

**Novática**, revista fundada en 1975 y decana de la prensa informática española, es el órgano oficial de expresión y formación continua de **ATI** (Asociación de Técnicos de Informática), organización que edita también la revista **REICIS** (Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software).

<<http://www.ati.es/novatica/>>  
<<http://www.ati.es/reicis/>>

ATI es miembro fundador de **CEPIS** (Council of European Professional Informatics Societies) y es representante de España en **IFIP** (International Federation for Information Processing); tiene un acuerdo de colaboración con **ACM** (Association for Computing Machinery), así como acuerdos de vinculación o colaboración con **AdaSpain**, **AIZ**, **ASTIC**, **RITSI** e **HispaLinux**, junto a la que participa en **Prolnova**.

#### Consejo Editorial

Guillem Alsina González, Rafael Fernández Calvo (presidente del Consejo), Jaime Fernández Martínez, Luis Fernández Sanz, José Antonio Gutiérrez de Mesa, Silvia Leal Martín, Didac López Vilas, Francesc Noguera Puig, Joan Antoni Pastor Collado, Andrés Pérez Payera, Viktu Pons i Colomer, Moisés Robles Gener, Cristina Vigil Díaz, Juan Carlos Vigo López

#### Coordinación Editorial

Llorenç Pagés Casas <[pages@ati.es](mailto:pages@ati.es)>

#### Composición y autedición

Jorge Lácer Gil de Ranales

#### Traducciones

Grupo de Lengua e Informática de ATI <<http://www.ati.es/gt/lengua-informatica/>>

#### Administración

Tomás Brunete, María José Fernández, Enric Camarero

#### Secciones Técnicas - Coordinadores

##### Acceso y recuperación de la información

José María Gómez Hidalgo (Optenet), <[jmgomez@yaho.com](mailto:jmgomez@yaho.com)>

Manuel J. María López (Universidad de Huelva), <[manuel.maria@dieisa.uhu.es](mailto:manuel.maria@dieisa.uhu.es)>

##### Administración Pública electrónica

Francisco López Crespo (MAE), <[flc@ati.es](mailto:flc@ati.es)>

Sebastià Justicia Pérez (Diputación de Barcelona) <[sjusticia@ati.es](mailto:sjusticia@ati.es)>

##### Arquitecturas

Enrique F. Torres Moreno (Universidad de Zaragoza), <[enrique.torres@unizar.es](mailto:enrique.torres@unizar.es)>

José Filich Cardo (Universidad Politécnica de Valencia), <[jfilich@disca.upv.es](mailto:jfilich@disca.upv.es)>

##### Auditoría SITIC

Marina Tourinho Trulliflo, <[marinatourinho@marinatourinho.com](mailto:marinatourinho@marinatourinho.com)>

Sergio Gómez-Landero Pérez (Endesa), <[sergio.gomezlandero@endesa.es](mailto:sergio.gomezlandero@endesa.es)>

##### Derecho y tecnologías

Isabel Hernando Collazos (Fac. Derecho de Donostia, UPV), <[isabel.hernando@ehu.es](mailto:isabel.hernando@ehu.es)>

Elena Davara Fernández de Marcos (Davara & Davara), <[edavara@davara.com](mailto:edavara@davara.com)>

##### Enseñanza Universitaria de la Informática

Cristóbal Pareja Flores (DSIP-UCM), <[cpajera@sip.ucm.es](mailto:cpajera@sip.ucm.es)>

J. Ángel Velázquez Iturbide (DLSI1, URJC), <[angel.velazquez@urjc.es](mailto:angel.velazquez@urjc.es)>

##### Entorno digital personal

Andrés Marín López (Univ. Carlos III), <[amarin@it.uc3m.es](mailto:amarin@it.uc3m.es)>

Diego Gachet Páez (Universidad Europea de Madrid), <[gachet@uem.es](mailto:gachet@uem.es)>

##### Estándares Web

Encarna Quesada Ruiz (Virati), <[encarna.quesada@virati.com](mailto:encarna.quesada@virati.com)>

José Carlos del Arco Prieto (TOP Sistemas e Ingeniería), <[jcarco@gmail.com](mailto:jcarco@gmail.com)>

##### Gestión del Conocimiento

Juan Baiget Solé (Cap Gemini Ernst & Young), <[joan.baiget@ati.es](mailto:joan.baiget@ati.es)>

##### Gobierno corporativo de las TI

Manuel Palao García-Suñto (ATI), <[manuel@palao.com](mailto:manuel@palao.com)>

Miguel García-Monendez (ITI) <[mgarciamonendez@ititrends.institute.org](mailto:mgarciamonendez@ititrends.institute.org)>

##### Informática y Filosofía

José Ángel Olivás Varela (Escuela Superior de Informática, UCLM), <[joseangel.olivas@uclm.es](mailto:joseangel.olivas@uclm.es)>

