

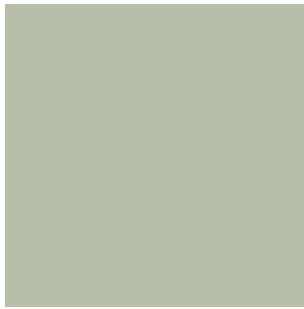
 Generalitat de Catalunya  
Departament de Cultura



# Exposició L'enigma de l'ordinador



## L'enigma de l'ordinador



Guia de visita  
de les exposicions  
del mNACTEC

EM

2

### RECURSOS EN LÍNIA

- “La història de l'ordinador, des de les primeres eines de càlcul (5000 aC) fins a l'actualitat”. (2 min) Vídeo de la mateixa exposició que, de forma molt gràfica, mostra les línies essencials de l'evolució del càlcul i del tractament de la informació.

<http://www.youtube.com/watch?v=VEfOCeqQvco>

- Visita virtual a l'exposició. Documenta els aspectes més rellevants de cada un dels àmbits. Permet que el visitant planifiqui la visita i seleccioni els continguts d'acord amb els seus interessos.

<http://ordinadors.mnactec.cat/>

### Introducció a l'exposició

Aquesta exposició t'endinsarà en l'evolució del tractament de la informació des dels principis de la humanitat fins l'actualitat. T'ajudarà a comprendre alguns dels *enigmes* que són al darrera de les màquines digitals que ens sedueixen per les seves prestacions i que s'han fet omnipresents a la nostra vida.

En la visita a l'exposició cal que et fixis en els diferents eixos que hi són presents:

**El tractament de la informació.** L'evolució del tractament manual unitari al tractament massiu de dades.

**La transició de tecnologies.** La tecnologia de base de construcció de les màquines ha passat per diversos estadis: Posicional (àbac, regle de càlcul) > Mecànica (rellotge, pascalina) > Elèctrica (interruptor) > Electromecànica (relé) > Electrònica (vàlvules de buit, transistor) > Microelectrònica (circuit integrat, microprocessador).

Aquest canvi tecnològic ha contribuït a:

La **reducció del volum** de les màquines.

La **reducció del consum** energètic.

L'**increment de la velocitat de processament** de dades.

L'**increment de la fiabilitat**.

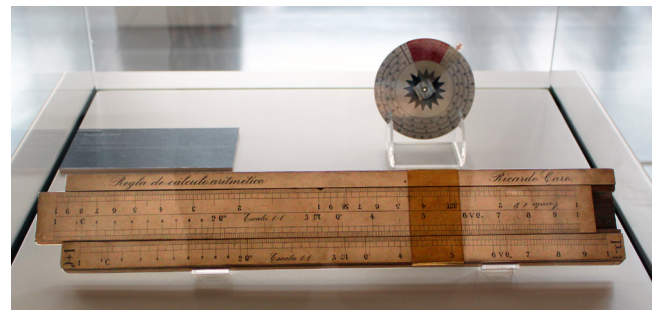
La **disminució de preus** amb un **increment de prestacions**.

La **integració del tractament de dades i les telecomunicacions**.

Els ordinadors a més de ser màquines **centralitzades a les administracions, les empreses i les universitats** actualment han esdevingut massivament **màquines d'ús personal** en un món interconnectat.



Brahmi	—	=	≡	+	∞	∞	7	5	7
Indoàrabs	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Àrabs	•	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨
Hebreus	0	א	ב	ג	ד	ה	ו	ז	ח
Latins	0	1	2	3	4	5	6	7	8



## Xifres i càlculs



Des dels inicis de la Humanitat, les diferents cultures han resolt de diverses maneres la necessitat de comptar, de realitzar càlculs i de representar la informació.

En el recorregut d'aquest àmbit veureu els inicis del càlcul i del tractament de la informació més rudimentaris i la seva evolució.

La representació de valors mitjançant objectes i símbols va en paral·lel amb el desenvolupament de sistemes de numeració i de mètodes de càlcul. L'origen del mot càlcul ve del mot llatí *calculi*, pedra en català, amb les quals les primeres civilitzacions representaven els objectes per a ser comptats. Curiós, oi?

