura y la programación del procesador MIPS R2000 [22].

El ENIAC estaba constituido por un total de 40 paneles distribuidos en una sala formando una especie de U (Figura 1). De ellos, 20 eran acumuladores, que fueron diseñados como una especie de combinación entre registro y unidad aritmética (ALU, *Arithmetic Logic Unit*). La máquina trabajaba en base decimal y los valores negativos se representaban, como hemos dicho, en complemento a 10. Un indicador de signo señalaba en el panel frontal del acumulador si el número almacenado era positivo o negativo. Vemos, por tanto, que la representación de los números enteros en el ENIAC contrasta con el criterio complemento a 2 empleado en los computadores modernos. Pero no todo son diferencias: el criterio signo y magnitud usado en el ENIAC también se aplica, por ejemplo, en la codificación de los números reales del estándar IEEE 754.

Los acumuladores no eran direccionables de forma individual, como ocurre en los procesadores modernos, y transmitían información a otros acumuladores mediante una conexión *ad hoc* con cables (Figura 5) —el proceso de cableado formaba parte intrínseca de la programación del ENIAC—. Un acumulador podía recibir datos de hasta 12 acumuladores, pero solamente era capaz de transferir información a un máximo de dos. Un acumulador podía, además de almacenar un valor numérico, hacer sumas o restas sobre dicho valor. Por ejemplo, un acumulador podía recibir un número a través de un puerto de entrada, digamos el  $\delta$ , sumarlo repetidas veces al número que estaba almacenado, y transmitir luego a otra uni-

dad de la máquina el valor negado del resultado a través del puerto de salida  $S$ .

El ENIAC disponía de tres unidades de multiplicación que efectuaban el cómputo mediante el conocido algoritmo que usamos al multiplicar con lápiz y papel. Estas unidades hacían uso de las tablas de multiplicar que todos aprendemos de pequeños en el colegio, las cuales estaban almacenadas en las denominadas tablas de función (*function tables*), de forma similar a las memorias ROM modernas. La unidad de multiplicación se limitaba a llevar a cabo la suma de los productos parciales y se conectaba, por ejemplo, a 4 acumuladores: dos para el multiplicando y el multiplicador y dos más para el resultado. Un hecho parecido ocurre en el MIPS R2000, que dispone de una unidad de multiplicación (y división) de enteros con dos registros especiales, HI y LO. Estos registros sirven para almacenar el resultado del producto de dos números de 32 bits, que puede llegar a ocupar 64 bits, y sirven además para almacenar el resto y el cociente, respectivamente, en el caso de una división.

Dado su coste temporal, los programadores intentaban eludir el producto siempre que les era posible, y lo reemplazaban, por ejemplo, mediante un conjunto de sumas y desplazamientos. De este modo, multiplicar por 3 se solía sustituir por una suma repetida 3 veces; multiplicar por una potencia de 10, por ejemplo  $10^5$ , se resolvía mediante el desplazamiento a la izquierda de 5 posiciones del número y la inserción de 5 ceros en los lugares de menor peso. No es una sorpresa que estas técnicas se sigan aplicando por parte de los compiladores modernos en las multiplicaciones por constantes. Por citar un ejemplo concreto, la codificación por Booth de una constante

entera puede ayudar en ocasiones a sustituir un producto por un número limitado de sumas, restas y desplazamientos a la izquierda. En los computadores modernos, sin embargo, dado que se trabaja en base 2, los desplazamientos a la izquierda involucran a operaciones con potencias de 2 y no de 10, como ocurría en el ENIAC.

Un caso parecido ocurre con las operaciones de división y raíz cuadrada. Una unidad especial del ENIAC se encargaba de llevarlas a cabo mediante una sucesión de sumas y restas. En el caso de la división se aplicaba el conocido algoritmo de la división con restauración, similar al utilizado habitualmente con lápiz y papel, en el que al dividendo se le va restando el divisor hasta que aquel se hace negativo. El cálculo de la raíz cuadrada  $\sqrt{n}$  se basaba en una propiedad ligada a los números impares que permitía primero, mediante sumas y restas, conseguir una buena aproximación del valor  $2\sqrt{n}$ . Llegados a este punto la división por 2 se resolvía sumando 5 veces el valor anterior (equivale a multiplicar por cinco) y desplazando una posición a la izquierda (equivale a dividir por 10). En el caso del MIPS R2000, por tratarse de una máquina binaria, hubiese bastado con desplazar el resultado  $2\sqrt{n}$  una posición hacia la izquierda.