Roberto Feltreiro Dreja (UNED), <[rfeltreiro@gmail.com](mailto:rfeltreiro@gmail.com)>

##### Informática Gráfica

Miguel Chover Sellés (Universitat Jaume I de Castellón), <[mchover@lsi.uji.es](mailto:mchover@lsi.uji.es)>

Roberto Vivó Hernández (Eurographics, sección española), <[rvivo@dsic.upv.es](mailto:rvivo@dsic.upv.es)>

##### Ingeniería del Software

Javier Dolado Cosin (DLSI-UPV), <[ddolado@si.shu.es](mailto:ddolado@si.shu.es)>

Daniel Rodríguez García (Universidad de Alcalá), <[daniel.rodriguez@uah.es](mailto:daniel.rodriguez@uah.es)>

##### Inteligencia Artificial

Vicente Boti Navarro, Vicente Julián Inglada (DSIC-UPV), <[vbotti.vinglada@dsic.upv.es](mailto:vbotti.vinglada@dsic.upv.es)>

##### Interacción Persona-Computador

Pedro M. Latorre Andrés (Universidad de Zaragoza, AIPO), <[platorre@unizar.es](mailto:platorre@unizar.es)>

Francisco L. Gutiérrez Vela (Universidad de Granada, AIPO), <[fgutierrez@ugr.es](mailto:fgutierrez@ugr.es)>

##### Lengua e Informática

M. del Carmen Ugarte García (ATI), <[cugarte@ati.es](mailto:cugarte@ati.es)>

##### Lenguajes Informáticos

Oscar Belmonte Fernández (Univ. Jaime I de Castellón), <[obelfern@lsi.uji.es](mailto:obelfern@lsi.uji.es)>

Inmaculada Coma Tarray (Univ. de Valencia), <[inmaculada.coma@uv.es](mailto:inmaculada.coma@uv.es)>

##### Lingüística computacional

Xavier Gómez Guinovart (Univ. de Vigo), <[xgg@uvigo.es](mailto:xgg@uvigo.es)>

Manuel Palomar (Univ. de Alicante), <[mpalomar@disi.ua.es](mailto:mpalomar@disi.ua.es)>

##### Mundo estudiantil y jóvenes profesionales

Federico C. Mon Trotti (GITM), <[gitm@gmail.com](mailto:gitm@gmail.com)>

Mikel Salazar Peña (Área de Jóvenes Profesionales, Junta de ATI Madrid), <[mikelbo\\_uni@yahoo.es](mailto:mikelbo_uni@yahoo.es)>

##### Profesión Informática

Rafael Fernández Calvo (ATI), <[rfcalvo@ati.es](mailto:rfcalvo@ati.es)>

Miguel Sarrías Grifó (ATI), <[miguel@sarrias.net](mailto:miguel@sarrias.net)>

##### Redes y servicios telemáticos

José Luis Marzo Lázaro (Univ. de Girona), <[joseluis.marzo@udg.es](mailto:joseluis.marzo@udg.es)>

Juan Carlos López López (UCLM), <[juancarlos.lopez@uclm.es](mailto:juancarlos.lopez@uclm.es)>

##### Robótica

José Cortés Arenas (Sopra Group), <[joscortea@gmail.com](mailto:joscortea@gmail.com)>

Juan González Gómez (Universidad CARLOS III), <[juan@iearobotics.com](mailto:juan@iearobotics.com)>

##### Seguridad

Javier Arellano Bertolin (Univ. de Deusto), <[jarellito@deusto.es](mailto:jarellito@deusto.es)>

Javier López Muñoz (ETSI Informática-UMA), <[jlm@lcc.uma.es](mailto:jlm@lcc.uma.es)>

##### Sistemas de Tiempo Real

Alejandro Alonso Muñoz, Juan Antonio de la Puente Alfaro (DIT-UPM), <[almonso.puente](mailto:almonso.puente)>

##### Software Libre

Jesús M. González Barahona (GSYC - URJC), <[jgb@gsyc.es](mailto:jgb@gsyc.es)>

Israel Hernández Tabernero (Universidad Politécnica de Madrid), <[isra@herreraiz.org](mailto:isra@herreraiz.org)>

##### Tecnología de Objetos

Jesus Garcia Molina (DIS-UM), <[jmolina@um.es](mailto:jmolina@um.es)>

Gustavo Rossi (LIFIA-UNLP Argentina), <[gustavo@sol.info.unlp.edu.ar](mailto:gustavo@sol.info.unlp.edu.ar)>

##### Tecnologías para la Educación

Juan Manuel Dodero Berardo (UC3M), <[dodero@inf.uc3m.es](mailto:dodero@inf.uc3m.es)>

César Pablo Córcoles Briongo (UOC), <[ccorcoles@uoc.edu](mailto:ccorcoles@uoc.edu)>

