

Desde las MESAS de arena a los supercomputadores

Conferencia organizada por:

- Seminario de Medio Ambiente y Calidad de Vida. Cátedra José Saramago
- Aula Emilio Herrera de Ciencia y Tecnología
- Unidad de Cultura Científica de la UGR

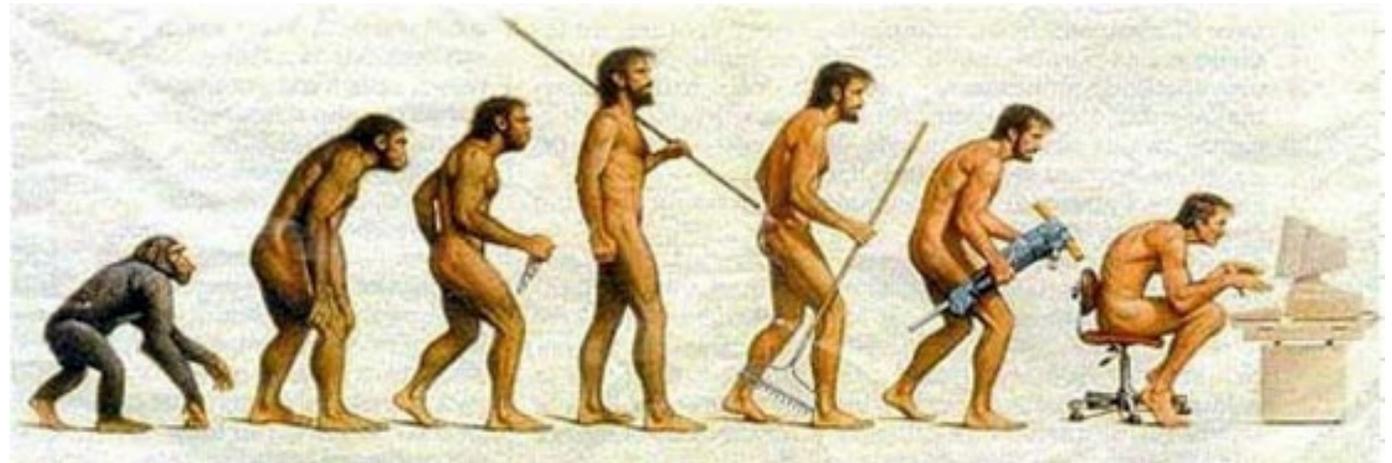
Palacio de La Madraza, 16 de mayo 2023

Alberto Prieto.

Catedrático emérito. Departamento de Ingeniería de Computadores, Automática y Robótica. UGR

Motivación

- El hombre desde la antigüedad ha tratado de reducir al máximo su **trabajo físico** así se idearon los utensilios, las herramientas y las máquinas.
- También ha tratado de reducir su **trabajo intelectual** y por ello inventó y desarrolló calculadoras mecánicas, electromecánicas y electrónicas, y, posteriormente, los computadores.



Contenido

- Los computadores inicialmente se utilizaron para realizar operaciones aritméticas; sin embargo, en la actualidad efectúan **cualquier tarea de procesamiento de la información susceptible de ser expresada por medio de un modelo o algoritmo** que pueda ser expresado en términos de las operaciones lógicas y aritméticas ejecutables por el computador.
- Incluso se pueden realizar funciones sin que se conozcan los detalles concretos de cómo realizarlas o de un modelo, gracias a la utilización de sistemas que aprenden automáticamente (“Aprendizaje en máquinas”)
- Los ordenadores pueden considerarse como los sistemas **más complejos** que ha ideado el hombre.

Contenido

- Antecedentes de los computadores
 - Los utensilios o herramientas mecánicas y electromecánicas.
- Los computadores
 - Las cuatro generaciones
- Los supercomputadores
 - Qué son
 - Aplicaciones

Los antecedentes

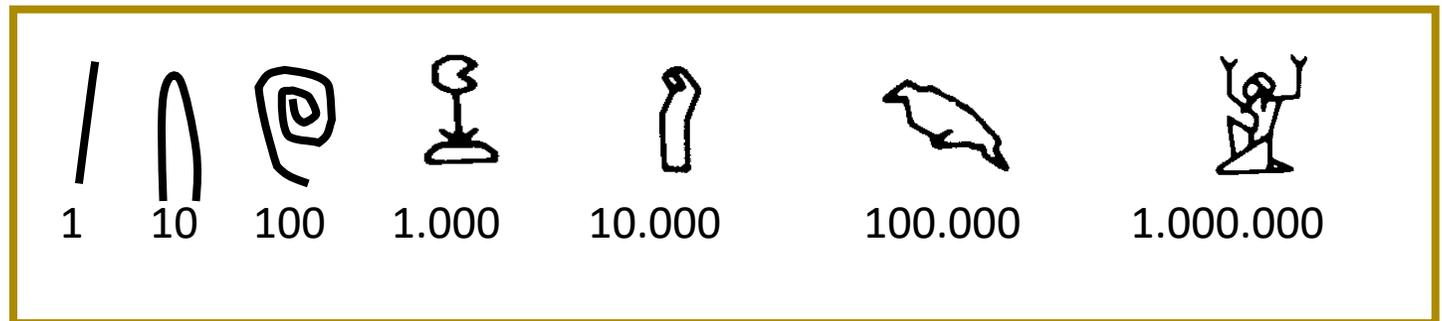
Herramientas y utensilios para calcular

Desarrollo de las formas de representar los números

- En la antigüedad, representar cantidades era una tarea muy difícil. Pueblos primitivos:
 - Tasmania: {uno, dos, muchos}
 - Sudáfrica {uno, dos} 5-> “dos, dos y uno”
- Lo más difícil: abstracción del concepto de cantidad
 - Lenguaje Thimshian (indios): 7 conjuntos para representar los n^o:
 - Objetos planos y animales
 - Objetos redondos y tiempo
 - Personas
 - Objetos largos y árboles
 - Canoas
 - Medidas
 - Numeración de objetos no particulares

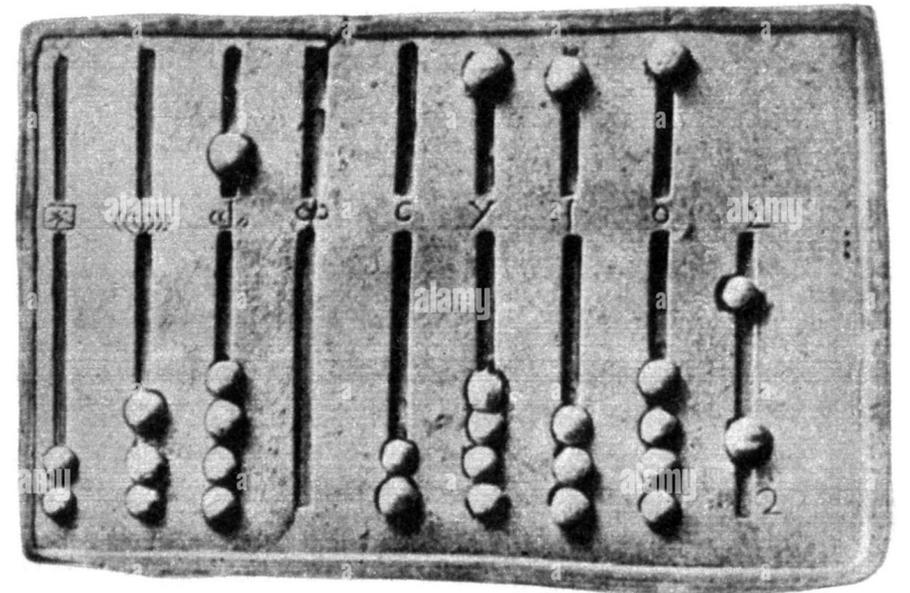
Desarrollo de las formas de representar los números

- Sistemas de numeración **aditivos** y **posicionales**.
- S. N. Aditivos: Egipcios (3000 AC)



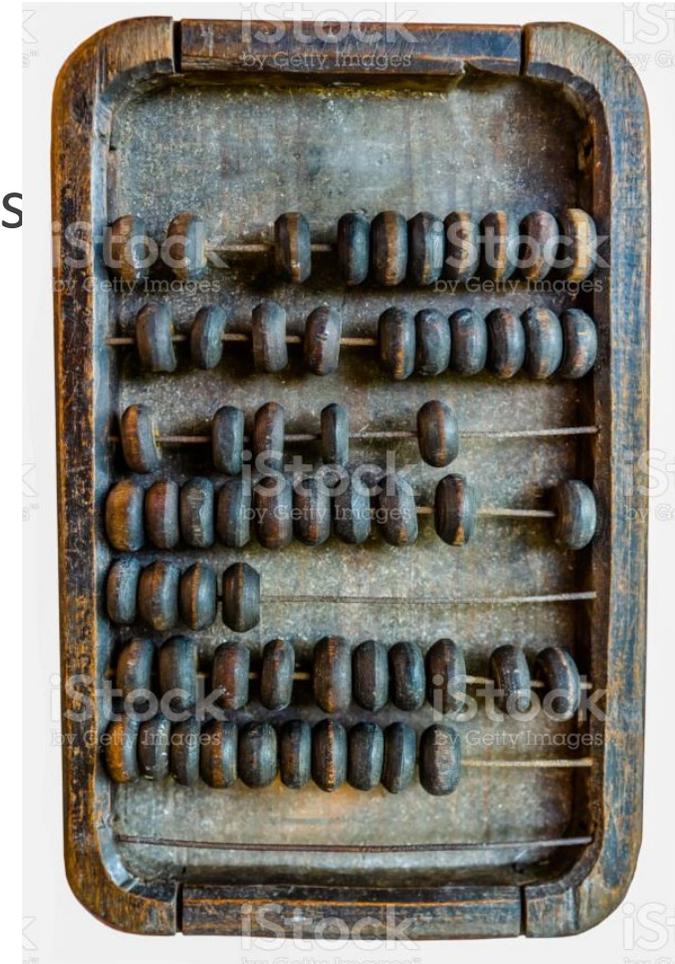
Las tablas y mesas de arena

- Se cubría un marco de madera o la superficie de una mesa con arena o polvo y se hacían ranuras y marcas para para facilitar los cálculos.
 - Se asociaban las cantidades a piedras, granos de maíz, nudos, etc.
 - **Piedra** → “Calculus” → Cálculo (aritmético)



El ábaco

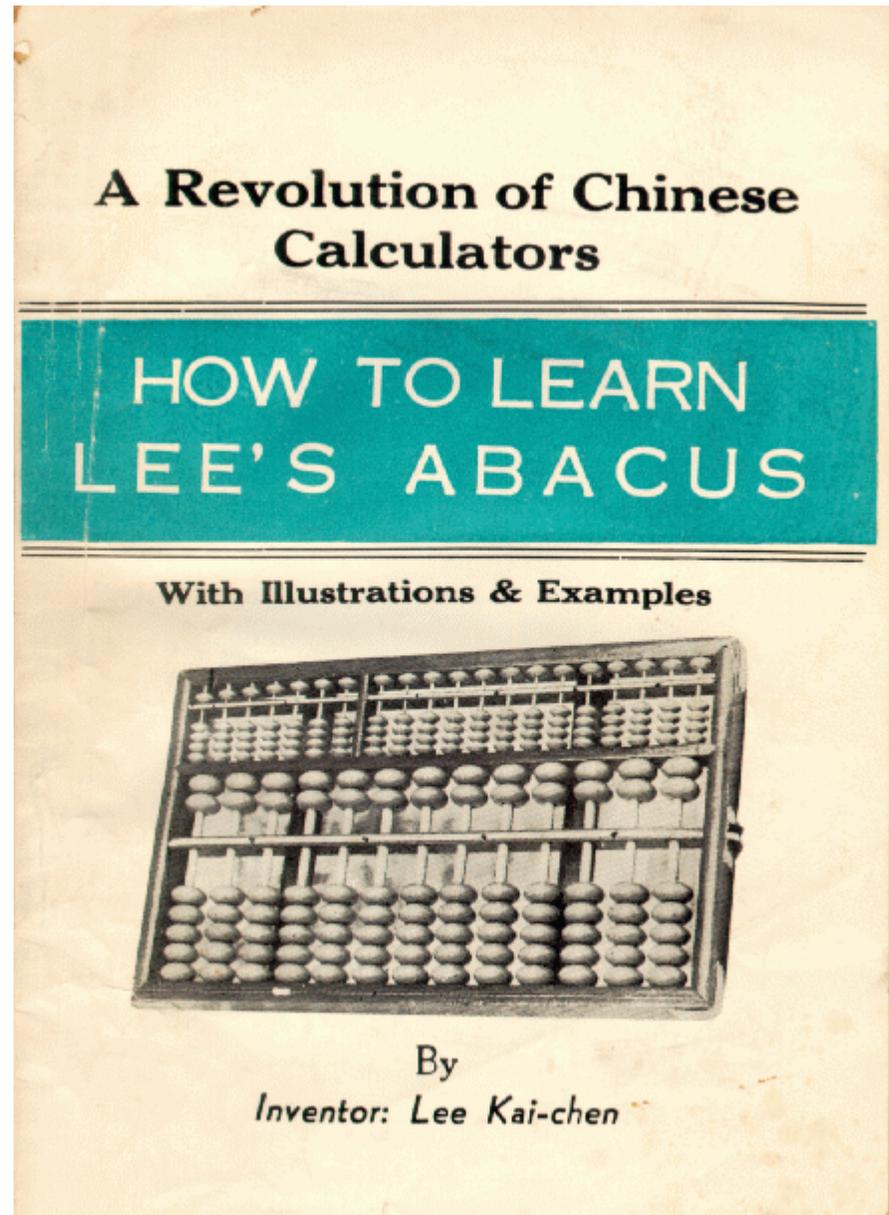
- Idea básica: insertar piedras o huesecillos en cuerdas
- Surge.
 - En el valle entre el Eufrates y Tigris: ábaco (3000 AC)
 - Entre el 1.000 y 500 AC dinastía Zhou de China



Pitágoras (derecha) usando una tabla de conteo, compite contra Boecio usando algoritmos de cálculo (Grabado de 1508)



- Libro de 1955



Dificultades en los cálculos hasta el Siglo XVI

- El ábaco se utiliza en Europa hasta el Siglo XVIII (se populariza en China hacia el 1200, Corea en 1400 y en Japón 1600).
- Hasta sólo hace poco más de un siglo sólo las personas extraordinariamente cultas sabían calcular
- Manuscrito anónimo de época de la reina Elizabeth, 1570:
 - “La multiplicación es una vejación”
 - “La división es un mal”
 - “La regla de tres es un rompecabezas, y utilizarlos me vuelven loco”

Primeras herramientas de ayuda al cálculo

- John Napier (Edimburgo, 1550-1617)
 - Ideo técnicas para simplificar las tareas de cálculo.
 - Inventó los logaritmos, para ayuda del cálculo (se puede multiplicar haciendo sumas y dividirse haciendo restas).

$$x = 16 \cdot 40 = 640$$

$$\log(16 \cdot 40) = \log(16) + \log(40)$$

$$\begin{array}{ccc} \textit{Tablas} & & \textit{Tablas} \\ \textit{1,20} & & \textit{1,60} = \textit{2,80} \end{array}$$

$$\log^{-1}(2,80) = 640$$

tablas



Julio 1614

Varillas o ábaco de Napier (publicado en 1617)

1	4	6	7	8	5	3	9	9	
2	0/8	1/2	1/4	1/6	1/0	0/6	1/8	1/8	
3	1/2	1/8	2/1	2/4	1/5	0/9	2/7	2/7	
4	1/6	2/4	2/8	3/2	2/0	1/2	3/6	3/6	
5	2/0	3/0	3/5	4/0	2/5	1/5	4/5	4/5	
6	2/4	3/6	4/2	4/8	3/0	1/8	5/4	5/4	
7	2/8	4/2	4/9	5/6	3/5	2/1	6/3	6/3	
8	3/2	4/8	5/6	6/4	4/0	2/4	7/2	7/2	
9	3/6	5/4	6/3	7/2	4/5	2/7	8/1	8/1	

	46785399
	× 96431
	46785399
	140356197
	187141596
	280712394
	+ 421068591
	4511562810969

Primeras herramientas de ayuda al cálculo

- Edmund Gunter (1620)
(Prof. Astronomía del Gresham College de Londres)
 - Cuadrante de Gunter, herramienta astronómica y de cálculo, precursora de la regla de cálculo