En su concepción inicial el ENIAC era una máquina intrínsecamente paralela, y de hecho, todas las unidades que lo componían podían trabajar en paralelo, de una forma parecida a como opera la segmentación en los procesadores actuales: los acumuladores se podían disponer organizados en grupos de forma que operasen sobre unos datos de entrada y, a continuación, enviaran los resultados a otro grupo, como si fuesen las etapas de segmentación de un procesador moderno. Desgraciadamente, la dificultad de programación impidió que este tipo de paralelismo potencial fuera suficientemente explotado.

Como ya hemos apuntado, una vez constatada la tremenda dificultad de programar el ENIAC, se decidió transformarlo en un computador de programa almacenado. Para ello se estableció una conexión fija entre los acumuladores y el resto de unidades y se usaron las tablas de función a modo de memoria del programa. Cada instrucción se representaba mediante un número de dos dígitos decimales. Un acumulador actuaba como contador de programa y las instrucciones se ejecutaban de forma secuencial. Del conjunto total de 60 instrucciones, 50 se usaban para el movimiento de datos tanto entre acumuladores como entre acumuladores y las unidades de entrada/salida. Pues bien, estas instrucciones tenían una semántica muy similar a las instrucciones que involucran registros en un procesador moderno de tipo RISC como el MIPS R2000, donde solamente hay una manera de hacer la suma o de mover información entre registros.

Siguiendo con este tipo de actividades comparativas entre el ENIAC y los procesadores y sistemas informáticos modernos, hay aspectos que pueden dar lugar a pequeños ejercicios y cuestiones susceptibles de ser resueltos en clase. A modo de ejemplo sugerimos los siguientes:

- Comparar el rango de representación de números enteros de un acumulador del ENIAC ( $[-(10^{10} - 1), 10^{10} -$

$1]$ ) con el de un registro del MIPS R2000 ( $[-2^{31}, 2^{31} - 1]$ ).

- Calcular la capacidad de almacenamiento del ENIAC (20 acumuladores de 10 dígitos decimales) y compararlo con la capacidad del banco de registros enteros del MIPS R2000 (32 registros de 32 dígitos binarios).
- Comparar el rendimiento aritmético del ENIAC y el del MIPS R2000. Se pueden tomar como referencia los  $10 \mu s$  y  $2,8 ms$  que tardan la suma y el producto, respectivamente, en el ENIAC, y compararlos con un MIPS R2000 segmentado en 5 etapas y con un reloj a 8 MHz.
- Analizar las técnicas de mejora de la fiabilidad aplicadas en el ENIAC y compararlas con las utilizadas en sistemas actuales como, por ejemplo, la redundancia modular  $N$  (NMR, *N Modular Redundancy*), tanto en el hardware como en el software.
- Estimar el coste económico asociado al consumo eléctrico anual del ENIAC y compararlo con el de servidores y centros de procesamiento de datos actuales.

Finalmente, en cuanto a la programación del ENIAC, no hay nada como intentarlo uno mismo, aunque sea mediante un simulador, para ponernos en la piel de las personas que trabajaron con él. Basta para ello con la programación de la máquina para calcular una sencilla expresión aritmética. En este caso se puede utilizar el simulador propuesto en el artículo de Zoppke y Rojas [30] para trabajar en la preparación (*setup*) del ENIAC y calcular la expresión  $5 \times 8 + 2$ , un caso sencillo que viene incluido en el propio simulador (Figura 10). Aunque hay otros de mayor complejidad para los que se atreven a ir un poco más lejos, este ejemplo inicial, que puede ser adaptado a la resolución de expresiones similares, es suficiente para tener una idea bastante aproximada de la forma en que se programaba esta máquina.

## 10. Conclusiones

En este trabajo hemos mostrado cómo el estudio de un computador clásico como el ENIAC puede contribuir de manera decisiva a comprender y situar en su justo término un gran número de conocimientos útiles tanto técnicos como humanos. En general, el estudio del desarrollo tecnológico y de su contexto histórico permite tratarlo con la perspectiva adecuada y ayuda, al mismo tiempo, a valorar mejor la tecnología actual y facilitar las proyecciones hacia el futuro.