##### Tecnologías y Empresa

Didac López Vilas (Universitat de Girona), <[didac.lopez@ati.es](mailto:didac.lopez@ati.es)>

Alonso Álvarez García (TID), <[agag@tid.es](mailto:agag@tid.es)>

##### Tendencias tecnológicas

Gabriel Martí Fuentes (Interbits), <[gabi@atinet.es](mailto:gabi@atinet.es)>

Juan Carlos Vigo (ATI) <[juancarlosvigo@atinet.es](mailto:juancarlosvigo@atinet.es)>

##### TIC y Turismo

Andrés Aguayo Maldonado, Antonio Guevara Plaza (Univ. de Málaga), <[aguayo.guevara@lcc.uma.es](mailto:aguayo.guevara@lcc.uma.es)>

##### Coordinación Editorial, Redacción Central y Redacción ATI Madrid

Plaza de España 6, 2ª planta, 28008 Madrid  
Tlfm. 914029391; fax. 913093685 <[novatica@ati.es](mailto:novatica@ati.es)>

##### Composición, Edición y Redacción ATI Valencia

Av. del Reino de Valencia 23, 46005 Valencia  
Tlfm. 963740173 <[novatica\\_valencia@ati.es](mailto:novatica_valencia@ati.es)>

##### Administración y Redacción ATI Cataluña

Calle Avila 50, 3a planta, local 9, 08005 Barcelona  
Tlfm. 934125235; fax. 934127113 <[secretgen@ati.es](mailto:secretgen@ati.es)>

##### Redacción ATI Andalucía

<[secretand@ati.es](mailto:secretand@ati.es)>

##### Redacción ATI Galicia

<[secretgal@ati.es](mailto:secretgal@ati.es)>

##### Subscripción y Ventas

<[novatica\\_subscripciones@atinet.es](mailto:novatica_subscripciones@atinet.es)>

##### Publicidad

Plaza de España 6, 2ª planta, 28008 Madrid  
Tlfm. 914029391; fax. 913093685 <[novatica@ati.es](mailto:novatica@ati.es)>

##### Imprenta:

Derra S.A., Juan de Austria 66, 08005 Barcelona.

##### Depósito legal:

B. 15.154-1975 - ISSN: 0211-2124; CODEN NOVACA

##### Portada:

"Sueños probatorios" - Onofre Arias Pérez / © ATI

##### Diseño:

Fernando Agresta / © ATI 2003

Nº 224, julio-agosto 2013, año XXXIX

## editorial

**La proyección internacional de ATI, una apuesta de futuro**

> 02

**noticias de ATI**

**Nueva Junta Directiva General**

> 02

**noticias de IFIP**

**Asamblea General de IFIP 2013**

> 03

*Ramon Puigjaner Trepal*

**en resumen**

**Nuestra centenaria se reivindica con fuerza**

> 04

*Llorenç Pagés Casas*

## monografía

**Pruebas de software: nuevos retos**

Editores invitados: *Daniel Rodríguez García, José Javier Dolado Cosin*

**Presentación. Mejorando el proceso de pruebas de software: Estado del arte**

> 05

*Daniel Rodríguez García, José Javier Dolado Cosin*

**Procesos de pruebas basados en modelos: Un compromiso adecuado entre teoría y práctica**

> 07

*Manuel Núñez, Mercedes G. Merayo, Robert M. Hierons*

**Cobertura de consultas SQL y sus aplicaciones**

> 13

*Javier Tuya, Claudio de la Riva, María José Suárez-Cabal, Raquel Blanco*

**Algoritmos bio-inspirados para la automatización de pruebas de software en la industria**

> 20

*Javier Ferrer, Francisco Chicano, Enrique Alba*

**Priorización de casos de prueba: Avances y retos**

> 27

*Ana Belén Sánchez Jerez, Sergio Segura Rueda, Antonio Ruiz-Cortés*

**Utilización de MDE para la prueba de sistemas de información web**

> 33

*Federico Toledo Rodríguez, Macario Polo Usaola, Beatriz Pérez Lamancha*

**La norma ISO/IEC/IEEE 29119 - Software Testing**

> 40

*Javier Tuya*

**Un marco metodológico para evaluar técnicas y herramientas para pruebas del software**

> 41

*Tanja E. J. Vos, Beatriz Marín, María José Escalona Cuaresma*

**Medición de pruebas para la mejora de la calidad y la eficiencia**

> 46

*Celestina Bianco*

## secciones técnicas

**Administración Pública electrónica:**

**Voto electrónico venezolano: Implementación prototípica de tecnodemocracia**

> 51

*Sebastià Justicia Pérez, José Daniel González*

**Enseñanza Universitaria de la Informática**

> 59

**ENIAC: una máquina y un tiempo por redescubrir**

*Xavier Molero*

**Entorno Digital Personal**

**Computación en la nube, Big Data y sensores inalámbricos para la**

> 66

**provisión de nuevos servicios de salud**

*Diego Gachet Páez, Juan. Ramón Ascanio Padilla, Israel Sánchez de Pedro Peces-Barba*