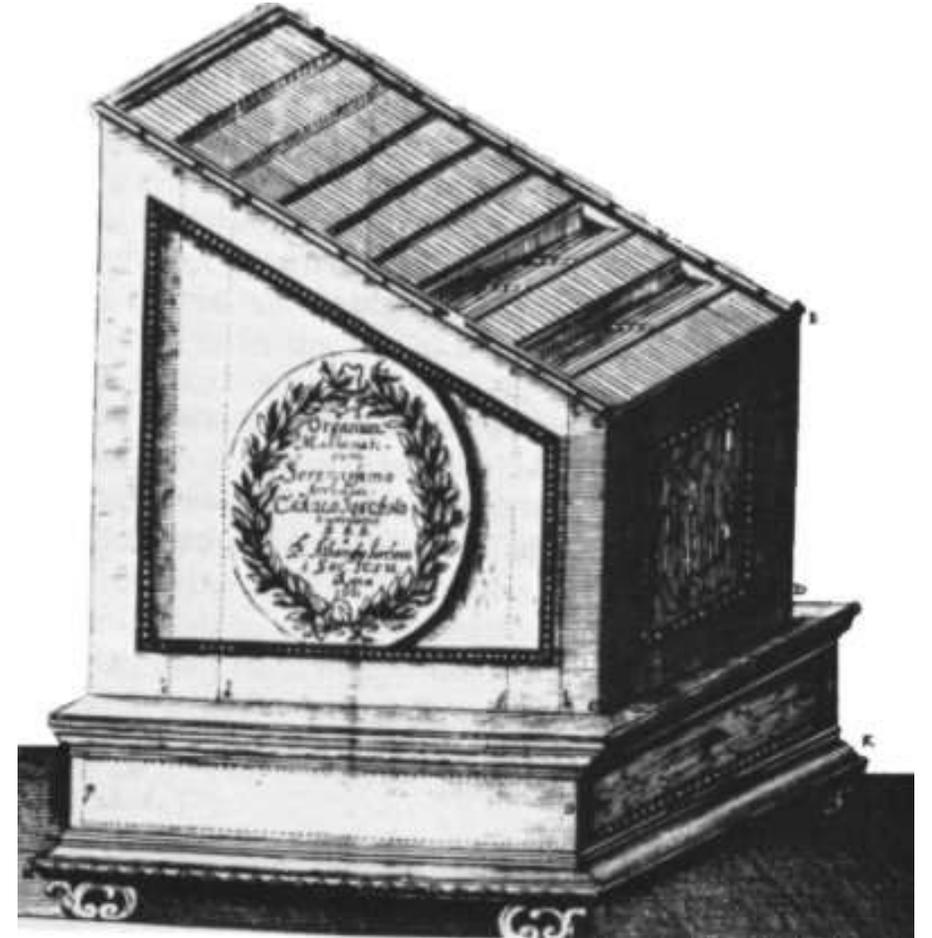
Primeras herramientas de ayuda al cálculo

- William Oughtred (1574-1660) (matemático y clérigo inglés)
 - Inventó la regla de cálculo
 - Usada ampliamente por científicos e ingenieros hasta la década de los 1960

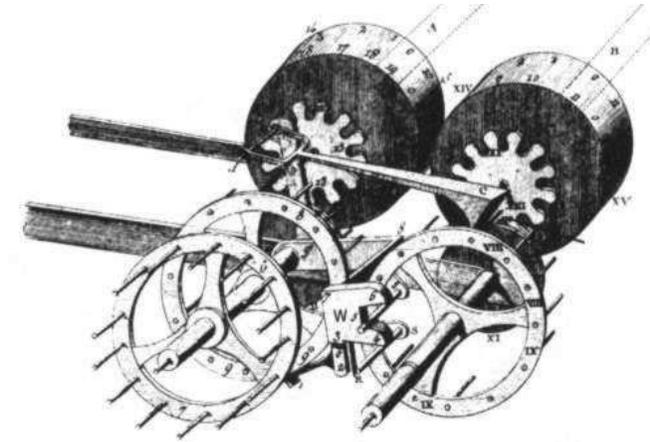


Órgano matemático de Gaspard Schott (1668)

- **AYUDAS** (tablas, parámetros, etc.) para:
 - Aritmética (tablillas de Napier)
 - Geometría
 - Fortificaciones
 - Calendario
 - Astronomía
 - Obras públicas (construcción de canales)
 - Música (composición)

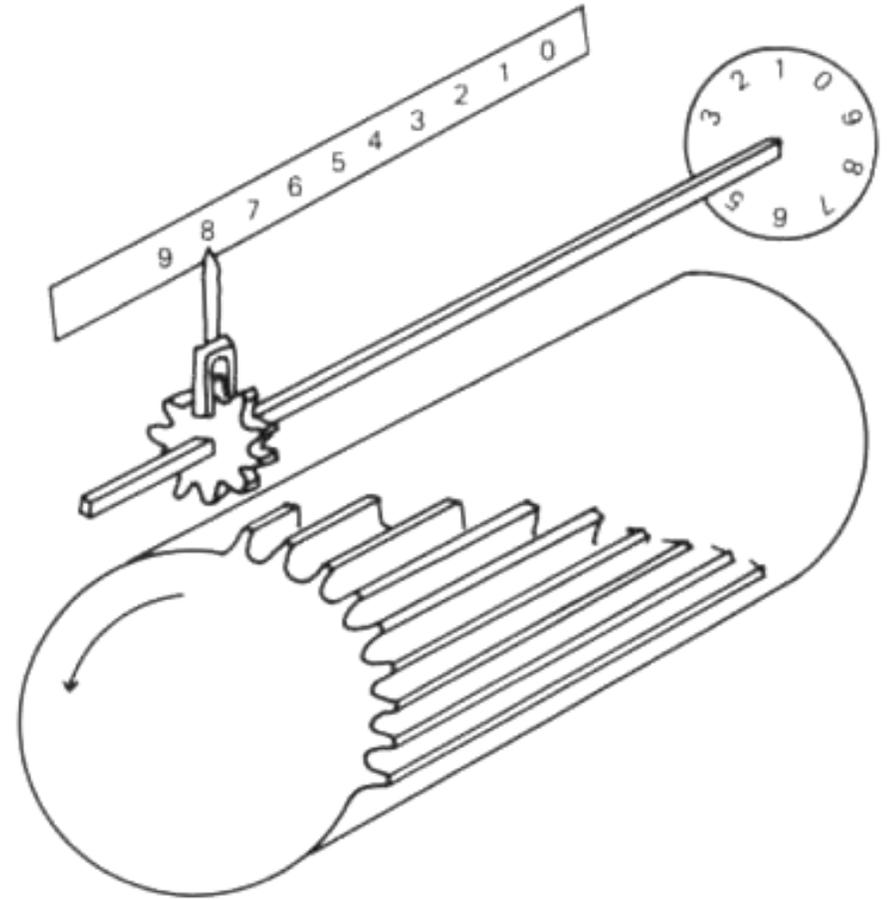


Sumas y restas: Pascalina de Blaise Pascal (1642) calculadora mecánica para + y - (ruedas dentadas y engranajes)



¡Multiplicaciones y divisiones!

- Gottfried W. Leibnitz (Leipzig, 1646-1716)
 - Calculadora mecánica para +, -, x, / (rueda de Leibnitz)
 - Investigó la aritmética binaria



Primera calculadora mecánica de sobremesa

- Charles Xavier Thomas de Colmar (Francia)
 - comercializó la primera calculadora de sobremesa, perfeccionando las ideas de Pascal y Leibnitz:
Arithmometer de Thomas (inicio de la década de 1820).
 - El de Tates £4.750 (Chistie, 2/2023)

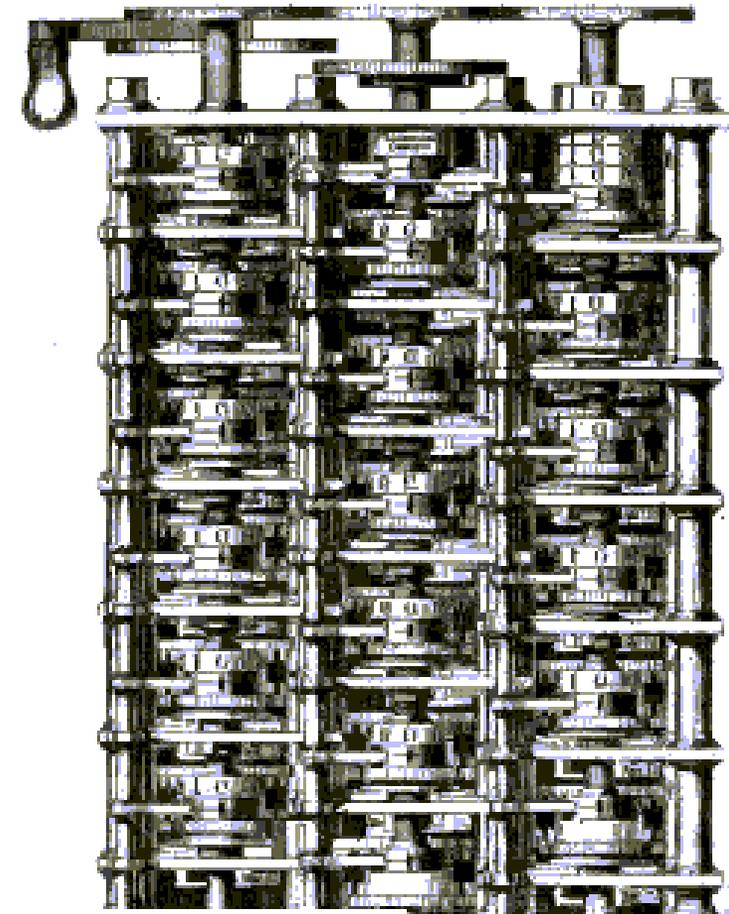


“Piano matemático” desarrollado por Thomas para la Exposición de París de 1855



Máquina de diferencias (1822)

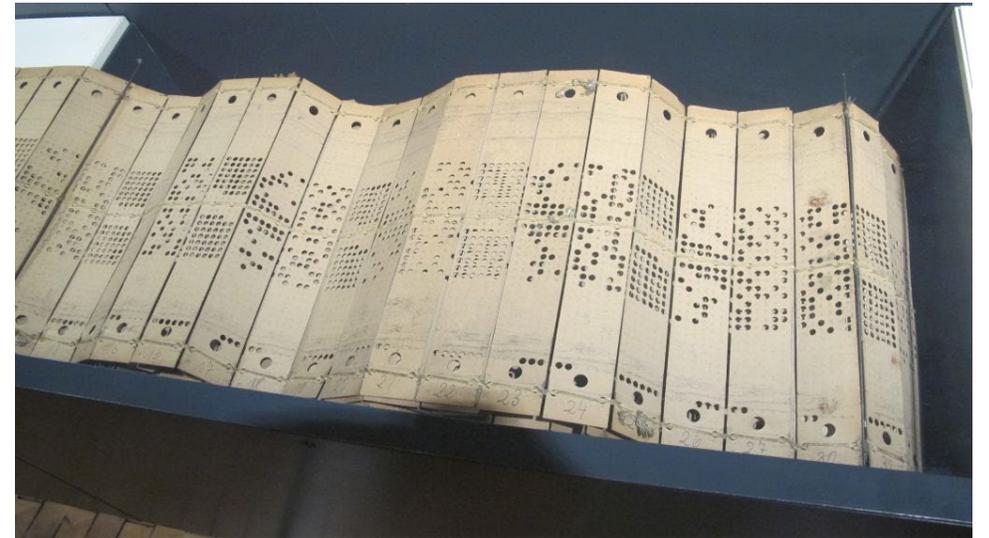
- Charles Babbage (1791-1871)
 - Máquina de diferencias (para hacer tablas matemáticas, evaluación de polinomios por el método de diferencias finitas)



THE BETTMANN ARCHIVE

J. H. Muller 18

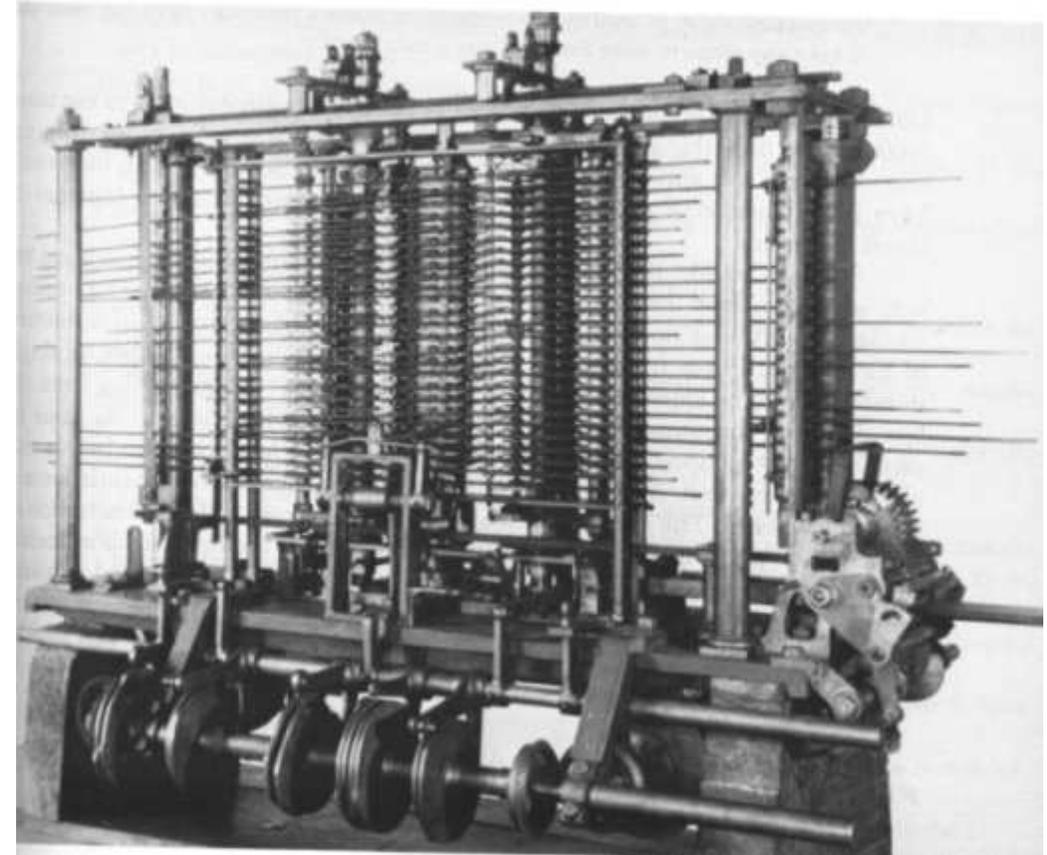
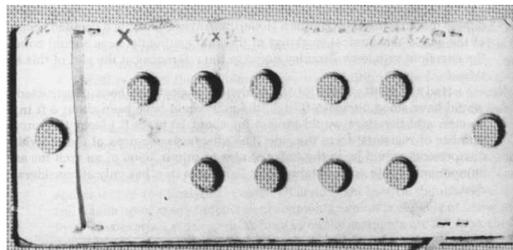
Telares Jacquard, 1801 (tablillas perforadas)



Máquina analítica (1837) de Charles Babbage (1791-1871)

- Estructura: almacén, taller, muela, tablillas perforadas (telares de Jacquard, 1801).
- Computación de uso general. Encadenamiento automático de secuencias por medios mecánicos.
- Multiplicar lo que hay en la posición V6 con lo que hay en la V2 → orden en la tarjeta perforada