Els sistemes de representació de quantitats amb símbols numèrics per arribar al que avui coneixem, ha seguit un llarg recorregut de milers d'anys: el sistema babilònic, el sistema xinès, el sistema romà, el sistema maia, l'indoàrab. El sistema de numeració decimal, basat en aquest darrer, tal com el coneixem avui, es va anar estenent a Europa sobre el segle XVè, gràcies a l'aparició de la impremta. La invenció del zero va ser cabdal per superar les limitacions de càlcul que tenien els sistemes de numeració i que va determinar l'èxit del sistema decimal. També és de destacar la importància del sistema sexagesimal, ideat pels sumeris i babilonis entre el 3000 aC i el 2000 aC i que actualment encara fem servir per mesurar angles i el temps. La taula interactiva us permetrà explorar com les diferents cultures han resolt els problemes de càlcul.

En aquest àmbit veureu un conjunt d'enginyers per automatitzar els processos de càlcul des de simples sumes fins complicades operacions, això sí, ... sense cap energia externa que s'aplicava per la persona que fa anar la màquina: els àbacs, el regle de càlcul, ...

L'**àbac** és l'enginyer de càlcul manual més antic que es coneix i que les diverses cultures han fet adaptacions. Avui dia encara s'utilitza ja que proporciona un sistema de càlcul sistemàtic i precís. Aquest senzill, simple, però enginyós aparell permet realitzar càlculs de forma ràpida seguint uns procediments ràpids de memoritzar.

L'**astrolabi carolingi** és un instrument del segle X per calcular l'alçada del Sol o de l'estrella Polar i determinar la latitud, informació imprescindible per a la navegació marítima. L'astrolabi pot aplicar-se a altres càlculs com determinar l'alçada d'un edifici.

El **regle de càlcul** és un enginyer per efectuar càlculs complexos en base al desplaçament del règula central. Permet realitzar multiplicacions, divisions, potències, arrels, logaritmes i funcions trigonomètriques. El regle de càlcul va emprar-se en càlculs científics i d'enginyeria fins a finals de la dècada dels 70 del segle passat, desplaçat per l'aparició de les calculadores electròniques.

El seu funcionament es fonamenta en escales gràfiques logarítmiques. La invenció dels logaritmes s'atribueix al matemàtic John Napier (1550-1617). Amb els logaritmes les multiplicacions es converteixen en sumes, les divisions en restes, les potències en multiplicacions i les arrels en divisions.

### RECURSOS EN LÍNIA

- **Pedres i símbols.** Mostra el recorregut històric dels sistemes de numeració i de representació de valors numèrics. <http://www.digits.cat/pedres-i-simbols>

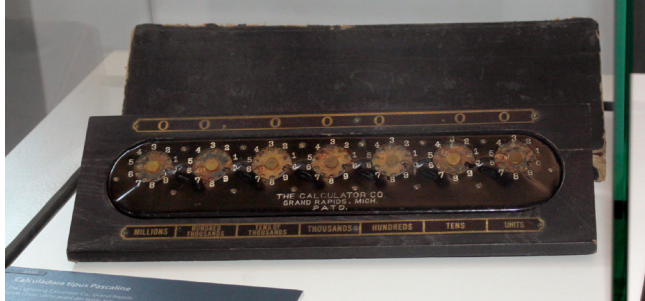
- **L'àbac** és un enginyer de càlcul que s'ha desenvolupat a diferents cultures i té diverses formes. <http://bit.ly/hQX4w6>  
Simulació virtual per practicar amb diferents tipus d'àbacs. <http://bit.ly/QS8QHJ>

- **El regle de càlcul** és un enginyós sistema de càlcul basat en un regle d'escales logarítmiques. <http://bit.ly/O2r8XM>  
Simulació virtual per practicar el seu funcionament: <http://bit.ly/RrUh2k>  
Logaritmes. Per entendre que són i la seva història. <http://www.digits.cat/colaboracions/logaritme>

- **Xifres i càlcul.** Web de l'exposició. <http://ordinadors.mnactec.cat/calcul-mecanic.html>



## L'enigma de l'ordinador



## El càlcul mecànic

En l'àmbit anterior heu vist instruments per al càlcul i en aquest veureu màquines de construcció més complicada que demanen menys coneixements per al seu ús i redueixen la possibilitat d'errors d'operació. En aquest estadi de desenvolupament podem parlar de màquines de calcular mecàniques, és a dir, que utilitzen recursos de tipus mecànic per realitzar les operacions. El mecanisme de base que empen aquestes màquines és l'engranatge de rodes dentades. També es pot veure l'evolució cap a les màquines electro-mecàniques i electròniques.

En aquest àmbit trobaràs les primeres **calculadores mecàniques**, entre elles una de les més emblemàtiques, la *pascalina*, màquines registradores

Les màquines van ser un auxiliar molt important per facilitar i accelerar la feina dels **calculistes**, les persones especialitzades en realitzar manualment les operacions de càlcul per al comerç, la indústria, hisenda, etc.

manuals i elèctriques. Totes elles són enginyers en què el tractament de la informació es feia individualment i en un procés manual. Aquestes senzilles, però eficaces calculadores mecàniques inicials, no requerien altra energia que la de la persona que les feia anar, fins l'arribada de les màquines de calcular elèctriques i electròniques.