> 72

**Referencias autorizadas**

## sociedad de la información

**Programar es crear**

**El problema de la carrera de autos**

> 77

**(Competencia UTN-FRC 2012, enunciado)**

*Julio Javier Castillo, Diego Javier Serrano, Marina Elizabeth Cárdenas*

**El problema del CUIT**

> 78

**(Competencia UTN-FRC 2012, problema D, solución)**

*Julio Javier Castillo, Diego Javier Serrano, Marina Elizabeth Cárdenas*

## Asuntos Interiores

**Coordinación editorial / Programación de Novática / Socios Institucionales**

> 79

Tema del próximo número: "Empresa 2.0"

Xavier Molero

Departament d'Informàtica de Sistemes i Computadors, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica, Universitat Politècnica de València

<xmolero@disca.upv.es>

# ENIAC: una máquina y un tiempo por redescubrir

Este artículo fue presentado en las XIX Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2013) que se celebraron en Castellón de la Plana del 10 al 12 de julio de 2013 y de las que ATI fue entidad colaboradora.

## 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), 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 [10].

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 limitaciones.

Las principales desventajas serias del ENIAC fueron su reducida capacidad de memoria y su extremadamente difícil programación. Esta última se llevaba a cabo, *grosso modo*, mediante la manipulación de conmutadores y la conexión de cables; como afirmaría más tarde Elizabeth Jean Jennings, una de sus primeras programadoras, *the ENIAC was a son-of-a-bitch to program* [13]. 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 de ámbito universitario, excepto en raras ocasiones como el conocido libro de Patterson y Hennessy [14], 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 electrónico, 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 di-

**Resumen:** Aunque los computadores actuales son más pequeños, baratos y rápidos que los precedentes, muy a menudo el estudio minucioso de las viejas glorias de la historia de la informática nos permite comprender mejor, no solo algunos de los aspectos de la tecnología informática de aquel momento e incluso de la actual, sino también rasgos socioculturales propios del entorno científico y humano de la época concreta en que estas venerables máquinas se desarrollaron. El ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), uno de los primeros computadores electrónicos de la historia, nunca imitado y el único disponible en EEUU entre 1946 y 1949, es un buen ejemplo de todo ello. Y aún más: analizar sus restos 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 mostrar que el estudio del proceso de diseño, construcción y uso posterior de esta máquina de carácter experimental nos puede aportar, todavía, un gran abanico de conocimientos útiles y, consecuentemente, podría formar parte de los contenidos de asignaturas básicas tanto de programación como de arquitectura y estructura de computadores.

**Palabras clave:** Arquitectura y tecnología de computadores, historia de la informática, programación, sociedad e informática.

mensiones. Y aquí es donde, en nuestra opinión, se comete un grave error, pues se dejan de lado otras valiosas cuestiones susceptibles de ser aprovechadas para la formación de los ingenieros informáticos y cuyo análisis abordamos de manera somera en este artículo.

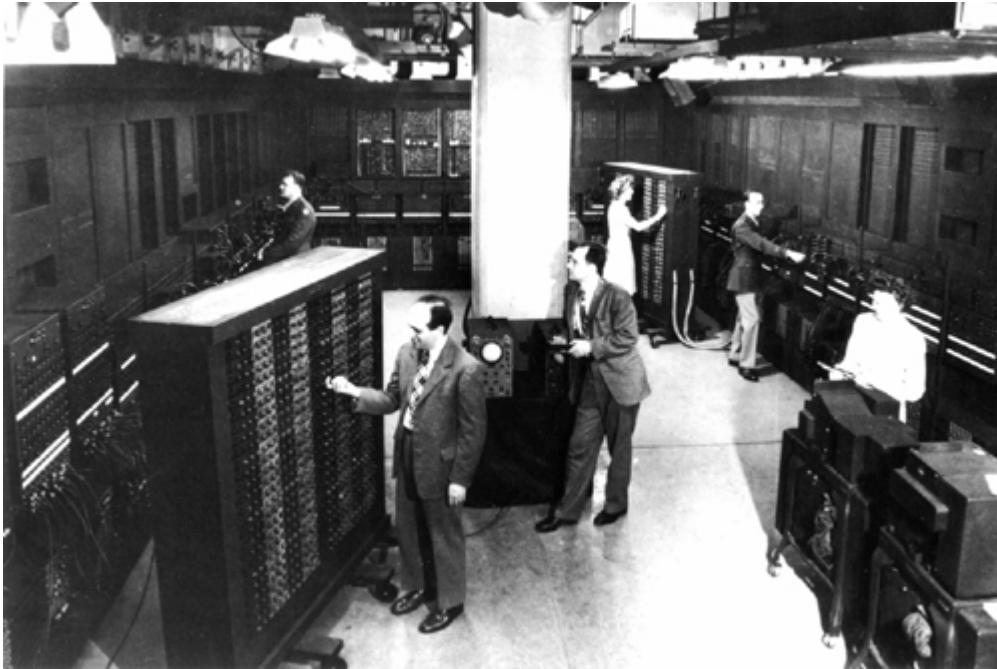
En particular, el ENIAC delimita claramente la frontera entre la computación antes y después del uso de la electrónica, no ya como la fuerza motriz de la máquina (caso de las máquinas electromecánicas del momento), sino como la propia *materia* que podía emplearse en la computación. Al igual que la Máquina Analítica de Charles Babbage, las máquinas de Konrad Zuse o la Harvard Mark I de Howard Aiken, el ENIAC era esencialmente una calculadora programable, un poco lejos todavía de los computadores diseñados de acuerdo con 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 [6].