V6xV2

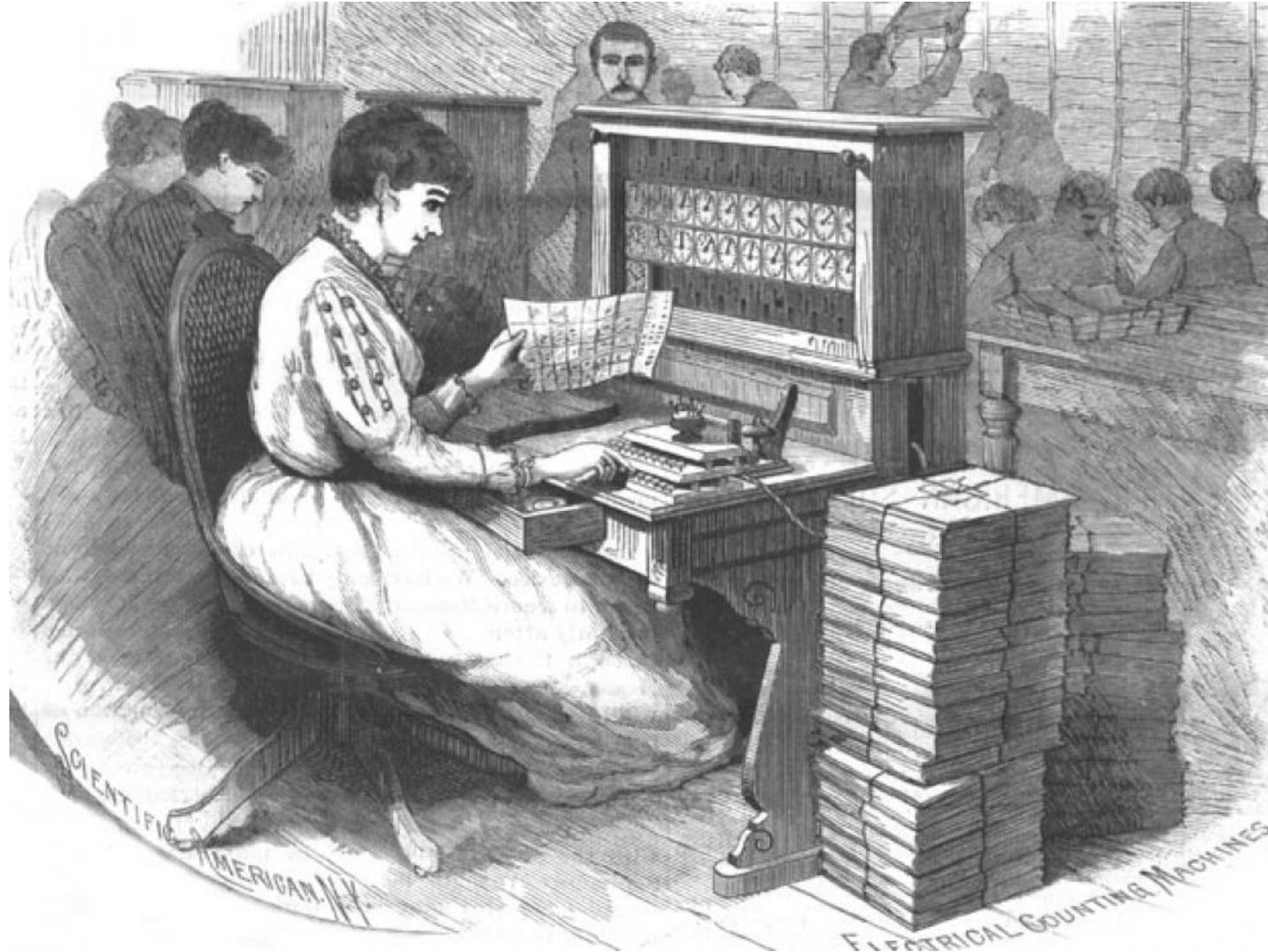


Cuando nadie más vio el potencial de la máquina analítica creada por Charles Babbage, Ada Lovelace (hija de Lord Byron), una mujer adelantada a su época, fue capaz de desarrollar el primer algoritmo con capacidad para ser procesado por ese aparato, aunque nunca pudo probarlo.

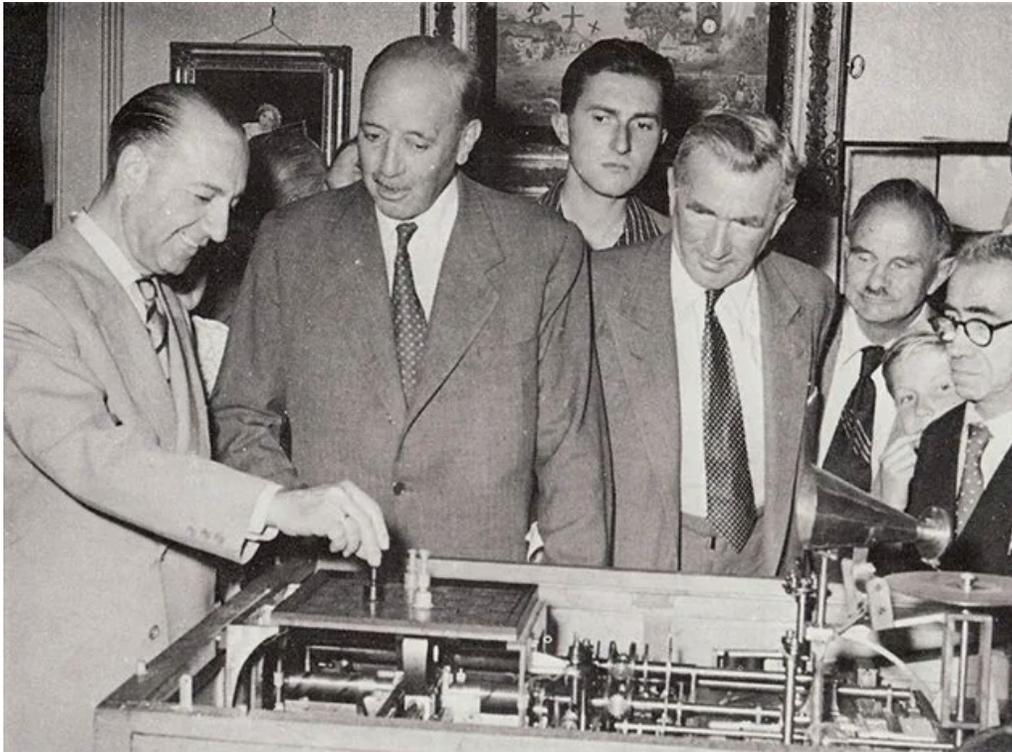


Retrato de Ada Lovelace hacia 1840.

Las máquinas tabuladoras de Hollerith empleaban tarjetas de datos perforadas para elaborar el censo de EEUU (1890, en 3 años).

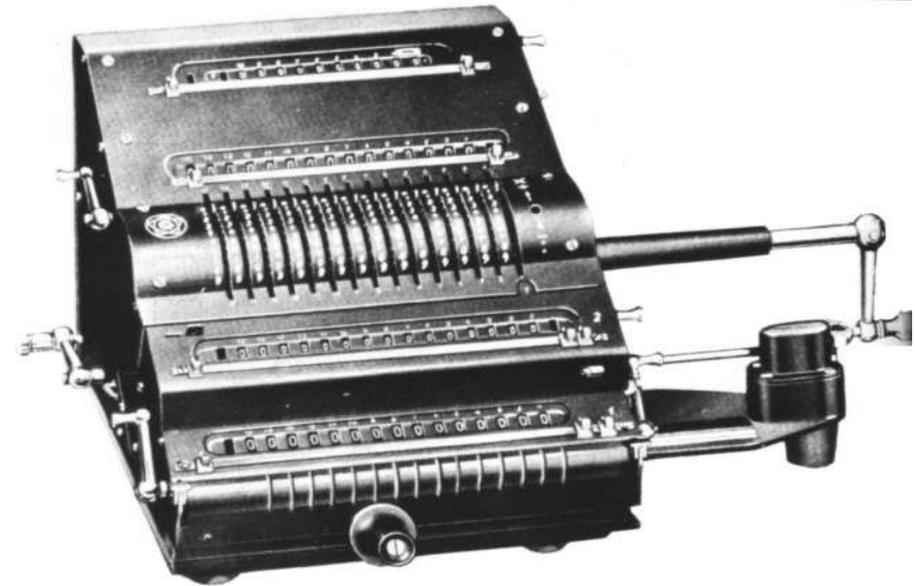


Leonardo Torres Quevedo 1893: propone una máquina electromecánica basada en las ideas de Babbage. En 1912 presentó El Ajedrecista (París, 1914)



Máquinas de molinete: la dupla Brunsviga

- Calculadora mecánica de sobremesa de las más utilizadas, desde 1885 hasta la década de 1950 (hasta 1912 se vendieron 20.000).
- Réplica del **aritmómetro de Odhner** inventada en Rusia en 1873 por W. T. Odhner, un inmigrante sueco. Su producción industrial comenzó en 1890 en el taller de San Petersburgo de Odhner; que se cerró a causa de la revolución rusa (1917).



Los computadores

Las generaciones de computadores

Contribuciones fundamentales para el funcionamiento y diseño: era digital

- George Boole (1815-1864)
 - Asoció el álgebra binaria con el proceso de razonamiento (1854). Operaciones lógicas, 0: falso, 1: cierto,... Base de la actual Lógica formal
- Claude E. Shannon (MIT)
 - **Teoría de la conmutación.** Aplicó el Álgebra binaria de Boole al diseño de circuitos de conmutación (Tesis de 1938). Bases del diseño de circuitos electrónicos binarios)

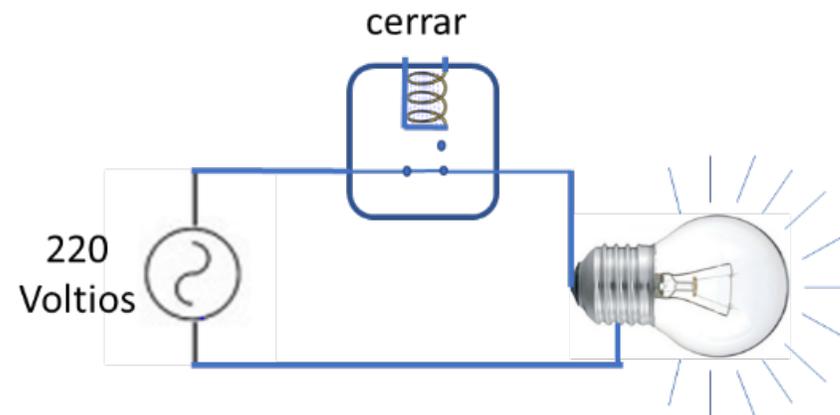
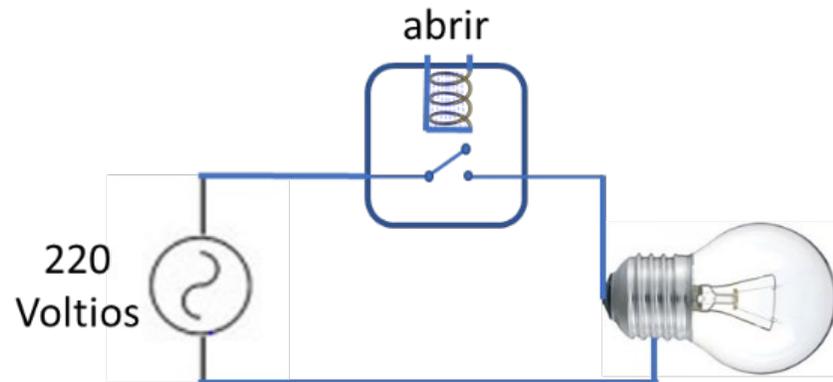
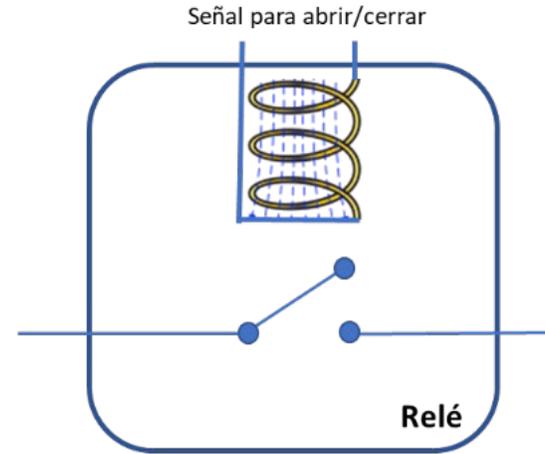
Tenemos la teoría. ¿Cómo se pasó a la práctica?

- Problema físico-tecnológico:
 - Como implementar físicamente las operaciones binarias tanto lógicas (teoría de la conmutación) como del algebra binaria.
- Solución: dispositivos que funcionan con dos estados.
 - Relés
 - Válvulas termoiónicas
 - Transistores
 - Circuitos integrados

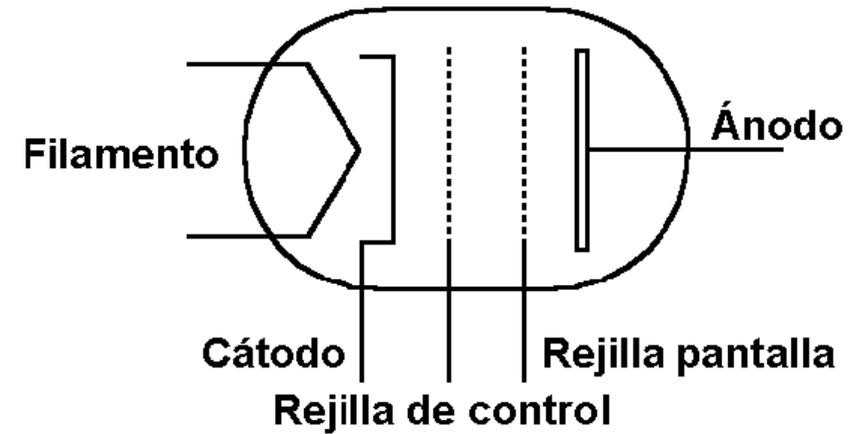
Relés: conmutador electromecánico (relé)



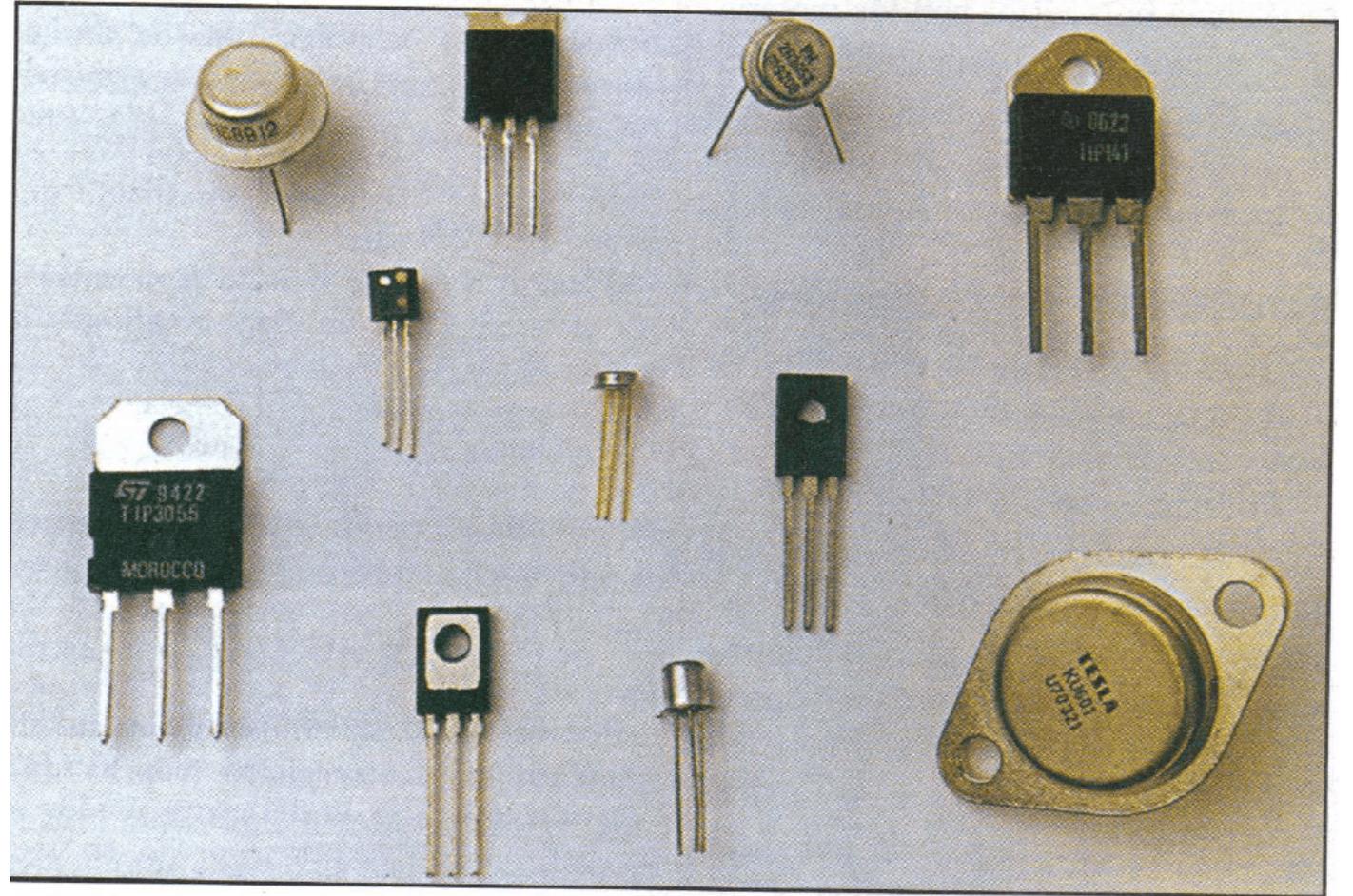
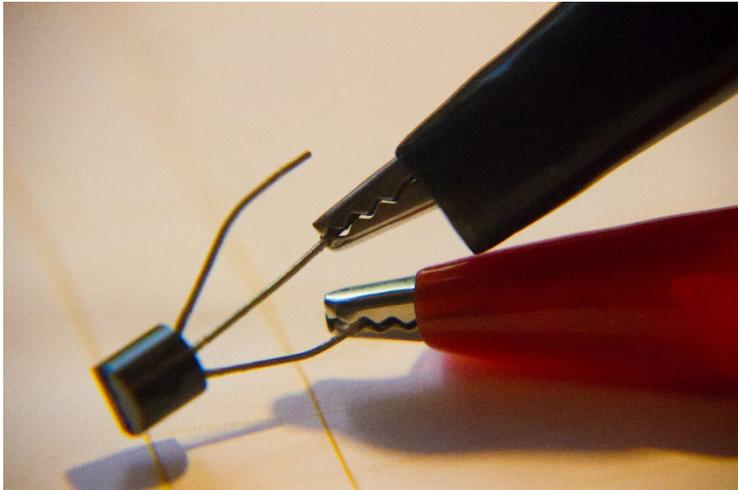
Relé comercial de
dimensiones
13x29x25,5 mm