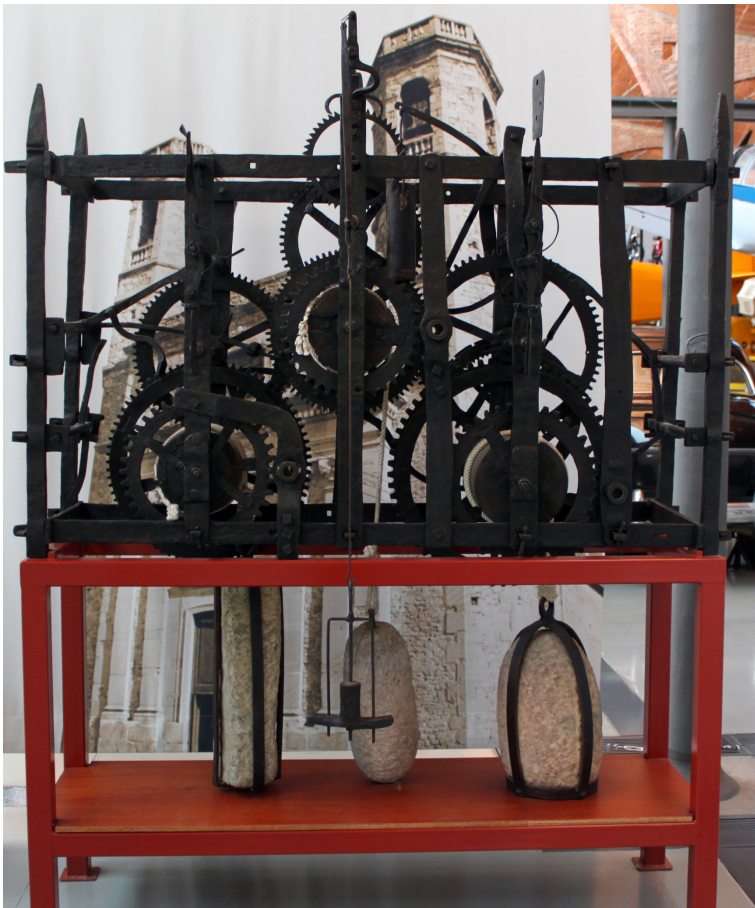
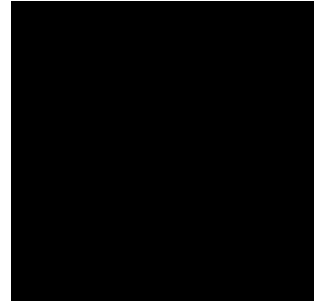
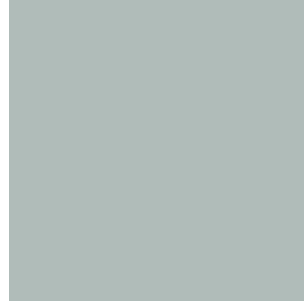
La **pascalina** és el nom de la calculadora mecànica precursora d'aquest gènere de calculadores. El nom d'aquesta màquina ve del científic que la va inventar, Blaise Pascal, al segle XVII, a les acaballes del Renaixement, època en què a Europa es va viure una etapa de progrés científic, tecnològic i humanístic. Aquesta màquina podia realitzar sumes i restes en base a la relació de transmissió que hi ha entre rodes dentades. Comercialment no va tenir gaire èxit perquè s'avarava sovint i era el propi Pascal que les reparava.

De la seva evolució van aparèixer màquines com l'**aritmòmetre**, a mitjan segle XIX, la primera calculadora mecànica amb èxit comercial, capaç de realitzar les quatre operacions bàsiques amb nombres de fins a 12 xifres. Va ser venuda i emprada fins ben entrat el segle XX.

Molta part de la tecnologia emprada a les calculadores mecàniques provenia de l'experiència dels rellotgers de l'època. T'has plantejat que el rellotge, és un calculador? Doncs efectivament, el rellotge és un instrument de mesura del temps. El **rellotge mecànic** és una màquina que es fonamenta també amb els engranatges, però en aquest cas per comptar el temps. No deixa de ser una calculadora en sistema sexagesimal. La relació de transmissió en els engranatges determina l'avanç de les sagetes.