Estudiar el proceso de diseño y construcción del ENIAC (ver **figura 1**) 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, 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, 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 artículo 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 nuestra opinión, podrían aprovecharse en asignaturas relacionadas con la

“El ENIAC era una calculadora programable... 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”



**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.

programación, estructura y tecnología de computadores, y que tratamos en los siguientes apartados.

### 2. Los proyectos militares

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 [5]. En plena II Guerra Mundial, el ejército norteamericano necesitaba disponer de tablas de disparo para que las piezas de artillería pudieran ser utilizadas de formada adecuada y eficaz. La confección de una tabla de disparo se hacía mediante la resolución de un conjunto de ecuaciones diferenciales.

Una sola de estas tablas requería la resolución de unas 3.000 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 empleaba unos 20 minutos [18].

Con el tiempo, estas limitaciones y el aumento desmesurado de solicitudes de nuevas tablas de disparo obligó al ejército a invertir recursos en el desarrollo de un dis-

positivo de cálculo más rápido y, sobre todo, necesariamente operativo en un plazo de tiempo muy corto. 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, hasta ese momento el dispositivo de cálculo más rápido disponible.

El *Project PX*, nombre con que era conocido 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. Mauchly, de 35 años, se encargaría de su diseño conceptual y Eckert, de 24, del diseño de los circuitos individuales (ver **figura 2**). 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.

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 requerimientos esenciales del diseño de la máquina. Así, en vez de usar válvulas de vacío ultrafiabiles y muy caras, se usó una mucho más barata. Sin embargo, a fin de evitar fallos, se redujo el voltaje de funcionamiento y las válvulas 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 [5]. 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 test 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 conver-

“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”



**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.

tía en el dispositivo electrónico más complejo construido hasta ese momento. 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, George Stibitz y Howard Aiken. 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.

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 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 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). Este incremento se debió a que, a pesar de que el diseño del proyecto inicial 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 definitivos. Este 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 habituales variaciones y mejoras surgidas durante el periodo de diseño, no hicieran imposible la construcción final del ENIAC [2].

### 3. La cuestión semántica

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. Finalmente se añadió, por sugerencia de un coronel del ejército, las palabras *and Computer* [9][18].

Estas cuestiones semánticas hoy nos pueden parecer bastante obvias, pero entonces no lo fueron. El término *computer* refería origi-

nalmente a una persona con habilidades matemáticas capaz de resolver ecuaciones, es decir, se usaba como sinónimo de *calculista*. En aquel momento, la mayoría de personas dedicadas a realizar cálculos balísticos para la armada utilizando pequeñas calculadoras de escritorio eran mujeres, ya que se creía que podían hacer este tipo de trabajo de manera más exacta y rápida que los hombres. No fue extraño que en esta época, e incluso años más tarde, se utilizaran personas extraordinariamente dotadas para el cálculo mental [4], como el caso del holandés William Klein, que trabajó en el CERN hasta 1975. Por ejemplo, Klein era capaz de resolver mentalmente multiplicaciones o raíces de grandes números.

Fue alrededor de 1945 cuando el nombre *computer* se empezó a aplicar a los dispositivos automáticos [8]. 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*. Incluso 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 semántica nueva que todavía no se había

“ Estas mujeres, conocidas también como las *ENIAC girls*... no fueron sino avezadas matemáticas y lógicas que, una vez concluida la fase de construcción del computador, se enfrentaron con su ardua programación ”

asentado en el acervo cultural de la sociedad. Una interesante cuestión que viene al hilo, pero no trataremos en este artículo, gira en torno a las distintas acepciones y usos de las palabras *computador*, *calculadora*, *ordenador*, e incluso *informática*.