Válvulas termoiónicas (tubos de vacío o gas)



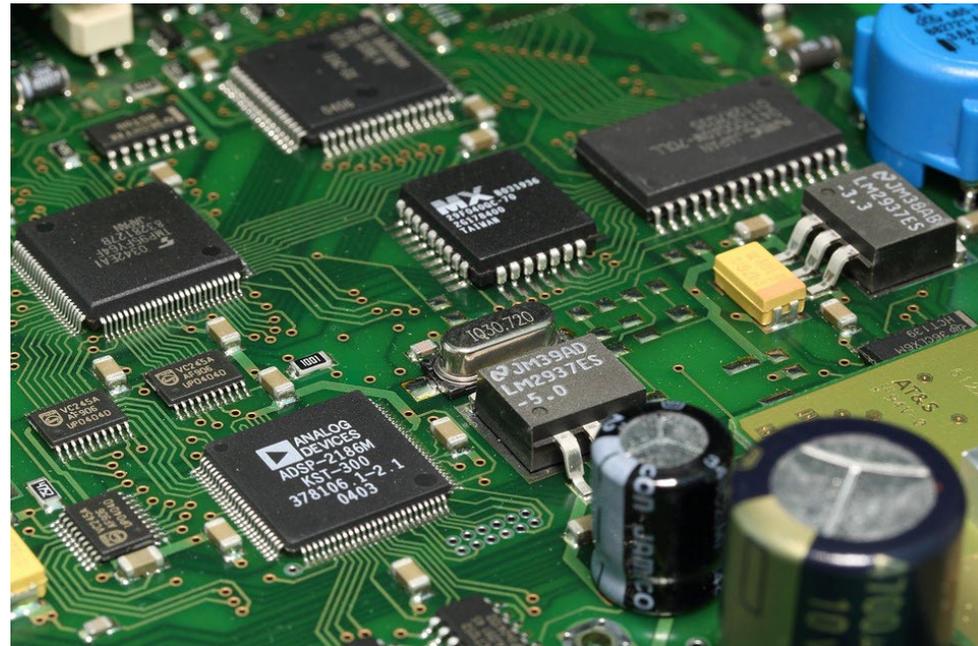
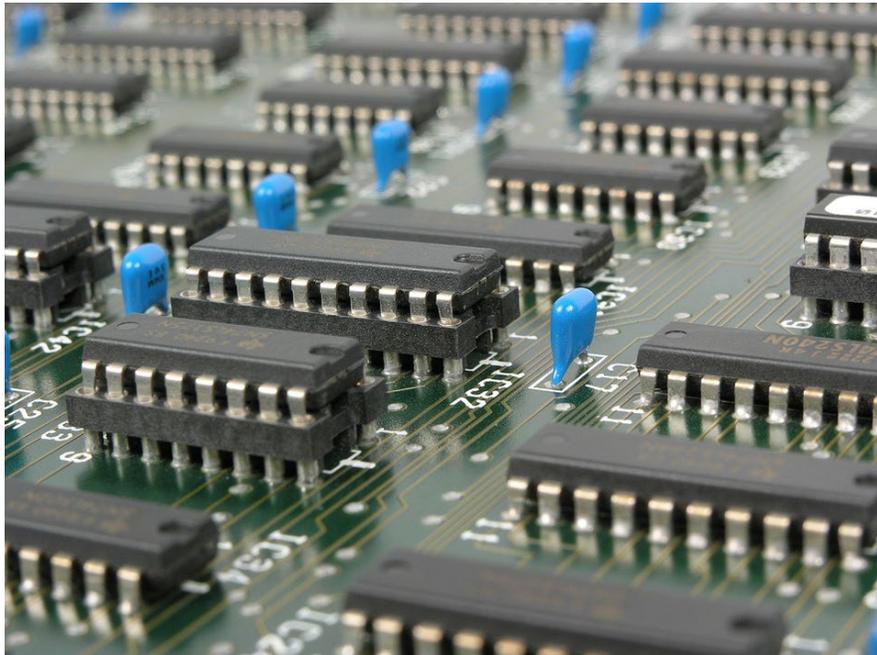
Transistores



Diferentes tipos de transistores

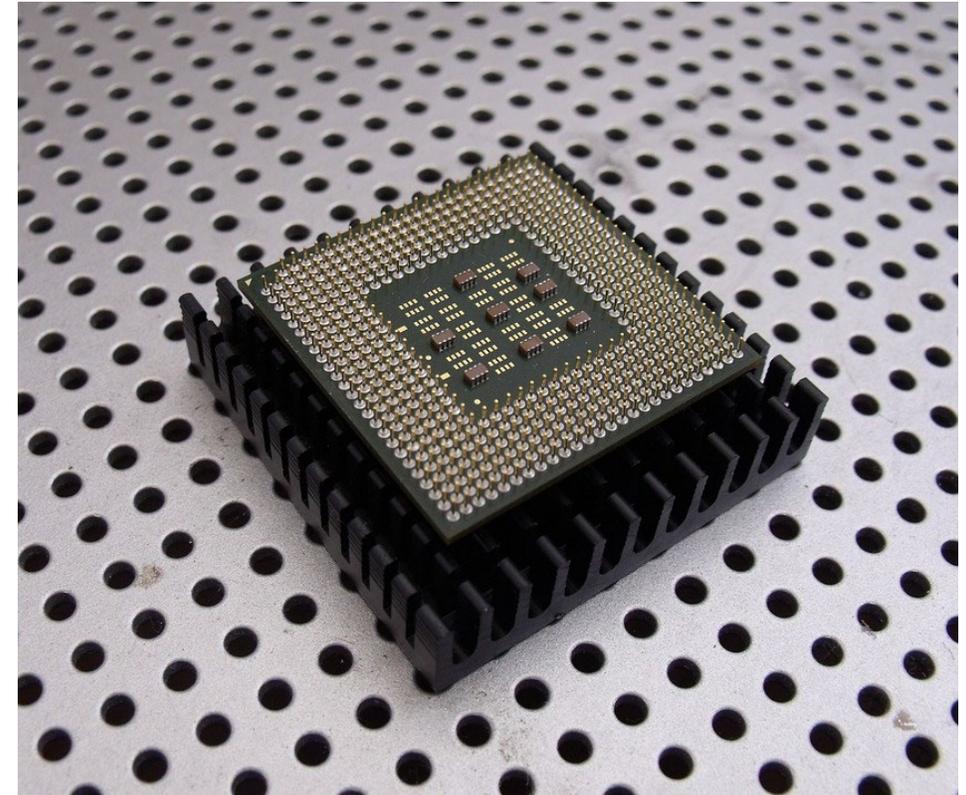
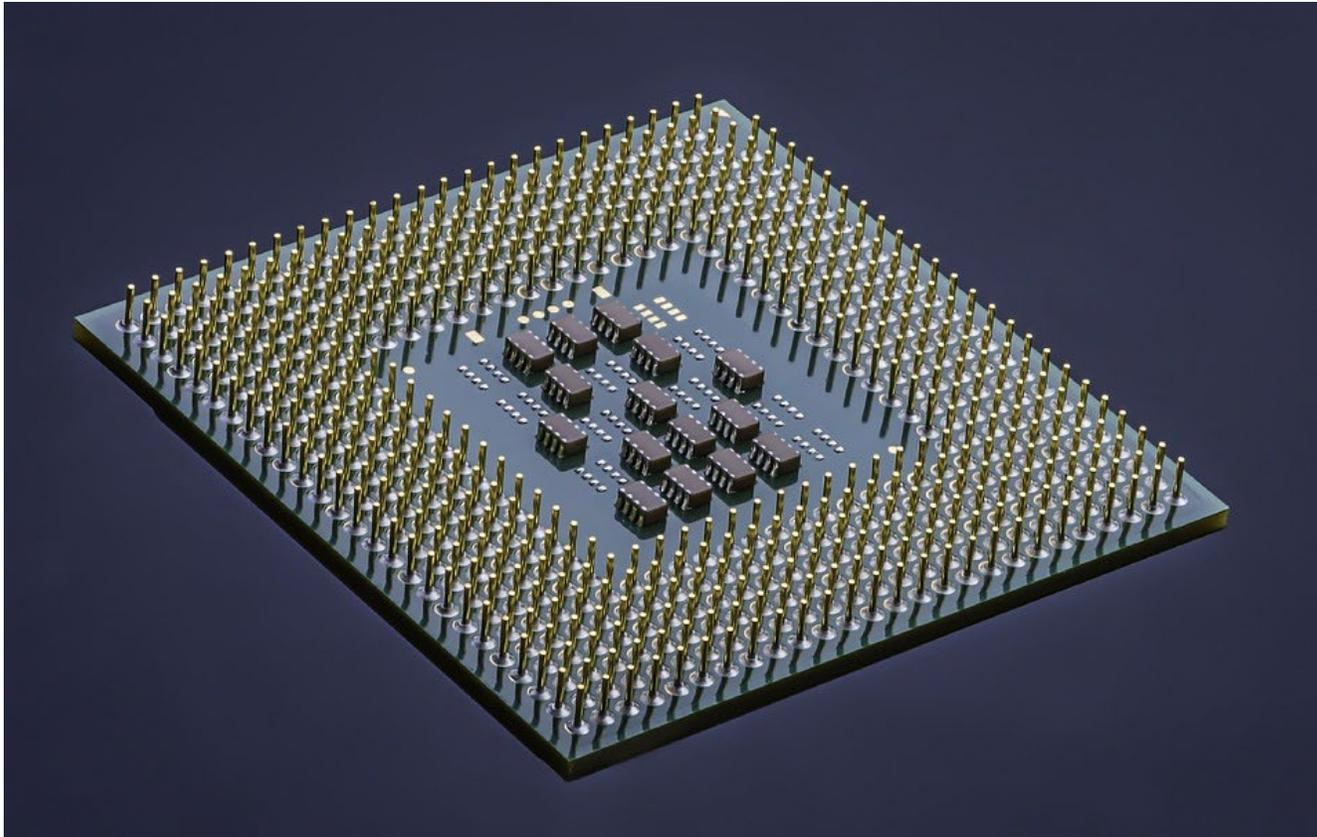
Circuitos integrados

Acrónimo	Nombre	Año	Nº de transistores
SSI	small-scale integration	1964	10 a 100
MSI	medium-scale integration	1968	100 a 1000
LSI	large-scale integration	1971	1000 a 20 000
VLSI	<u>very large-scale integration</u>	1980	20 000 a 60 000
ULSI	ultra-large-scale integration	1984	60 000 a miles de millones