Si compteu el nombre de dents de la roda central davantera comprovareu que en té 36, nombre que dona una divisió exacta de 60.

Tots els ordinadors incorporen un rellotge intern que marca la cadència



#### RECURSOS EN LÍNIA

- **Les dones i la informàtica.** En aquest àmbit apareix el nom d'una dona, Augusta Ada Byron, això ens porta a reflexionar sobre la visibilitat del paper de la dona en la història de la informàtica i en la necessitat de rescatar els noms propis que han estat presents en les diferents etapes evolutives.

Un recull de dones implicades amb l'evolució de la tecnologia informàtica força complet a:

<http://bit.ly/OMu6Ru>

*A short history of woman in technology* posa de relleu la presència de la dona en els àmbits informàtics i planteja la divisió de rols per qüestió de gènere.

<http://bit.ly/HgCAX2>

- **La màquina somiada.** Mostra el principi de funcionament dels enginyers de Babbage, la màquina de les diferències i la màquina analítica.

<http://www.digits.cat/la-maquina-somiada>

- **El càlcul mecànic.** Web de l'exposició.

<http://ordinadors.mnactec.cat/calcul-mecanic.html>

El sistema sexagesimal és un sistema de numeració amb base seixanta, ideat pels sumeris i perfeccionat pels babilonis 2000 aC. El seu origen parteix de la utilització de les falanges dels dits de la mà, tret del polze que servia per marcar les falanges a l'hora de comptar. Quan havien comptat les dotze falanges d'una mà, s'aixecava un dit de l'altra fins a completar els quatre dits, arribant a 60.

L'utilitzaven per a l'astronomia i la trigonometria. D'aquí ve que s'emprí en la mesura d'amplituds angulars i del temps cronològic.

La seva característica és que el 60 ( $2^2 \times 3 \times 5$ ) té un gran nombre de divisors: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 i 60, cosa que facilita els càlculs amb fraccions.

## L'enigma de l'ordinador



6

### RECURSOS EN LÍNIA

- **Calculadores.** Fa un recorregut històric dels primers calculadors mecànics explicant els principis de funcionament de cada un d'ells.  
<http://www.digits.cat/calculadores>
- **El sistema sexagesimal.** Interactiu per comprendre el seu origen i les equivalències numèriques.  
<http://bit.ly/RrrFIH>
- **Mesurar el temps.** La mesura del temps ha tingut diferents solucions segons el desenvolupament tecnològic de l'època. L'experiència dels rellotgers mecànics va ser fonamental en la creació de les primeres calculadores mecàniques.  
<http://www.digits.cat/mesurar-el-temps>

d'execució de les ordres, i un rellotge de temps real per mantenir l'hora i la data de calendari, però òbviament no són mecànics!

**Charles Babbage** (1791- 1871) matemàtic anglès, va idear diferents màquines de càlcul, amb tecnologia mecànica, amb la idea precursora de l'ordinador. La màquina analítica pretenia ser programable però no va arribar a construir-la per dificultats tècniques. Per a l'entrada del programa i de les dades va fixar-se amb les idees de les targetes perforades de Jacquard. Augusta Ada Byron, **Ada Lovelace**, filla de lord Byron, amb formació en matemàtica i ciències, va treballar amb Babbage, va elaborar els primers programes per a la màquina analítica. En honor a Ada, es va crear un llenguatge de programació amb el nom d'**ADA**.

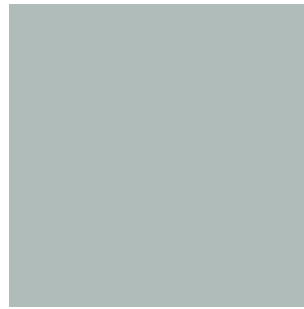
Les primeres **calculadores electròniques** van aparèixer a principis dels 60, en aquell moment construïdes amb tubs de buit, que van anar desplaçant les calculadores mecàniques.

La calculadora Anita C/VIII té un sistema de presentar els dígets molt curiós amb tubs *Nixie*, a l'interior dels quals els dígets estan representats per filaments, que s'encenen segons el valor a mostrar. Després amb la millora de la tecnologia electrònica van anar apareixent nous models, cada vegada més petits, amb més potència de càlcul i major autonomia energètica.