#### 4. Las fuentes de inspiración

Los diseñadores del ENIAC, un dispositivo con una finalidad concreta y que había de construirse en poco tiempo, forzosamente no podrían partir de cero. Antes de participar en el proyecto ENIAC, Mauchly estuvo involucrado en la resolución de modelos numéricos para predecir el clima. 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 ABC (*Atanassof-Berry-Computer*), un modesto dispositivo diseñado para resolver sistemas de ecuaciones lineales. Aunque parece que no llegó a estar totalmente operativo, una sentencia judicial estableció en 1973 que el ABC fue el primer computador electrónico. Sea como fuere y, según parece, Mauchly

tomó de esta máquina calculadora algunas ideas para implementar el ENIAC, como la de usar tubos 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 la clara división entre la unidad de memoria del ABC y las unidades aritméticas.

Sabemos por el propio Mauchly su desconocimiento de los trabajos de Babbage escritos en el primer tercio del siglo XIX, pero Aiken sí los había estudiado; incluso, había leído su autobiografía. 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. El empleo de las tablas de funciones del ENIAC, que servían para almacenar valores conocidos de ciertas funciones, a su vez, también fue un concepto tomado de aquella máquina electromecánica.

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, también los trabajos de Babbage, vía Aiken, llegarían a influir parcialmente en el ENIAC.

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 [16]. Y no hay nada más sencillo para un humano que ver y leer números expresados en el sistema decimal.

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

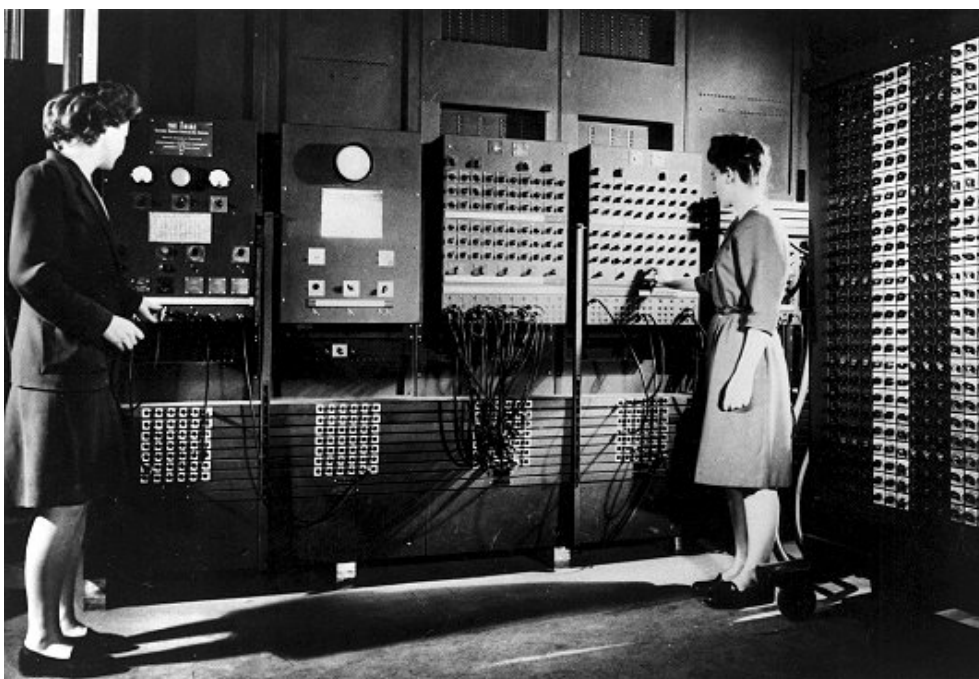


Figura 3. Las programadoras Elizabeth Jean Jennings (izquierda) y Frances Bilas (derecha) junto al ENIAC.

“ La presentación del ENIAC a la sociedad estadounidense fue todo un acontecimiento y, como tal, su recepción fue clamorosa... Según Elisabeth Jean Jennings, los periodistas empezaron a escribir entonces *idiotic articles* sobre máquinas pensantes y cibernética ”

introducida en calculadoras más antiguas como, por ejemplo, la *Pascaline*, 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  $745+868=1.613$  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 la *Pascaline* el complemento a 10 permitía que las ruedas girasen siempre en la misma dirección, lo que facilitaba el diseño y funcionamiento del sistema de engranajes. Los computadores modernos, como sabemos, hacen uso extensivo del sistema binario y utilizan el complemento a 2 para los números enteros negativos. 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 [13].

### 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 [2], 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, por qué 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 [11][16]. 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 sobre cuestiones historiográficas. Así, la literatura siempre ha destacado el papel de Eckert y Mauchly como diseñadores y constructores de la máquina. Sin embargo, hubieron de transcurrir casi cuarenta años para conocer con cierto detalle la historia de las seis mujeres que programaron el ENIAC.

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 (ver **figura 3**).