Microprocesadores

- Intel Core i9 9900K, 3 mil millones de transistores



K. Zusse (Berlín, 1939 a 1943): Construye computadores electromecánicos para cálculos aeronáuticos

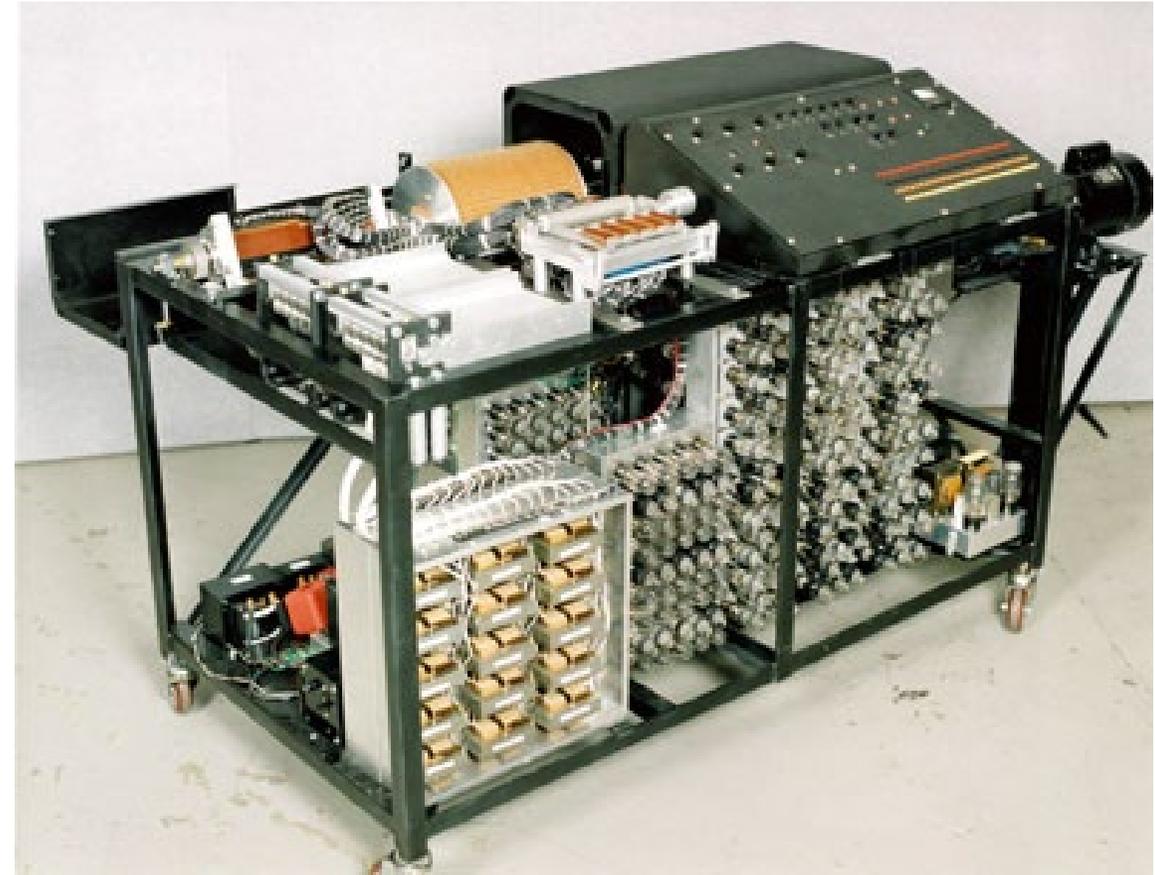


Primer computador digital programable del mundo (Konrad Zuse, 1938-1941): Z3

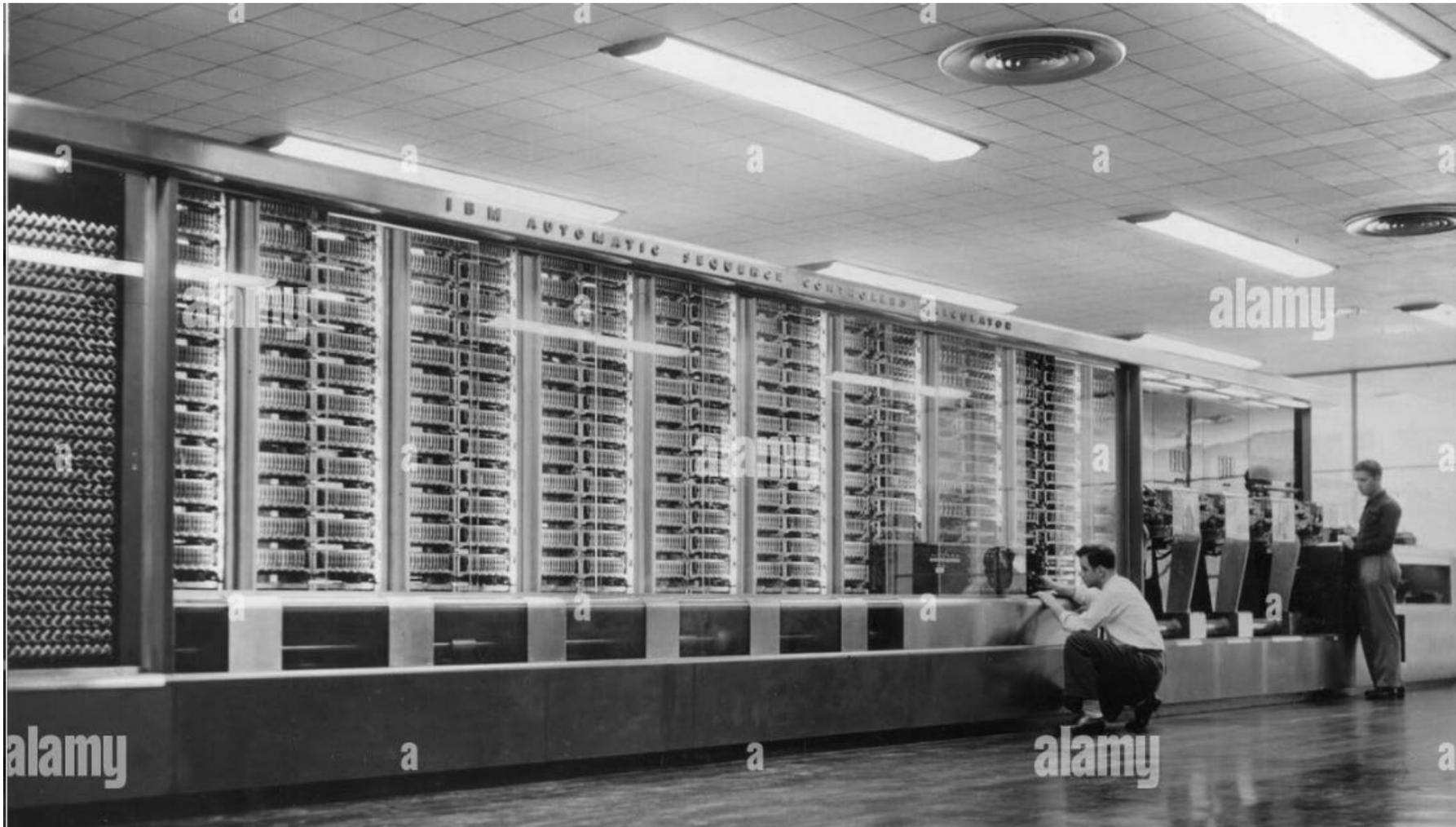


ABC

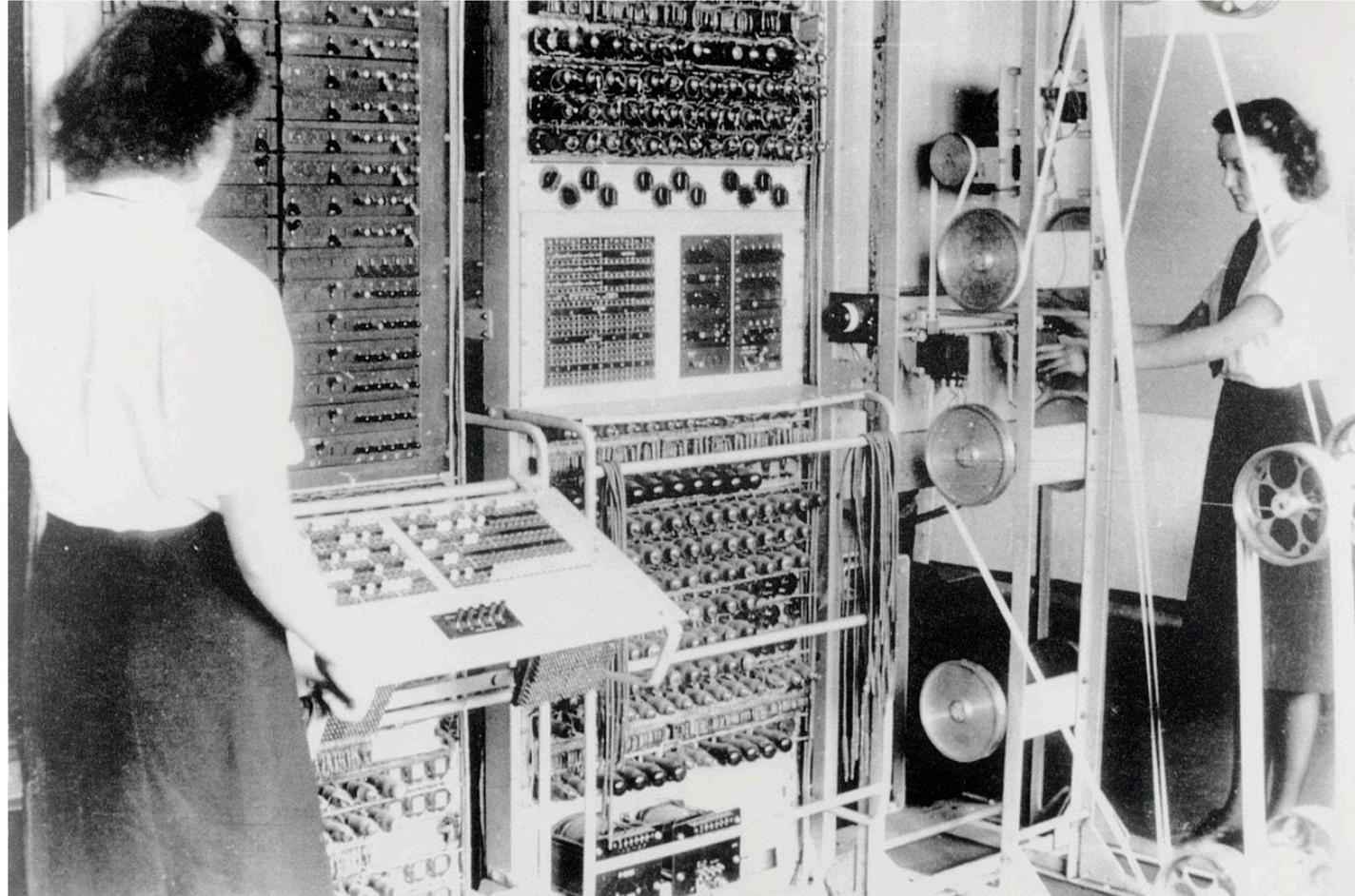
- 1940: John Atanasoff, (Iowa State College) y Clifford Berry
 - construyeron (sin concluir) la ABC de uso específico (resolver sistemas de ecuaciones lineales) utilizando válvulas electrónicas
- Gran polémica sobre quienes idearon el primer computador, incluyendo denuncias judiciales.



Howard T. Aiken concluye en la Unv. de Harvard (1944) la Mark I, computador electromecánico (relés) (x: 6s: /:12s).
Instrucciones en cinta de papel. 15 años de uso.



1943 Alan Turing (1912-1954), desarrolló en Bletchley Park (Inglaterra) una serie de máquinas electrónicas programables (“Colossus Mark II”) para descifrar los códigos alemanes.



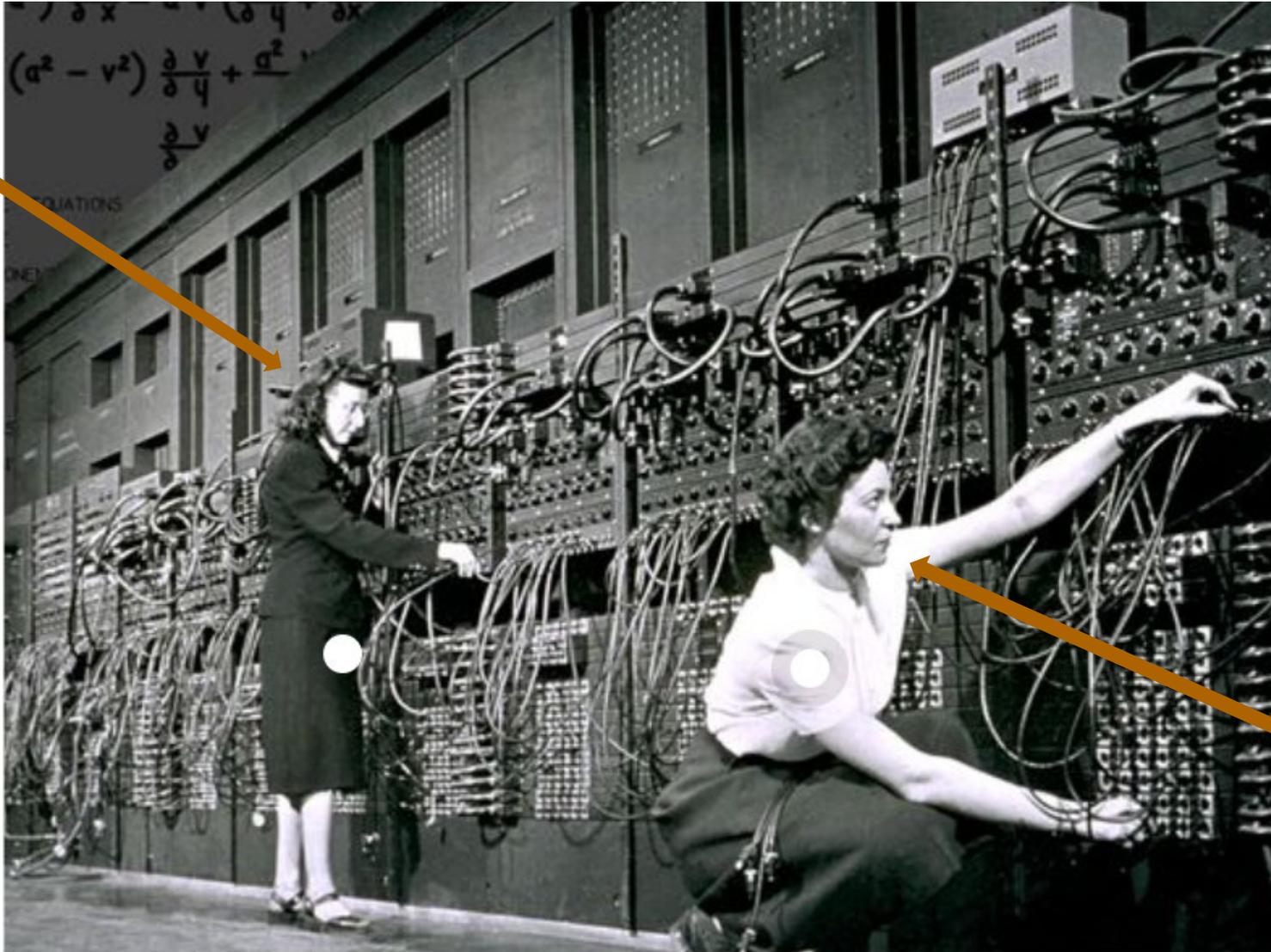
El ENIAC (1945)

- John Mauchly y Presper Eckert
 - terminan el ENIAC, primer computador de uso general electrónico (18.000 válvulas y 1.500 relés; 300 opera./seg, 30Tm). Unv. Pensylvania.
 - Tarjetas perforadas, 1 multiplicador, 1 divisor, Raíz cuadrada, 20 sumadores
 - Construida para hacer tablas balísticas. Financiado por el departamento de Defensa EEUU.