## Les tabuladores: el gran problema del cens

Davant dels problemes, l'enginy humà ha buscat les millors solucions, en això està l'essència de la tecnologia. Al segle XIX l'elaboració del cens de població als Estats Units s'havia de renovar per llei cada deu anys, però les grans distàncies i el recompte manual de les dades tenia com a conseqüència que aquest procés necessités més temps que el marcat per llei. Per resoldre això el govern dels Estats Units va convocar un concurs per resoldre aquest problema. El va guanyar l'enginyer **Hermann Hollerith** amb un sistema basat en el teler programable de **Joseph Marie Jacquard**. Aquest, a principis del segle XIX, va crear un teler que podia teixir dibuixant diferents formes que es podien variar amb un sistema de targetes perforades que actuaven sobre la trama del teixit.

L'invent d'en Hollerith consistia a enregistrar les dades personals en una

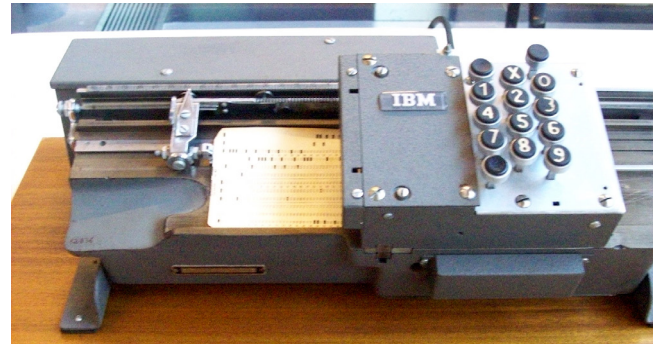


7

targeta perforada i després el recompte estadístic es feia amb màquines de tecnologia electromecànica. Amb aquest sistema el cens es va fer en quatre anys. La gestió manual ja havia arribat a un punt que no podia assumir un volum dades important sense dedicar-hi molt de temps.

Cal indicar que tots els ordinadors presents a l'exposició han estat prestant serveis a empreses, institucions, professionals i particulars de Catalunya.

A les **targetes perforades** la informació es codifica en valors binaris per mitjà d'una perforació o la seva absència en posicions determinades de la cartolina. Per exemple, en dues posicions s'enregistrava el gènere, en una el gènere masculí i en una altra el femení de manera que si es foradava una indicava un valor, i si es foradava l'altra indicava l'altre gènere, després per fer el recompte només calia comptar quantes tenien el forat en aquella



Amb l'enregistrament de dades en targetes perforades i les tabuladores comença l'era del tractament massiu de dades, amb el repte de reduir el temps de processament.

posició. Les primeres màquines que tractaven la informació amb aquest sistema funcionaven amb dispositius electromecànics. Per escriure la informació a les targetes s'empraven les perforadores mecàniques algunes de les quals disposaven d'un teclat.

Les màquines de fer el recompte o **tabuladores** llegien la informació de les targetes amb uns punxons que travessaven les perforacions establint així un contacte elèctric que servia per activar un sistema electromecànic de comptatge. L'èxit del sistema de targetes perforades per codificar informació va perdurar fins els anys 80 del segle passat fins que van quedar obsoletes i substituïdes pels sistemes magnètics de cintes i discos.

Fins els anys 60 van funcionar els centres de càlcul, instal·lacions dedicades específicament al processat de dades, amb les màquines de registre unitari que podien fer les operacions bàsiques i llegir al voltant de 100 fitxes per minut. El processat requeria de diferents màquines: perforadora, classificadora, intercaladora, tabuladora, calculadora.

#### RECURSOS EN LÍNIA

- **Punched card.** Les targetes perforades van tenir diferents formats i sistemes de codificació de la informació.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Punched\\_card](http://en.wikipedia.org/wiki/Punched_card)
- **Tabulating machine.** Les tabuladores són les màquines que recompten els resultats de les targetes perforades.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Tabulating\\_machine](http://en.wikipedia.org/wiki/Tabulating_machine)
- El **conjunt SAMAS** és un equip que consta dels elements bàsics de tractament de dades amb targetes perforades que data del 1930 i va estar operativa a l'Ajuntament de Barcelona.  
<http://ordinadors.mnactec.cat/conjunt-samas.html>
- Les **tabuladores.** Web de l'exposició.  
<http://ordinadors.mnactec.cat/lestabuladorescategoria.html>

### El Projecte Manhattan: l'EDVAC

La cursa pel control de la tecnologia va dur les grans potències a la creació de centres d'investigació per tal d'evolucionar les màquines de càlcul. Després de l'ENIAC es va desenvolupar l'EDVAC, sota la supervisió de John von Neumann. Trenta persones s'ocupaven del seu funcionament i va tenir un paper important en el desenvolupament de la bomba atòmica, dins del Projecte Manhattan.