Algunas de ellas tenían experiencia en la programación del complicado Analizador Diferencial de Bush. Sus nombres son muy poco conocidos: Frances Bilas Spence, Elisabeth Jean Jennings, Ruth Lichterman Teitelbaum, Kathleen McNulty, Elizabeth Snyder Holberton y Marlyn Wescoff Meltzer [13]. 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*).

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 3.000 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. 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.

Curiosamente, el diseño del programa usado como demostración en la presentación al público del ENIAC fue el cálculo de una trayectoria y corrió a cargo de Elisabeth Jean Jennings 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. Por su parte, Elisabeth 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 6, redujo su programación a solamente cuestión de horas [18].

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. Por primera vez en la historia, estas mujeres desarrollaron las bases de la programación de computadores, creando la primera biblioteca de rutinas y las primeras aplicaciones de software.

Desde un punto de vista antropológico, aunque estas programadoras 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 para cuidar de su familia.

La prensa tampoco se mostró libre de prejuicios después de la presentación del ENIAC al público. En el artículo que el *New York Times* publicó un día después, 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 [12].

Finalmente, el ENIAC nos brinda 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. 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.

A pesar de tratarse de un problema de gran complejidad, la mayoría de las recientes publicaciones (consúltense, por ejemplo, [7][8][17]) coinciden en aceptar que la idea ya había sido contemplada por los creadores del ENIAC, conscientes de sus deficiencias estructurales y 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, la puesta en práctica de las innovaciones se haría en el diseño y construcción del EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*), la máquina que había de suceder al ENIAC.

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 y, a ojos de los demás, pareció que fue él quien las originó y, con el tiempo, retuvo el mérito de todo el trabajo. La difusión de este borrador de 101 páginas, auspiciada por Goldstine, permitió que las siguientes máquinas se construyeran de acuerdo con los planos allí expuestos y evitó, por otro lado, la monopolización de la incipiente informática por parte de intereses puramente comerciales. Eckert y Mauchly nunca perdonaron esta afrenta de von Neumann y Goldstine, y el resultado fue una legendaria enemistad recíproca que permaneció inalterada durante décadas.

### 6. Aplicaciones del ENIAC

Acabada la guerra el nuevo contexto político mundial estuvo marcado por la Guerra Fría,

clima que determinó las aplicaciones en las que se usó el ENIAC. Para hacernos una idea de esta situación social y política, señalemos que la irracional histeria anticomunista auspiciada en EEUU por el senador McCarthy llegó a afectar a Mauchly quien, entre 1948 y 1952, fue objeto de una rocambolesca investigación del FBI (en [1] se recogen 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 tablas de tiro de los artilleros durante la II Guerra Mundial. A pesar de la celeridad en acabar el proyecto, el ENIAC se terminó poco después de acabada la contienda y la necesidad de las tablas pasó a un segundo plano. Desde su presentación en público el 14 de febrero de 1946 ya se hizo hincapié en la versatilidad de cálculo del nuevo computador. La prensa recogió la noticia de forma sensacionalista y 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.

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. 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 usado para evaluar la viabilidad de la bomba de hidrógeno [1][3][13][16], una cuestión surgida dentro del proyecto Manhattan de Los Álamos. Este proyecto había creado 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, requirió un

millón de tarjetas perforadas. El ENIAC fue utilizado también en problemas de física nuclear, física de la materia y análisis de trayectorias de cohetes experimentales. Estas investigaciones dieron lugar al método de Monte Carlo, al método Simplex y a 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 2.035 decimales, más del doble del último estudio que recogía 808 dígitos [15]. La máquina tardó 70 horas en obtener el resultado. Poco antes, el ENIAC había ayudado a computar 2.010 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 1.000 primeros números naturales o la resolución de modelos atmosféricos.

Finalmente, la posibilidad de disponer en la actualidad de herramientas de simulación [19] 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.

### 7. 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. Por primera vez, la radio emitió noticias sobre el computador y sus imágenes se difundieron ampliamente a través de los periódicos y revistas (el uso masivo de la televisión no se extendió hasta la década de 1950). En ellas se apreciaban sus enormes dimensiones y las distintas unidades conectadas mediante cables de gran longitud. Según Elisabeth Jean Jennings, los periodistas empezaron a escribir entonces *idiotic articles* sobre máquinas pensantes y cibernética. Incluso la Unión Soviética, consciente de la importancia del secreto desvelado, solicitó su adquisición, pero la petición, naturalmente, fue denegada.