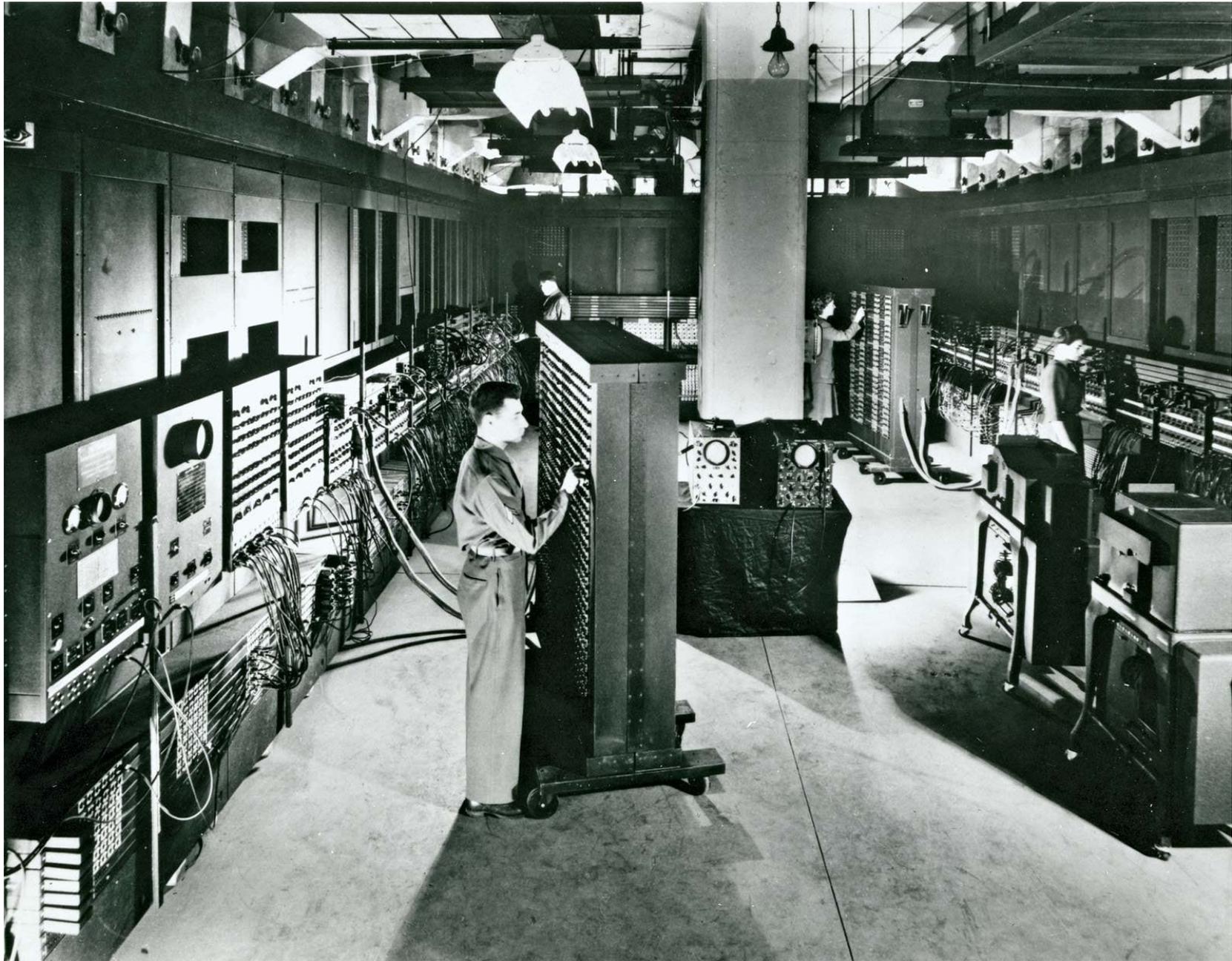


ENIAC: “Cableando” un programa, en los paneles de control

Marlyn
Wescoff

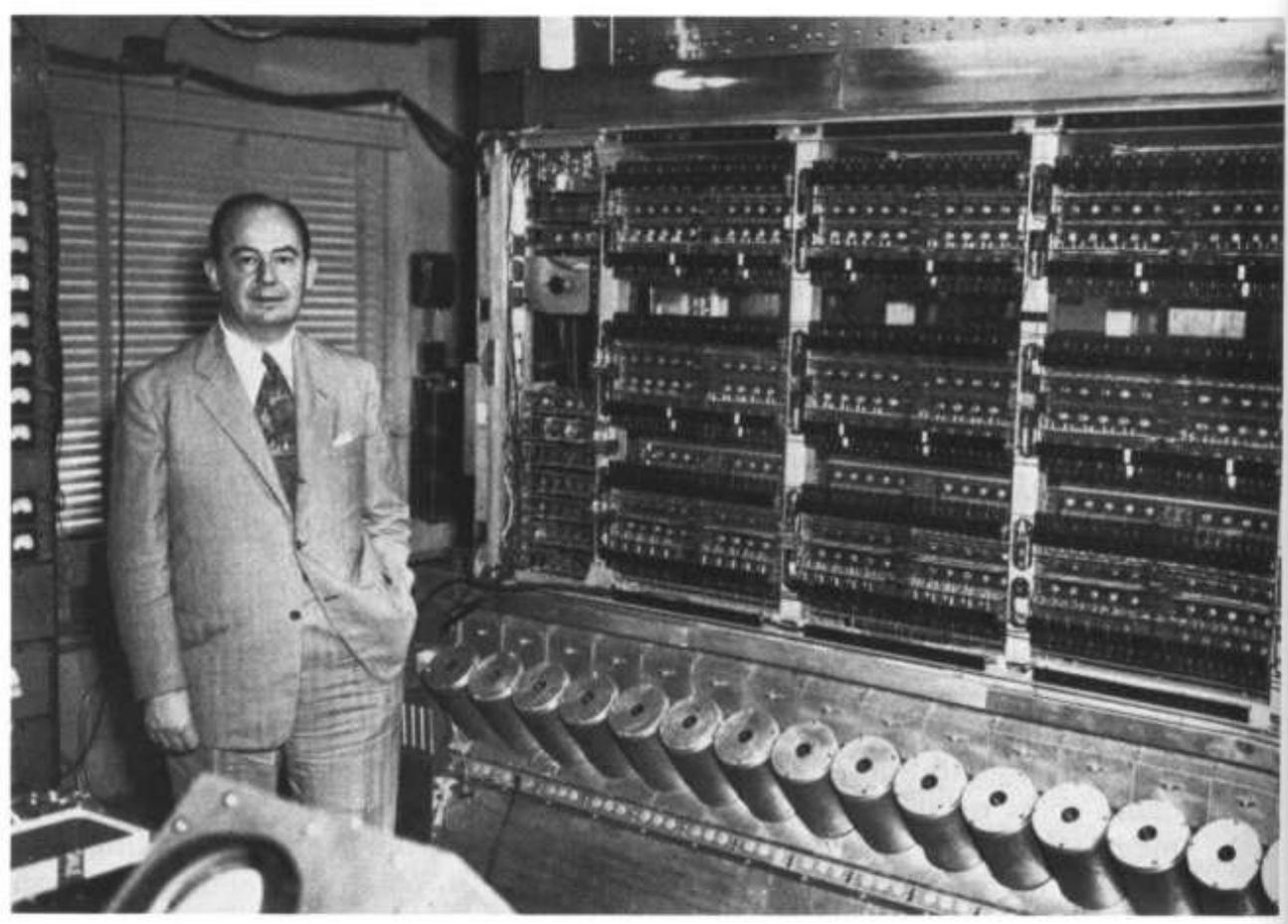


Ruth
Lichterman



Otra contribución trascendental:

- John von Neumann (1903-1957)
 - Contribuyó a la sistematización de la lógica.
 - Publica un trabajo en 1945 con el concepto de programa almacenado (idea de Turing y Eckert y Mauchly???)
 - Intervino en el diseño del EDVAC: concepto de programa almacenado en memoria, junto con los datos. Noción de secuenciamiento de operaciones elementales. Utilización de aritmética binaria.

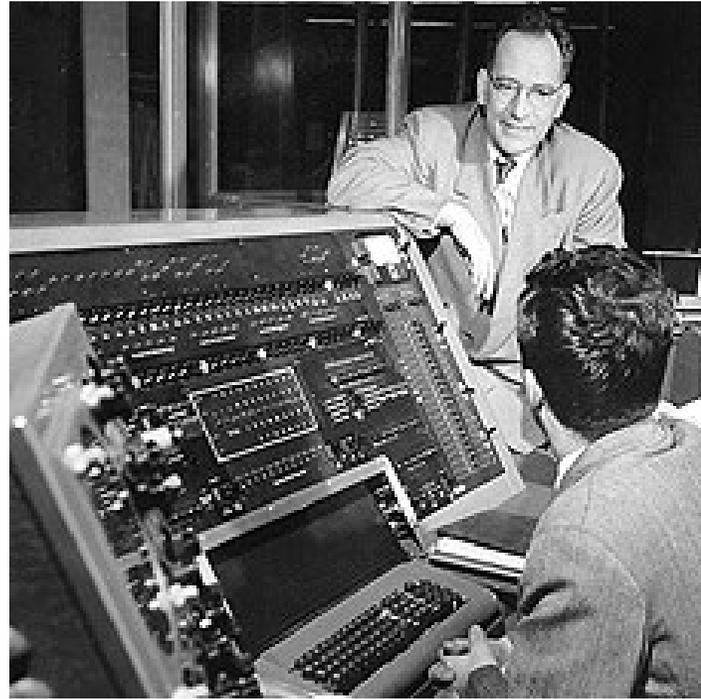


El primer computador comercial: UNIVAC 1 (1951)

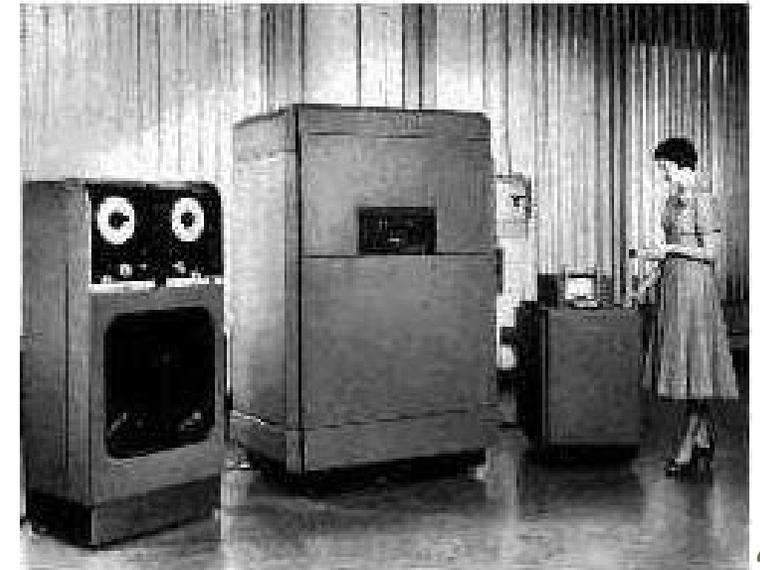
- 1.000 operaciones/seg). (se vendieron 43 hasta 1957)
 - Encargado por la oficina de censo de USA, entregado el 31 Marzo 1951
 - Desarrollada por Eckert y Mauchly en Remington-Rand (Sperry-Rand)
 - Se usaban líneas de retardo de mercurio como memoria: 1000 palabras de 11 dígitos decimales, acceso $222 \mu\text{s}$
 - Unidades de cinta magnética



UNIVAC I



THE BETTMANN ARCHIVE



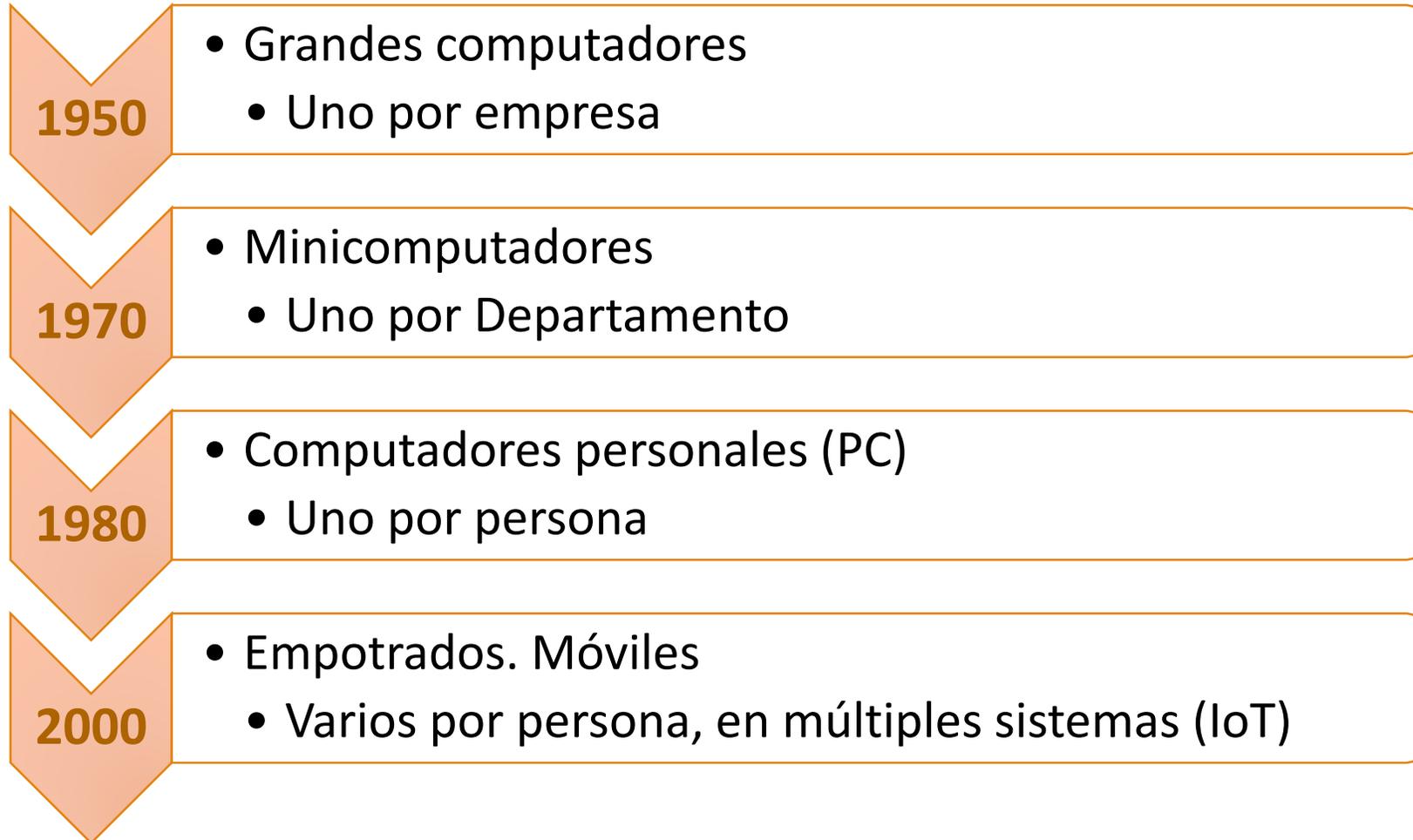
Evolución de los computadores

- Cada vez se van consiguiendo computadores más:
 - potentes,
 - pequeños,
 - baratos, y
 - fiables
- Debido a la evolución de la
 - Arquitectura de los computadores, y de la
 - Tecnología (Electrónica, etc.): válvulas -> transistores -> CI
- El uso e importancia de los computadores se amplia:
 - Nuevas aplicaciones
 - Sistemas operativos, Lenguajes de programación, Modelos computacionales, Ingeniería del software, etc.

Las 4 generaciones de computadores

Años	Generación	Tecnología	Velocidad operativa	Innovaciones hardware	Innovaciones software	Computadores representativos
1946-58	Primera	Tubos de vacío; memorias de retardo de Hg.; memorias CRT	ms	Aritmética de punto fijo	L. máquina; L. ensambladores	UNIVAC I; NCR 102 IBM 702 IBM 650
1959-63	Segunda	Transistores; ferritas; discos magnéticos	μs	Aritmética expo. Registros índices Proc. de E/S	LANs; Bibliotecas de subrutinas; Monitores batch	IBM 7094 UNIVAC 1004 IBM 1620 CDC 1604
1964-70	Tercera	C.I. (SSI y MSI)	ns	μprogramación segmentación memorias caché	Multiprogramación Multiprocesamiento Memoria virtual	Amdahl, PDP-8 IBM 360, 370 UNIVAC 1108
1971-	Cuarta	C.I. (VLSI)	ns	μprocesadores μcontroladores Arquitecturas RISC, paralelas, ..	L. declarativos L. orientados a objetos; Menús; iconos,...	PCs (8088,...) WorkStation

Otra visión del desarrollo de la informática



Los supercomputadores

Han cambiado completamente nuestro modelo de vida

Características de los supercomputadores

- Hay numerosos ámbitos de la ciencia o de la tecnología que requieren computadores con una potencia de cálculo extremadamente elevada.
- Por ello se han ideado los **supercomputadores**, que se caracterizan por realizar cálculos muy complejos o procesar cantidades ingentes de datos en tiempos razonables, dando los resultados con una calidad adecuada.
- Los dispositivos electrónicos tienen un límite de velocidad (en 2022, las CPU 8,5 GHz) que es insuficiente para muchas aplicaciones. Se evitan las limitaciones de velocidad de los dispositivos electrónicos con el:
 - **Procesamiento paralelo**. El supercomputador más potente de la actualidad (Frontier) dispone de 8.730.112 procesadores (núcleos)
- Para medir y comparar la velocidad de computo de los supercomputadores se utiliza un factor denominado **rendimiento**, que proporciona el *nº de operaciones con números reales que se pueden ejecutar por segundo (Flop/s)*.