### El Proyecto Manhattan: el EDVAC

La carrera para el control de la tecnología llevó a las grandes potencias a crear centros de investigación para evolucionar las máquinas de cálculo. Tras el ENIAC se desarrolló el EDVAC, bajo la supervisión de John von Neumann. Treinta personas se ocuparon de su funcionamiento y tuvieron un papel importante en el desarrollo de la bomba atómica, dentro del Proyecto Manhattan.

### The Manhattan Project: EDVAC

The race for the control of technology led the great powers to set up research centres to develop calculating machines. After ENIAC came EDVAC, under the supervision of John von Neumann. Thirty people took care of its operation and it played a vital role in the development of the atom bomb within the Manhattan Project.



Al llarg de la història de la Humanitat, el desenvolupament científic i tecnològic ha estat vinculat, malauradament, a la indústria militar. El tractament automàtic de la informació, els ordinadors i les comunicacions no han estat una excepció. Els primers ordinadors elèctrics i mecànics es van crear per necessitats militars durant la Segona Guerra Mundial.

Un exemple molt curiós i que va necessitar de l'assistència d'un calculador ràpid va ser el desxifratge dels missatges codificats que l'exèrcit nazi emprava per emetre les informacions i les ordres d'actuació. El bàndol dels

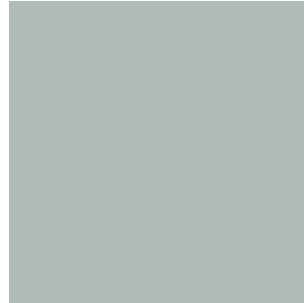
aliats necessitava conèixer els plans de l'exèrcit nazi per establir les estratègies de defensa i d'atac. La interceptació de missatges no va constituir cap problema, però si el desxifratge del seu contingut que anava encriptat.

L'exèrcit alemany codificava els seus missatges amb una màquina anomenada **enigma** que permetia encriptar-los amb 456 976 combinacions diferents emprant quatre rotors de 26 posicions (264).

Així és que l'exèrcit anglès va desenvolupar el **Colossus**, un ordinador digital capaç de desxifrar més de mil missatges diaris interceptats a l'exèrcit alemany. Emprava les targetes o cintes perforades per entrar i recollir les dades. **Alan Turing** va tenir un paper decisiu en el disseny dels processos matemàtics que hi havia al darrera dels algorismes de càlcul.

El primer ordinador electrònic, l'**ENIAC** (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) va ser creat durant la Segona Guerra Mundial per al càlcul balístic per predir les trajectòries dels obusos i assegurar que una vegada





disparats pels canons caurien en el blanc previst. El gran avenç tecnològic d'aquest ordinador radica en que va ser construït amb tubs de buit que substituïen els lents i poc fiables relés, tot i que encara en portava 1500. Necessitava el subministrament d'una potència elèctrica de 150 000 W. En l'equip de programació hi van participar de forma molt destacada sis dones amb formació matemàtica que havien treballat com a calculistes de trajectòries balístiques.

Com a successor de l'ENIAC es desenvolupà l'**EDVAC** (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*), integrat en el **projecte Manhattan** en el qual es va desplegar la tecnologia de la primera bomba atòmica amb la que els Estats Units van bombardejar les ciutats japoneses d'Hiroshima i Nagasaki l'agost de 1945 amb el resultat estimat de més de 150 000 morts, que va acabar amb la rendició del Japó i va abandonar la guerra.

Les principals idees del disseny d'aquest ordinador i de la seva programabilitat van ser aportades pel matemàtic **John von Neumann**, que és considerat com un dels científics més rellevants en el desenvolupament de la informàtica. L'EDVAC pesava quasi bé 8 000 kg, tenia 18 000 tubs de buit i consumia 56 000 kW.

## RECURSOS EN LÍNIA

- **Primers ordinadors.** Mostra una descripció per situar històricament les diferents etapes de desenvolupament dels primers ordinadors.

<http://www.digits.cat/primers-ordinadors>

- **Encriptar la informació.** L'encriptació o xifratge de la informació ha estat una de les necessitats de transmissió segura de la informació en la que s'han creat diferents tècniques. Ara bé, els serveis d'espionatge dels serveis d'intel·ligència dels diferents ministeris de defensa han fet grans esforços per crear eines de descryptació.

<http://www.digits.cat/xifrar-missatges>

- **Simulador de la màquina enigma.** La màquina enigma va ser una eina molt útil per encriptar missatges fins que a la Segona Guerra mundial. L'equip d'enginyers i matemàtics anglesos, liderat per Alan Turing, va ser capaç de descryptar els missatges de l'exèrcit alemany amb l'ajut de l'ordinador Colossus.