El elemento más resaltado visualmente del ENIAC eran los acumuladores (ver **figura 4**). Cada uno almacenaba un número decimal de 10 dígitos cuyo valor se representaba mediante un código de luces. Cada dígito del número se visualizaba por medio de diez válvulas, 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



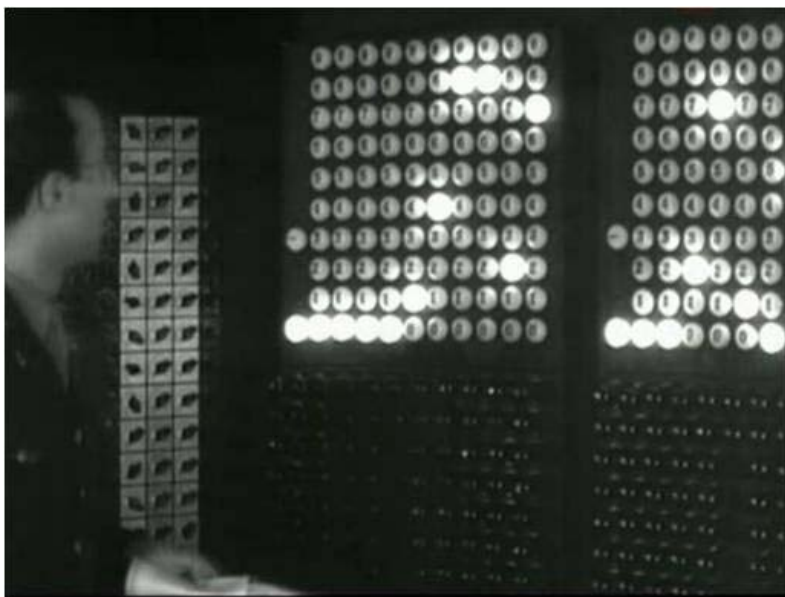


Figura 4. Aspecto de un acumulador durante la operación del ENIAC tal como se presentó a la sociedad.

válvula que estaba encendida. En su origen, cada acumulador se limitaba a incluir una matriz de pequeños agujeros a través de los cuales se veía el extremo de estas válvulas. Mientras el ENIAC calculaba, las válvulas 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 válvulas 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 válvula 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 [11][13].

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 que potenció el lado sublime de la tecnología en general y de la informática en particular, y ha perdurado desde entonces. Todavía hoy podemos percibirla en películas de culto como la trilogía *Matrix* (1990-2003).

### 8. Conclusiones

En este artículo 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 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 podrían aprovecharse y formar parte de los contenidos de las asignaturas que conforman los actuales estudios universitarios de informática.

### Referencias

- [1] Stan Augarten. *Bit by bit: an illustrated history of computers*. George Allen & Unwin, Londres, 1984.
- [2] Miquel Barceló. *Una història de la informàtica*. Editorial UOC, Barcelona, 2008.
- [3] W. Barkley Fritz. ENIAC – a problem solver. *IEEE Annals of the History of Computing*, 16:1: pp. 25–45, 1994.
- [4] Jeremy Berstein. *La máquina analítica: pasado, presente y futuro de los computadores*. Labor, Barcelona, 1988.
- [5] J. G. Brainerd, T. K. Sharpless. The ENIAC. *Proceedings of the IEEE*, 87:6: pp.1031–1041, junio 1999. Reimpreso de *Electrical Engineering*, 67:2: pp. 163–172, febrero, 1948.
- [6] Philippe Breton. *Historia y crítica de la informática*. Cátedra, Madrid, 1989.
- [7] Martin Campbell-Kelly, William Aspray. *Computer: a history of the information machine*. Westview Press, segunda edición, 2004.
- [8] Paul E. Ceruzzi. *A history of modern computing*. MIT Press, segunda edición, 2003.
- [9] Carlos A. Coello Coello. *Breve historia de la computación y sus pioneros*. Fondo de Cultura Económica, México, 2003.
- [10] Herman H. Goldstine. *The computer from Pascal to von Neumann*. Princeton University Press, 1980.
- [11] Mike Hally. *Electronic brains: stories from the dawn of the computer age*. Granta Books, Londres, 2005.
- [12] Jennifer S. Light. When computers were women. *Technology and Culture*, 40:3:455–483, julio 1999.
- [13] Scott McCartney. *ENIAC: The triumphs and tragedies of the world's first computer*. Walker and Company, Nueva York, 1999.
- [14] David A. Patterson, John L. Hennessy. *Estructura y diseño de computadores. La interfaz hardware/software*. Reverté, Barcelona, segunda edición, 2011.
- [15] Brian J. Shelburne. The ENIAC's 1949 determination of  $\pi$ . *IEEE Annals of the History of Computing*, 34:3: pp.44–54, julio-septiembre 2012.
- [16] Joel Shurkin. *Engines of the mind: the evolution of the computer from mainframes to microprocessors*. W. W. Norton & Company, Nueva York, 1996.
- [17] Eric G. Swedin, David L. Ferro. *Computers: the life story of a technology*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2005.
- [18] Michael R. Williams. *A history of computing technology*. IEEE Society Press, Los Alamitos, CA, segunda edición, 1997.
- [19] Till Zoppke, Raúl Rojas. The virtual life of ENIAC: simulating the operation of the first electronic computer. *IEEE Annals of the History of Computing*, 28:18–25, abril 2006.