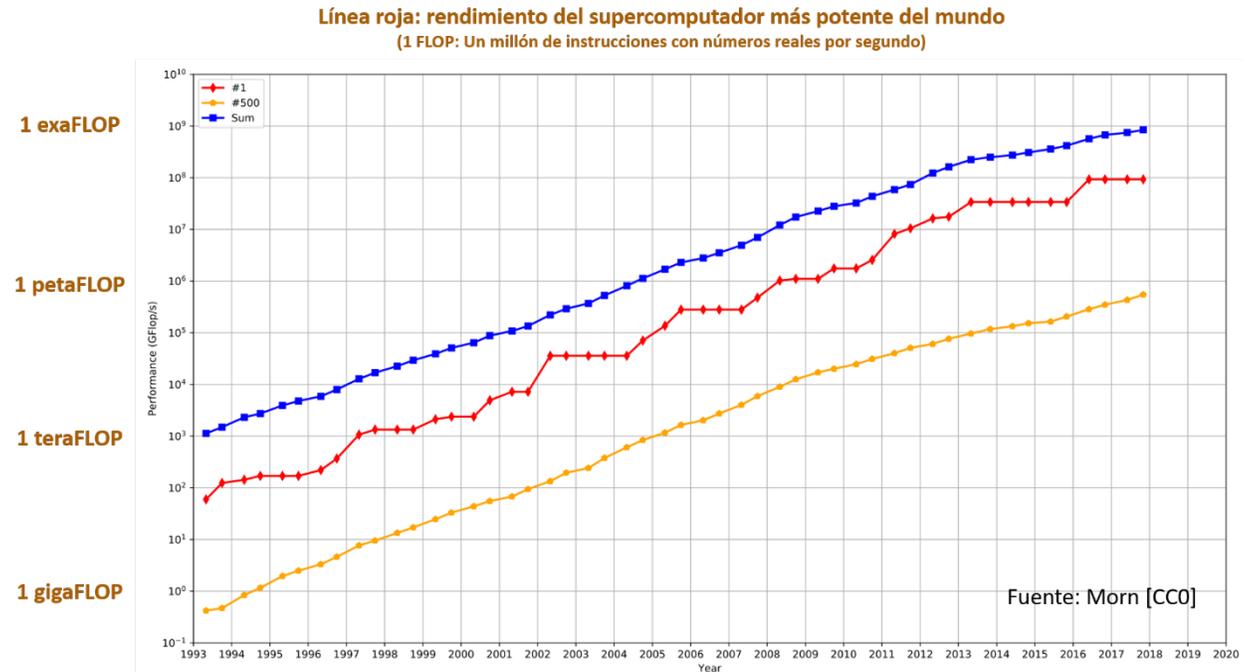
Potencia (rendimiento) de computo de un computador



- **FLOPS o FLOP/S →**
- **Nº de operaciones con nº reales ejecutadas en un segundo**

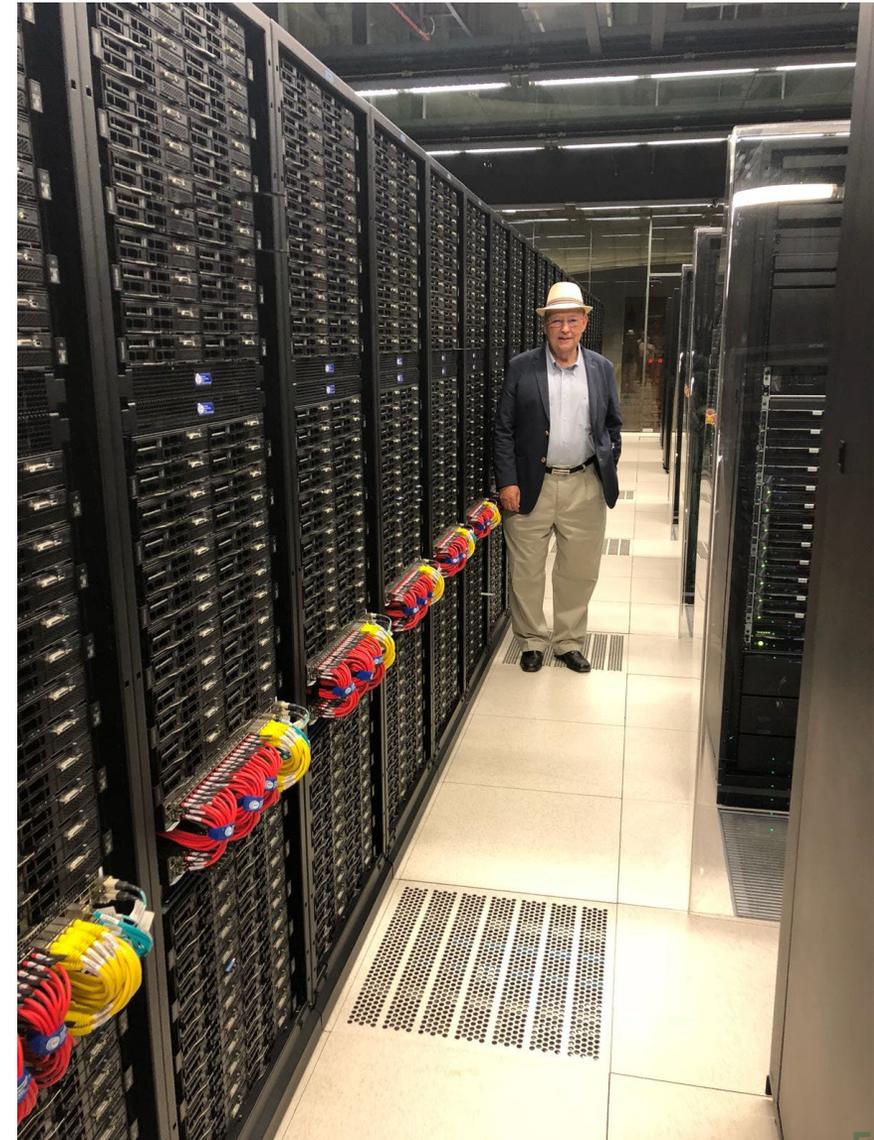
Evolución del rendimiento de cálculo de los supercomputadores

- Aproximadamente cada 10 años se multiplica por mil la velocidad de procesamiento de los supercomputadores, y los avances son tan espectaculares que un supercomputadores, si no es renovado adecuadamente, puede perder su condición de tal aproximadamente cada 4 años.



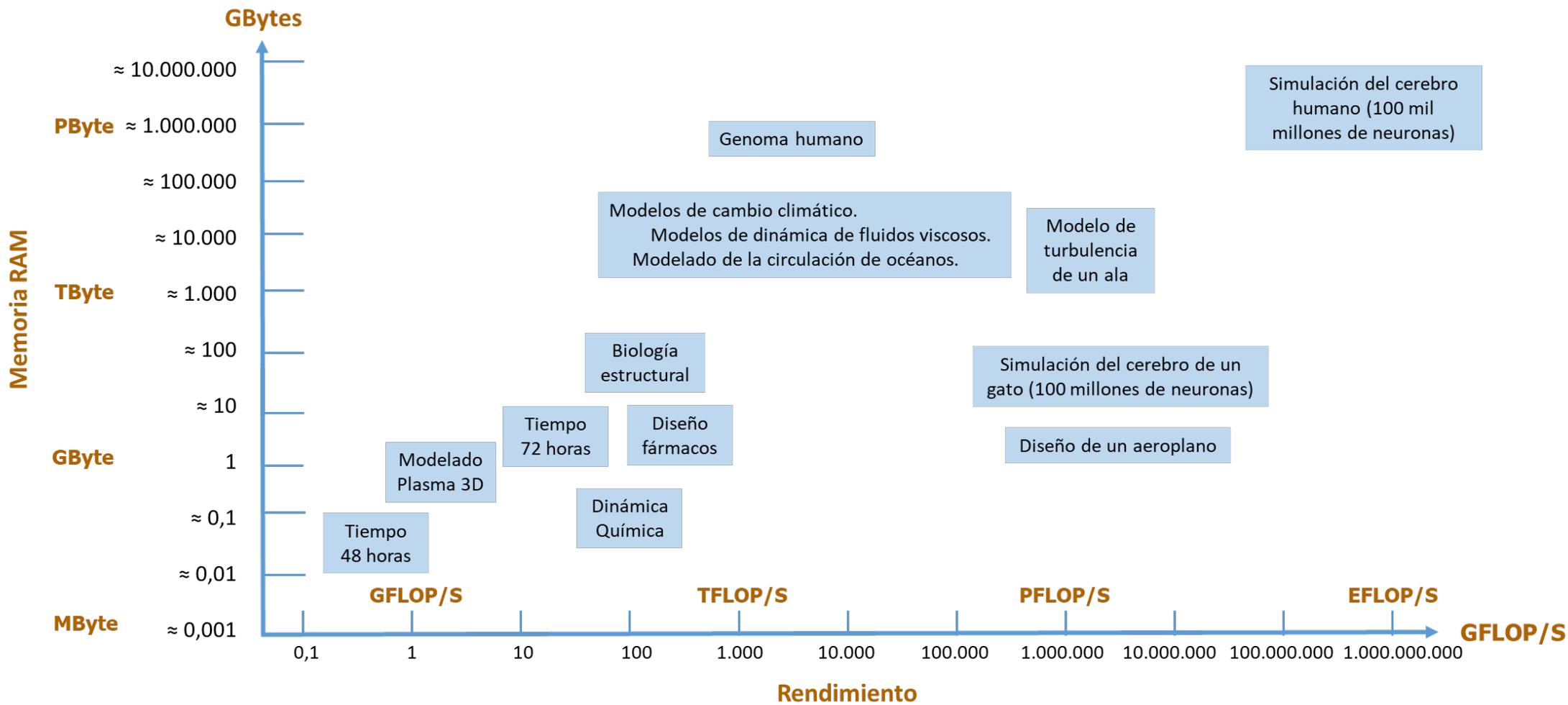
Precio de los supercomputadores

- El precio de mercado de los supercomputadores se encuentra en el rango de 10 a 500 millones € o más
 - La transformación del mayor supercomputador de España, el **Mare Nostrum**, de la versión III a la IV supuso un costo de más de 30 millones de euros, y el SUMMIT costó unos 200 millones de dólares.
 - Los precios de adquisición a veces son menores ya que a los grandes fabricantes les puede resultar comercialmente estratégico ofertar máquinas a precios más bajos que los de mercado.

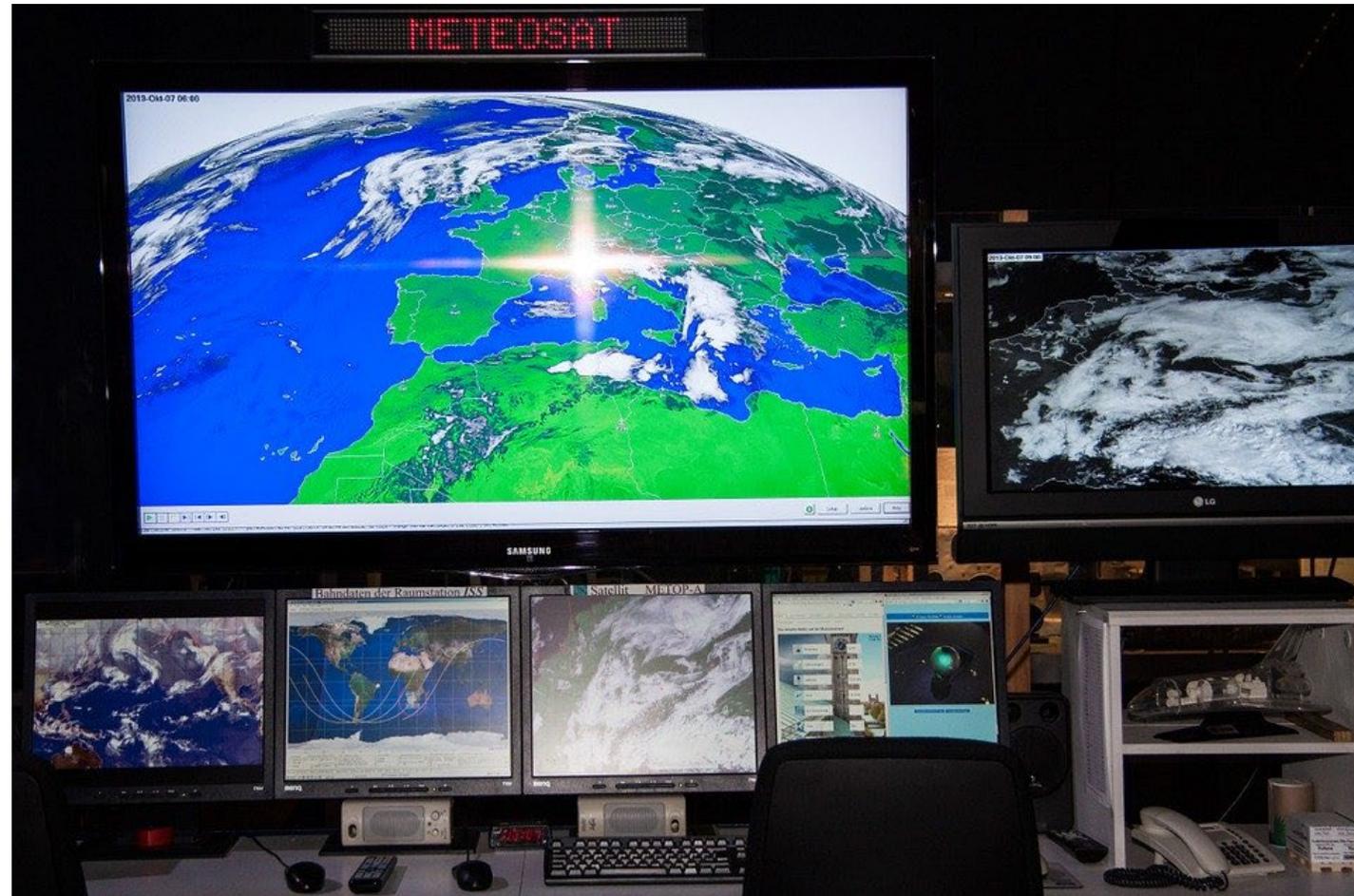


Aplicaciones

- El objetivo fundamental de los supercomputadores es trabajar a muy altas velocidades, efectuando lo que se denomina:
 - Computación de altas prestaciones o HPC (High Performance Computing), o Computación de alto rendimiento, o Cálculo intensivo
- Su principal cualidad es que permiten recrear la realidad; es decir, simularla de forma muy precisa; de esta forma, por ejemplo, podemos
 - experimentar con la evolución de una estrella supernova sin necesidad de actuar sobre ella,
 - pronosticar el tiempo,
 - determinar los efectos de un nuevo fármaco sin necesidad de probarlo,
 - analizar el genoma humano o
 - medir la aerodinámica de un avión sin construirlo.



Ejemplo clásico de la necesidad de la supercomputación es el Pronóstico del tiempo



La predicción del tiempo es un objetivo fundamental tanto para la Ciencia como para la Humanidad

- En efecto, implica a:
 - Predicción de desastres
 - Explotaciones agrícolas y ganaderas
 - Actividades de pesca
 - Construcción y obra civil
 - Transporte
 - Compañías de seguros
 - Organización de eventos
 - Turismo y hostelería: playas, esquí, montañismo, actividades al aire libre, etc.
 - Etc.

¿Cómo se hace el pronóstico del tiempo?

- Existen modelos físicos muy precisos sobre el comportamiento y evolución de la atmósfera
 - Se basan en la utilización de grandes sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales que modelan muy aproximadamente la evolución en el tiempo de los parámetros meteorológicos (temperatura, presión, humedad, radiación solar, viento, etc.)
 - Los valores iniciales para resolver los sistemas de ecuaciones se obtienen de los datos proporcionados de una gran cantidad de estaciones y radares meteorológicas ubicados en la tierra, y en satélites y globos meteorológicos.



¿Cómo se hace el pronóstico del tiempo?

- La resolución numérica de los sistemas de ecuaciones diferenciales proporcionan la previsión, y se efectúa utilizando métodos numéricos.
 - Estos métodos se basan en dividir el tiempo en periodos y el espacio en una retícula tridimensional, obteniéndose los resultados para esos periodos y para los nudos de la retícula.

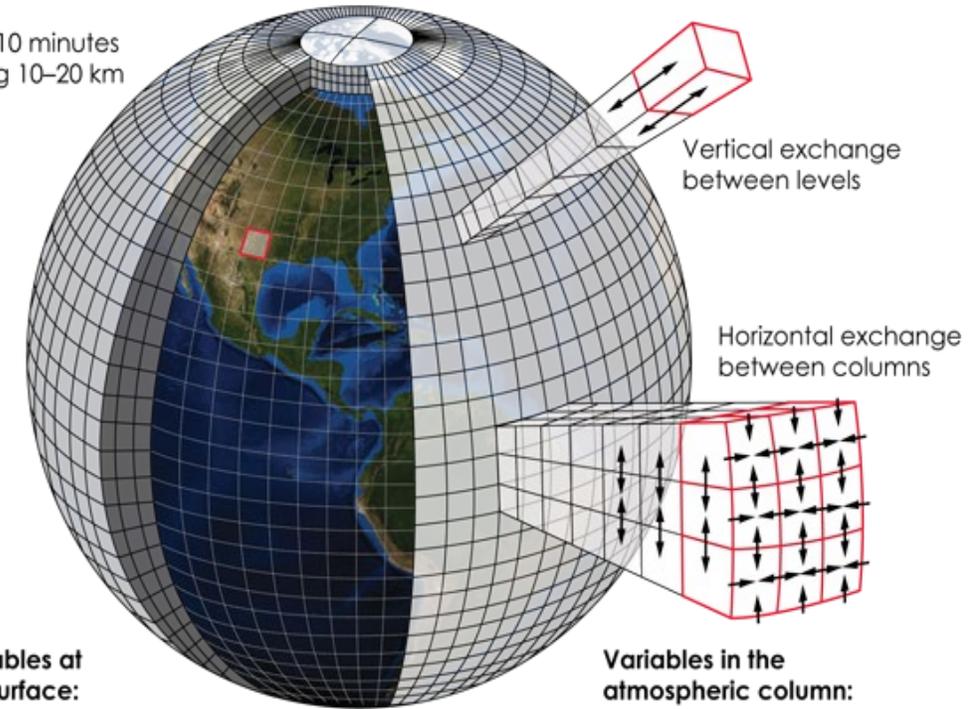
$$\frac{\partial}{\partial a} \ln f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{(\xi_1 - a)}{\sigma^2} f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\xi_1 - a)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot \frac{(\xi_1 - a)}{\sigma^2}$$
$$\int_{R_n} T(x) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} f(x, \theta) dx = M\left(T(\xi) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\xi, \theta)\right) = \int_{R_n} \frac{\partial}{\partial \theta} T(x) f(x, \theta) dx$$
$$\int_{R_n} T(x) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(x, \theta)\right) \cdot f(x, \theta) dx = \int_{R_n} T(x) \cdot \left(\frac{\frac{\partial}{\partial \theta} f(x, \theta)}{f(x, \theta)}\right) \cdot f(x, \theta) dx$$
$$\frac{\partial}{\partial \theta} \int_{R_n} T(x) f(x, \theta) dx = \int_{R_n} \frac{\partial}{\partial \theta} T(x) f(x, \theta) dx$$

¿Cómo se hace el pronóstico del tiempo?