<http://enigmaco.de/enigma/enigma.swf>

- **ENIAC.** El primer ordinador electrònic de la història, impressiona per les seves grans dimensions i per la quantitat de dispositius discrets amb els quals estava fet, així com l'elevat consum energètic i la quantitat de persones que necessitava per a funcionar.

<http://en.wikipedia.org/wiki/ENIAC>

- **La guerra.** Web de l'exposició.

<http://ordinadors.mnactec.cat/la-guerra.html>

L'ordinador és una màquina electrònica que gestiona informació amb sistemes tecnològics basats en la codificació de la informació en impulsos elèctrics. Aquests impulsos es relacionen entre si seguint regles matemàtiques per representar, gestionar i emmagatzemar la informació.

Els primers ordinadors electrònics es van construir amb tubs de buit. Aquests són unes làmpades construïdes amb un embolcall de vidre i una base metàl·lica a l'interior de la qual s'escalfa un filament anomenat càtode i disposa d'un conjunt d'electrodes que regulen el flux d'electrons. Són fràgils i tenen un consum d'energia elèctrica molt elevada. Van ser la base dels aparells electrònics industrials i domèstics fins els anys seixanta del segle passat. La primera generació d'ordinadors es construïen amb aquests dispositius.

Des del primer ordinador electrònic fins ara la tecnologia ha avançat moltíssim, però el sistema de base és el mateix: impulsos elèctrics que representen la informació. Tecnològicament van ser substituïdes pel transistor de semiconductor.

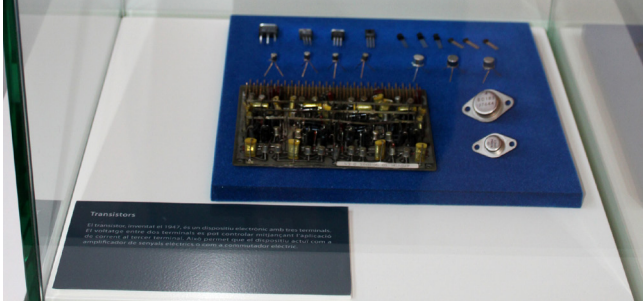


## L'enigma de l'ordinador

## Un gran pas: el transistor

Els transistors són components electrònics semiconductors, habitualment de silici que fan la funció d'amplificadors de corrent elèctric. Substitueixen la funció dels tubs de buit amb moltes avantatges. Va ser inventat l'any 1947 als laboratoris Bell Labs, als Estats Units. Amb el transistor, els circuits redueixen el seu volum, redueixen el consum energètic, es redueix el calor residual, incrementen la fiabilitat.

## La indústria de l'ordinador



10

### Ordinadors analògics i ordinadors digitals?

Efectivament, hi ha dues famílies tecnològiques de construcció dels ordinadors segons la tècnica de tractament de la informació.

Els ordinadors basats en el sistema binari reben el nom d'**ordinadors digitals**, pel fet que la base de càlcul es fonamenta amb dígit binaris, l'1 i el 0. Amb un sol dígit binari es poden representar dues informacions: 0 i 1, és el que rep el nom de **bit**, que ve de l'anglès, *binari digit*. Per poder representar més informació els sistemes informàtics van necessitar treballar amb agrupacions de **bits**, la més coneguda, que ha esdevingut la unitat de mesura de la informació, és el **byte**. El **byte** és una agrupació de 8 bits i permet la representació de 256 valors numèrics diferents.

Els **ordinadors o calculadors analògics** es basen en fer càlculs aprofitant les característiques de determinats components electrònics els quals reaccionen enfront la variació del corrent o de la tensió amb funcions lineals, o bé amb funcions diferencials –integració i derivació–, combinats amb amplificadors operacionals. El càlcul es fa per “analogia” a la realitat aprofitant aquestes propietats físiques dels components. Per visualitzar s'empraven voltímetres o pantalles d'oscil·loscopis. Eren molt emprats en enginyeria, però quan la tècnica digital va evolucionar, van quedar apartats.

Acabada la Segona Guerra Mundial els científics, enginyers i tècnics que havien treballat en projectes militars retornen a les universitats i les empreses. El coneixement i l'experiència acumulada en aquest moment tan trist de la Humanitat comença a revertir en aplicacions pacífiques a la societat civil.