El análisis del proceso de diseño y construcción del ENIAC posibilita abordar cuestiones técnicas como los primeros usos de la electrónica en computadores, las fuentes de inspiración que intervinieron en su diseño o el advenimiento del concepto de programa almacenado. Ahora bien, el estudio de su contexto histórico también arroja luz sobre otros asuntos de índole social, político o cultural, tales como a qué usos se destina la tecnología de vanguardia, cuál es su proyección

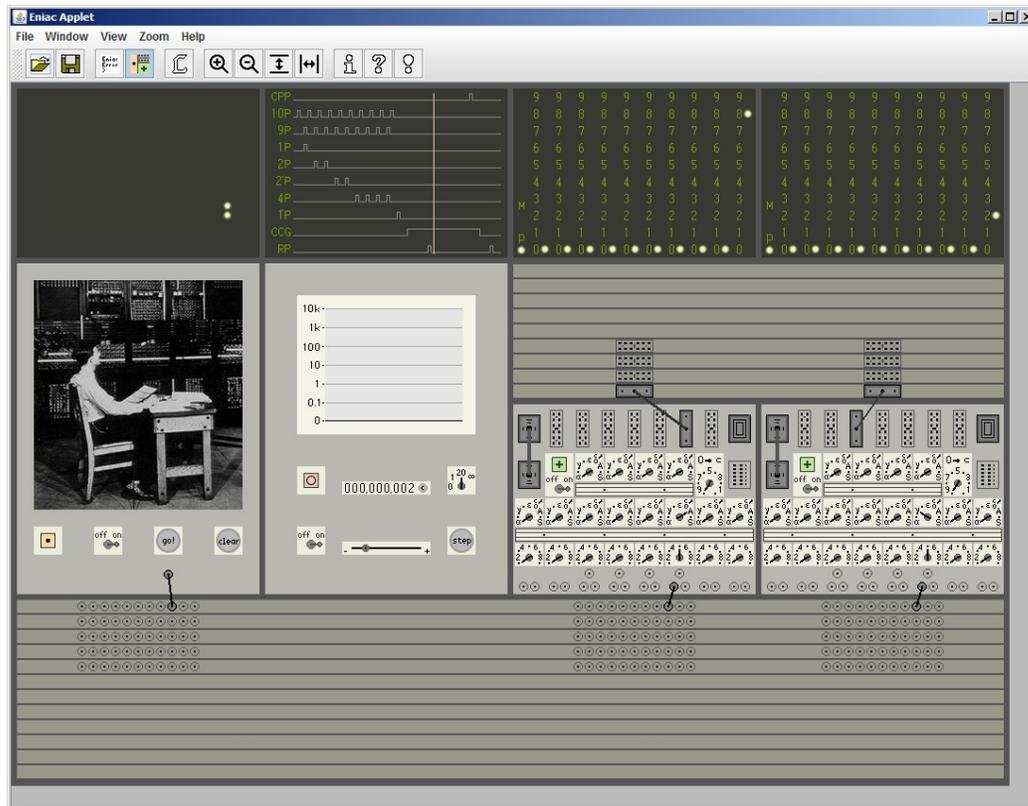


Figura 10: Simulador del ENIAC configurado para el cálculo de la expresión  $5 \times 8 + 2$ . En los dos paneles de la derecha hay dos acumuladores que contienen un 8 y un 2, respectivamente. También son visibles los conmutadores y los cables que conectan las distintas unidades.

y percepción en la sociedad civil o qué grado de objetividad tiene la historia de la informática escrita hasta la fecha. En definitiva, creemos que, en su conjunto, el ENIAC todavía es capaz de sorprendernos con un rico conjunto de temas que, de manera específica, podrían aprovecharse y formar parte de los contenidos de las asignaturas que conforman los actuales estudios universitarios de informática.