- Para resolver el modelo, la atmósfera se considera dividida en paralelepípedos, por ejemplo de unos 10x10 Km de base y con 100 niveles verticales. **500 millones de paralelepípedos en toda la tierra y 10 millones Europa.**
 - Para obtener mayor precisión, en zonas locales concretas, se hacen los paralelepípedos más pequeños (5 Km)

Weather forecast modeling

Timestep 5–10 minutes
Grid spacing 10–20 km



Variables at the surface:

Temperature
Humidity
Pressure
Moisture fluxes
Heat fluxes
Radiation fluxes

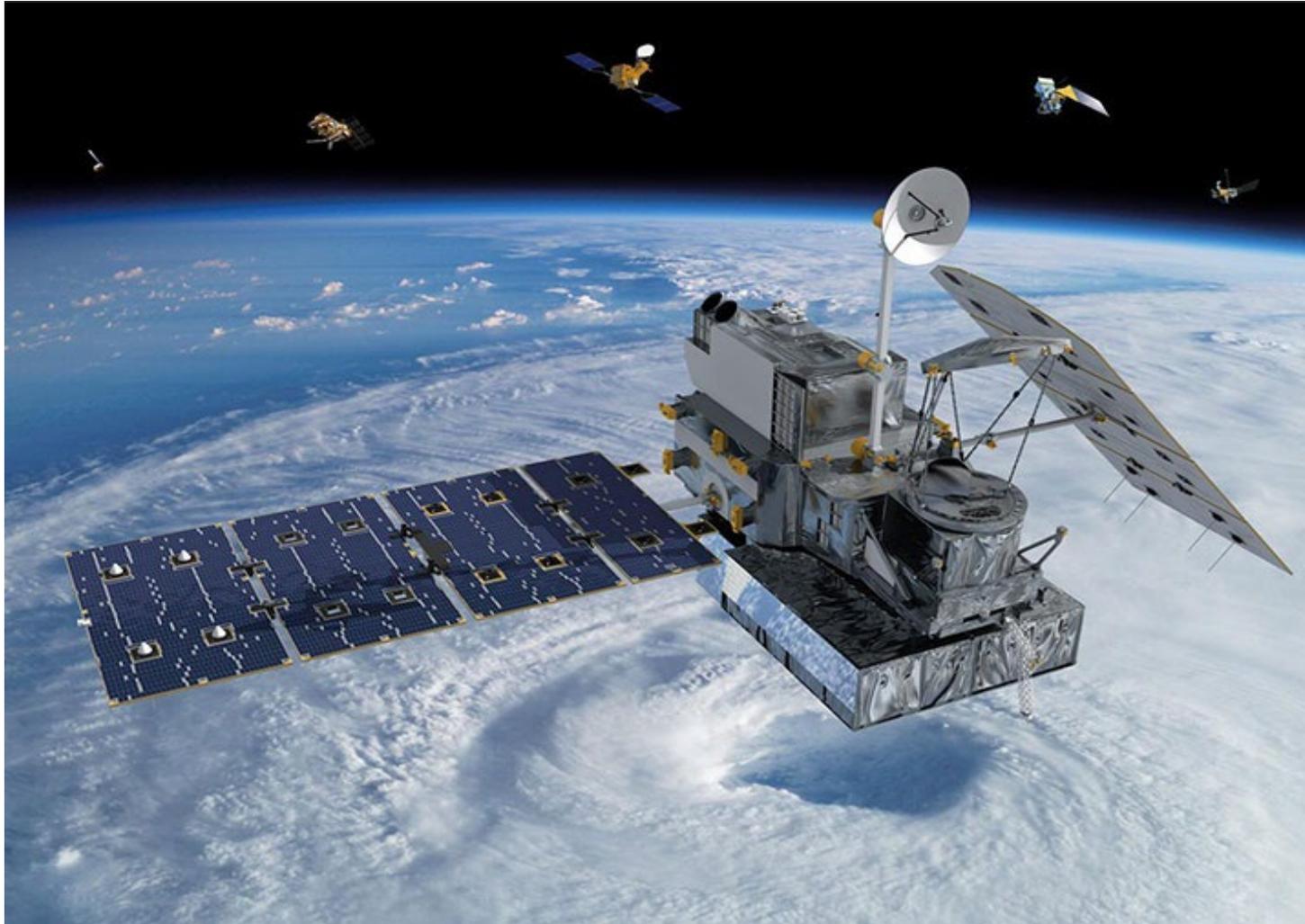
Variables in the atmospheric column:

Wind vectors
Humidity
Clouds
Temperature
Height
Precipitation
Aerosols

- Para realizar la previsión meteorológica hay que considerar dos tiempos:
 - El plazo, desde un momento dado, para el que se desea hacer la previsión (por ejemplo a 24 horas, a 3 días a 15 días, a un mes, etc.).
 - El tiempo que se tarda en hacer la previsión; es decir en ejecutar el programa que nos da los resultados.
- Obviamente, si hacemos la previsión a un día, el tiempo de la obtención de los resultados debe ser relativamente mucho menor. Si para hacer la previsión para 24 horas, el programa tardase en ejecutarse 25 horas realmente no haríamos un pronóstico.
- En 1962 con el supercomputador CDC6600, uno de los sistemas más potentes de la época, el modelo matemático necesitaba **12 días para producir predicciones a 10 días**. → Inviabile
- En 1979 el Cray 1A utilizaba 5 horas de procesador para producir una predicción a **10 días**.

- El CRAY XC40 del Centro Europeo de Predicción del Tiempo a Medio Plazo (ECMWF) realiza al cabo del día 4 previsiones:
 - Dos corresponden a pronósticos a 3 días, las ejecuciones se inician a las 06:00 y a las 18:00 y tardan un total de 6 horas 52 minutos
 - Y las otras dos a pronóstico a 15 días, las ejecuciones se inician a las 00:00 y a las 12:00 horas y las ejecuciones tardan 7 horas 20 minutos.
- Con un excelente PC de sobremesa el pronóstico del tiempo a 3 días tardaría en ejecutarse nada menos que **257 años, 8 meses y 17 días**; frente a las **6 horas y 52 minutos** del CRAY SC40; es decir, 7 ordenes de magnitud más.

Conclusión: resulta imprescindible el uso de grandes supercomputadores para realizar científicamente el pronóstico del tiempo en tiempos razonables.

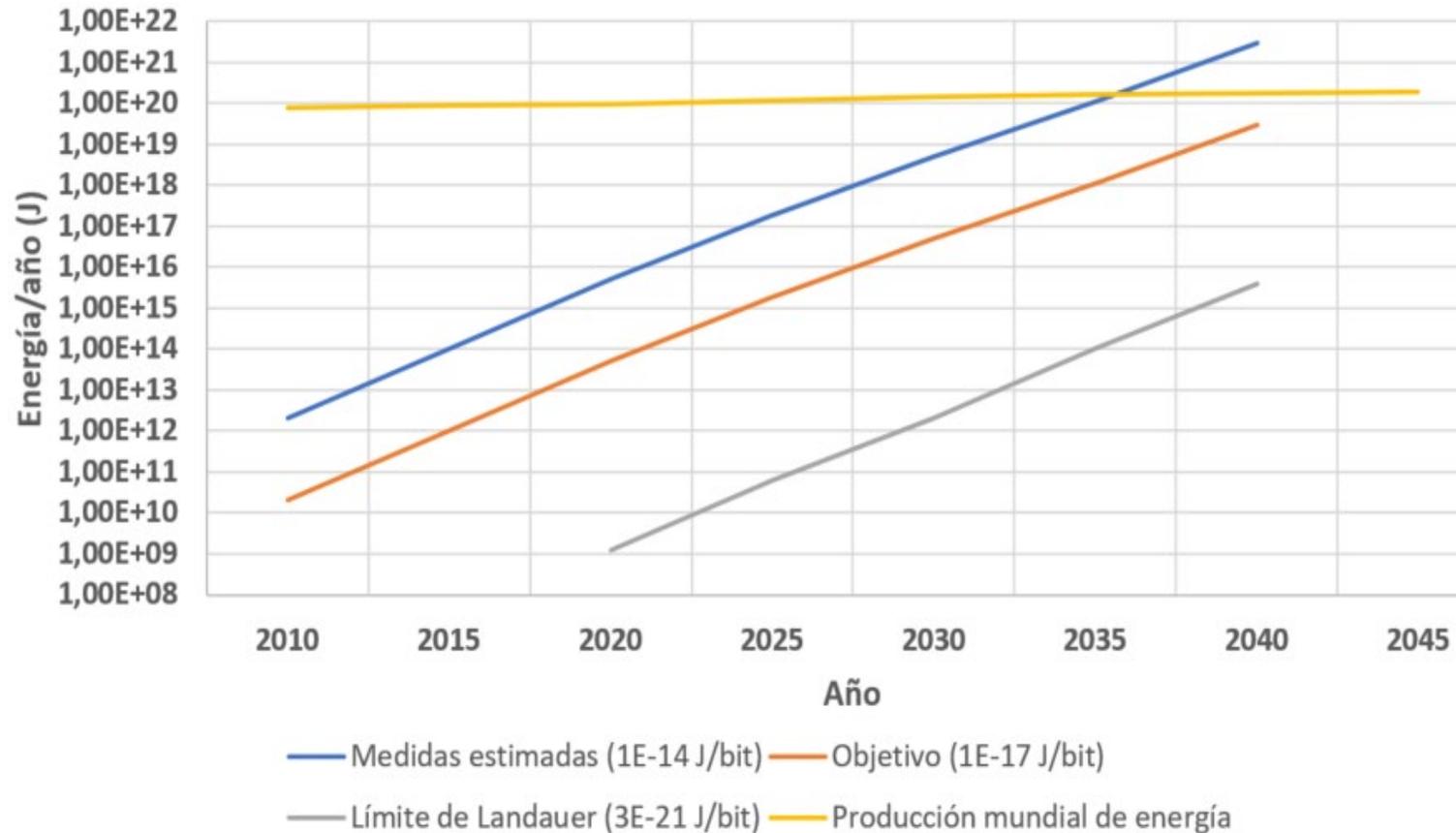


Supercomputadores: requieren instalaciones muy complejas



- Climatización muy crítica y su funcionamiento requiere un gran consumo energético.
- Planta de enfriamiento de Google en Hamina (Finlandia)

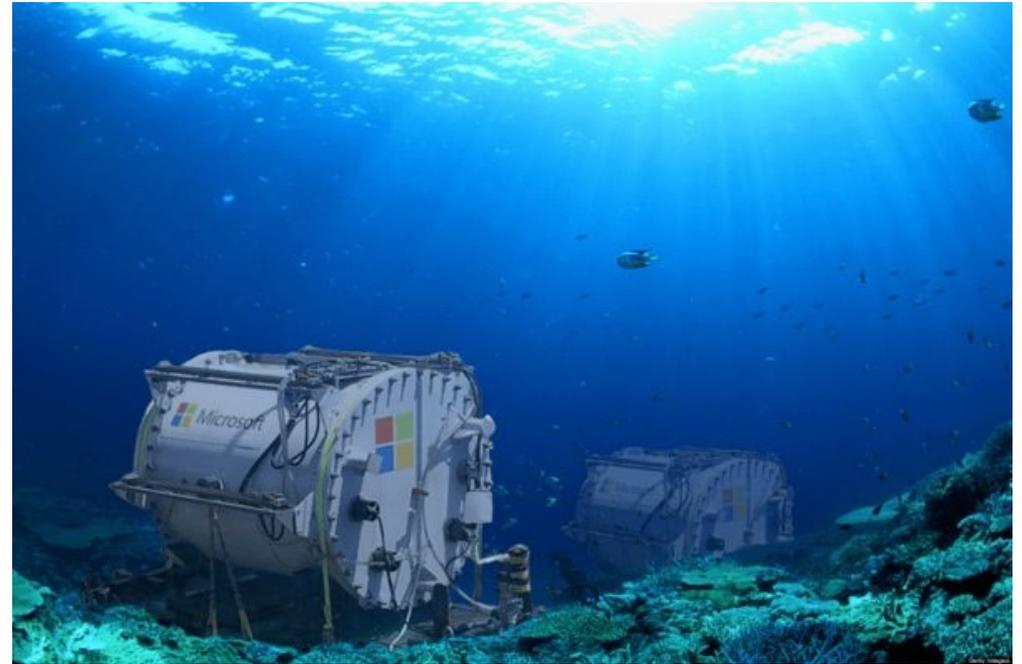
Se prevé que hacia 2040 no habrá energía eléctrica suficiente para IoT



Prieto, A.; Prieto, B.: “Las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones como parte del problema y de la solución del consumo energético”. Conferencia Inaugural JENUI2023, 5 julio 2023

Proyecto Natick de Microsoft

- Estudio de la viabilidad de colocar centros de datos bajo el agua, cerca de las comunidades costeras.
 - Implica sumergir 864 servidores en un contenedor similar a un submarino que será alimentado por una combinación de energía renovable en tierra cercana, incluida la energía solar y eólica.



¿A dónde llegaremos?

- Es muy difícil hacer previsiones
- y, por tanto, muy fácil equivocarse:
 - **I think there is a word market for about five computers** (Tomas J. Watson, fundador de IBM, 1943)
 - **There is no reason for any individuals to have a computer in their home** (Ken Olsen, DEC, 1977)
 - En 2023: en el mundo 30.000 millones de computadores / 8.000 millones de personas
→ 4,75 computadores/persona (IoT: 2008)

Muchas gracias por
vuestra atención



Bibliografía

- M.R. Williams, “A history of computing technology”, Prentice Hall 1985
- D.A. Paterson, J.L. Hennessy, “Estructura y diseño de computadores”, Edt. Reverté, 2000.
- A.Prieto, A.Lloris, J.C.Torres, “Introducción a la Informática”, McGraw-Hill, 1995. (*Capítulo 14*).
- J.Meyers, “A short history of the computer”, <http://www.softlord.com/compt>
- B. Randell (Edt.), “The origins of digital computers”, Springer Verlag, 1970 (recopila artículos originales de los pioneros de los computadores)
- J. Ortega "Entre la profecía de Moore y la ley de Amdahl". Conferencia inaugural del curso 2008-2009 en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación.
https://icar.ugr.es/sites/dpto/atc/public/ficheros/extendidas/2021-07/Conferencia_ETSIIT_JOrtega_2008.pdf
- Top500, <https://www.top500.org/>
- A. Prieto, J. Ortega, M.Anguita. Vídeo sobre supercomputadores: <https://youtu.be/dHDime2LRKs>

Aplicaciones sorprendentes

- **Eva Facial Mouse Pro**: Selección y activación de objetos con movimientos de la cabeza a ordenador / Tablet, etc.
- **E-distribución** (Contadores de electricidad inteligentes)
- **Seeing AI** (Microsoft): Lee textos, etiquetas de barra, interpreta en tiempo real imágenes (caras, distancias, etc.), billetes, descripción de escenas, colores, intensidad de luz.
- Dibujo artístico automático: <https://www.bing.com/create>
- **Colorear fotos en b/n**: <https://palette.fm/>
- **PhotoMath**: Resolver ecuaciones escritas a mano.
- **BCI. Motor movement imaging** (señales EEG)
- Traductores de idiomas.
- **Asistentes virtuales**. Alexa
- **ChatGTP**: chatbot especializado en el dialogo (comunicación con lenguaje natural)