## Referencias

- [1] Franz L. Alt: Archaeology of Computers: Reminiscences, 1945-1947. *Communications of the ACM*, vol. 15, núm. pp. 693–694, julio de 1972.
- [2] Stan Augarten: *Bit by bit: an illustrated history of computers*. George Allen & Unwin, Londres, 1984.
- [3] Miquel Barceló: *Una història de la informàtica*. Editorial UOC, Barcelona, 2008.
- [4] *Colossus: Creating a Giant*. Vídeo disponible en <http://www.youtube.com/watch?v=knXWMjIA59c>.
- [5] W. Barkley Fritz: ENIAC — a problem solver. *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 16, núm. 1, pp. 25–45, primavera de 1994.
- [6] Jeremy Berstein: *La máquina analítica: pasado, presente y futuro de los computadores*. Labor, Barcelona, 1988.
- [7] J. G. Brainerd y T. K. Sharpless: The ENIAC. *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, núm. 6, pp. 1031–1041, junio de 1999. Reimpreso de *Electrical Engineering*, vol. 67, núm. 2, pp. 163–172, febrero de 1948.
- [8] Philippe Breton: *Historia y crítica de la informática*. Cátedra, Madrid, 1989.
- [9] Martin Campbell-Kelly y William Aspray: *Computer: a history of the information machine*. Westview Press, segunda edición, 2004.
- [10] Paul E. Ceruzzi: *A history of modern computing*. MIT Press, segunda edición, 2003.
- [11] Carlos A. Coello Coello: *Breve historia de la computación y sus pioneros*. Fondo de Cultura Económica, México, 2003.
- [12] Comunicado de prensa del Departamento de la Guerra, emitido el 15 de febrero de 1946. Consultado en <http://americanhistory.si.edu/comphist/pr1.pdf>.
- [13] Herman H. Goldstine: *The computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press, 1980.
- [14] Mike Hally: *Electronic brains: stories from the dawn of the computer age*. Granta Books, Londres, 2005.
- [15] Georges Ifrah: *The universal history of computing: from the abacus to the quantum computer*. John Wiley & Sons, Nueva York, 2001.
- [16] Georges Ifrah: *Historia universal de las cifras*. Espasa Calpe, S.A., Madrid, sexta edición, 2008.
- [17] *LEO: Celebrating The Pionners*. Vídeo disponible en <http://www.youtube.com/watch?v=Lrn24SdW64I>.
- [18] Jennifer S. Light: When computers were women. *Technology and Culture*, vol. 40, núm. 3, pp. 455–483, julio de 1999.
- [19] C. Dianne Martin: ENIAC: press conference that shook the world. *IEEE Technology and Society Magazine*, vol. 4, núm. 14, pp. 3–10, invierno de 1995/1996.
- [20] Scott McCartney: *ENIAC: The triumphs and tragedies of the world's first computer*. Walker and Company, Nueva York, 1999.
- [21] Xavier Molero: ENIAC: una máquina y un tiempo por redescubrir. *Actas de las XIX Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2013*, pp. 241–248, Castellón, julio de 2013.
- [22] David A. Patterson y John L. Hennessy: *Estructura y diseño de computadores. La interfaz hardware/software*, segunda edición. Reverté, Barcelona, 2011.
- [23] Manuel Perera Domínguez: ENIAC, matemáticas y computación científica. *La Gaceta*, vol. 2, núm. 3, pp. 495–518, 1999.
- [24] Brian J. Shelburne: The ENIAC's 1949 determination of  $\pi$ . *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 34, núm. 3, pp. 44–54, julio-septiembre de 2012.
- [25] Leonardo Sciascia: *La desaparición de Majorana*. Tusquets, Barcelona, 2007.
- [26] Joel Shurkin: *Engines of the mind: the evolution of the computer from mainframes to microprocessors*. W. W. Norton & Company, Nueva York, 1996.
- [27] Jan Van der Spiegel, James F. Tau, Titiimaea F. Ala'ilima y Lin Ping Ang: The ENIAC: history, operation and reconstruction in VLSI. En Raúl Rojas y Ulf Hashagen (editores), *The first computers: history and architectures*, pp. 121–178. MIT Press, 2000.
- [28] Eric G. Swedin y David L. Ferro: *Computers: the life story of a technology*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2005.
- [29] Michael R. Williams: *A history of computing technology*, segunda edición. IEEE Society Press, Los Alamitos, CA, 1997.

- [30] Till Zoppke y Raúl Rojas: The virtual life of ENIAC: simulating the operation of the first electronic computer. *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 28, pp. 18–25, abril de 2006.



*Xavier Molero* es profesor titular del Departament d'Informàtica de Sistemes i Computadors de la Universitat Politècnica de València. Imparte asignaturas relacionadas con la estructura y la evaluación del rendimiento de los sistemas informáticos. En la actualidad es director del Museo de Informática de la ETSINF (<http://museo.inf.upv.es>) y centra su interés en los aspectos históricos y socioculturales de la informática.

---

©texto 2014 X. Molero. El texto de este artículo es de acceso libre distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons de Atribución, que permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra en cualquier medio, sólido o electrónico, siempre que se acrediten a los autores y fuentes originales. La presente es una obra cultural sin ánimo de lucro. El propósito de las imágenes que aparecen reproducidas no es otro que el de apoyar el texto del autor.