A les dècades dels 1950 i 1960 es produeix el desenvolupament dels ordinadors digitals, basats en el sistema binari i l'**àlgebra de Boole**, abandonant-se progressivament els ordinadors analògics per aquesta tècnica molt més flexible i fiable. La primera documentació sobre el sistema binari la trobem en els treballs del matemàtic **Leibniz** al segle XVII. El volum de les instal·lacions i l'elevat consum d'energia es redueix ràpidament al substituir els tubs de buit i els relés per un nou element molt més fiable i eficient: el transistor, neixen els ordinadors de segona generació, i es comença a desenvolupar la integració de circuits integrats o xips.

L'emmagatzematge d'informació en targetes i cintes perforades és àmpliament usat. Comencen a explorar-se sistemes per a l'emmagatzematge de dades en suport magnètic. L'any 1956 IBM va comercialitzar el primer ordinador amb un disc dur, l'IBM 305 RAMAC, amb una capacitat de 5 Mb. Els ordinadors digitals dissenyats i construïts es fonamenten en el sistema binari i l'àlgebra de Boole (**George Boole**, 1815 – 1864) i l'arquitectura que va pensar en **John von Neumann**.

Aquesta arquitectura consta de:

- Unitat central del procés (UCP).
- Unitat de memòria.
- Sistemes d'entrada – sortida.

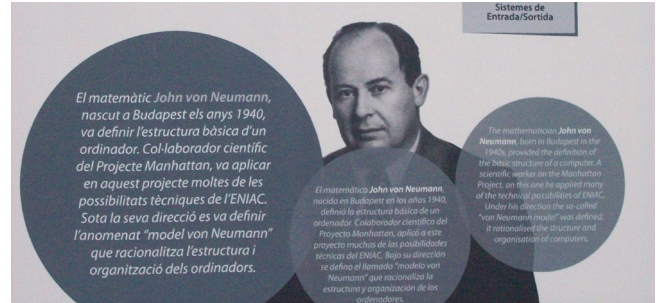
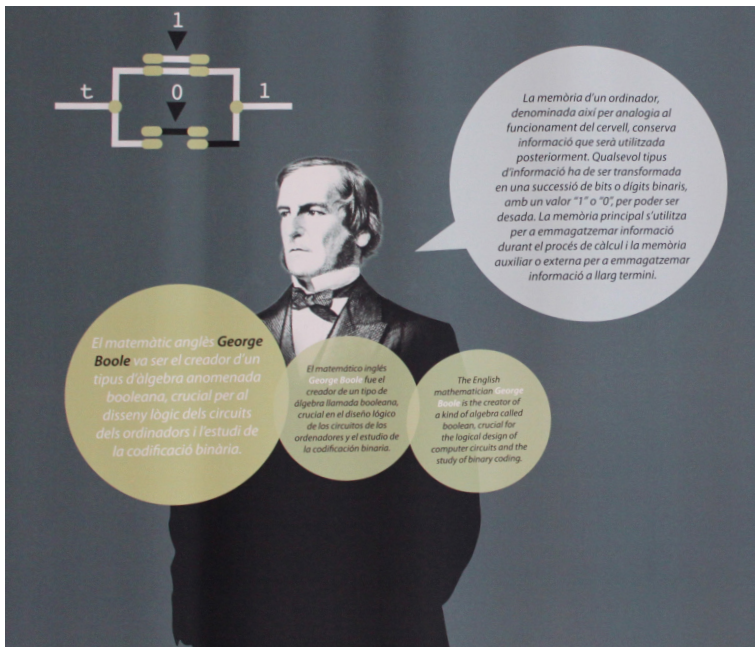
La **unitat central de procés** (UCP) executa les ordres del programa i a partir de les dades d'entrada n'obté un resultat.

La **memòria** és el dispositiu que conté el programa o conjunt d'instruccions que han de ser executades per la UCP i emmagatzema també les dades d'entrada i de sortida.

Els **sistemes d'entrada o sortida** són els dispositius que permeten la comunicació amb els perifèrics per l'entrada d'informació, com els teclats, o la sortida d'informació, com la impressora.

A la dècada dels 1950, els ordinadors eren presents en els centres de càlcul, departaments de grans empreses o d'administracions públiques que gestionaven les dades, i també van aparèixer empreses que oferien els seus serveis de centre de càlcul a altres empreses que no tenien la capacitat econòmica per disposar el seu centre propi.

L'**IBM 650** que va ser al centre de càlcul de RENFE (1954) es considera que fou el primer ordinador instal·lat a l'estat espanyol per a càlculs de caràcter administratiu. Encara emprava tubs de buit i podia emmagatzemar 1kb d'informació. El sistema bàsic d'aquest model venia acompanyat de diverses unitats: la consola, l'alimentació, el lector i el perforador de targetes.



## RECURSOS EN LÍNIA

- **El codi digital.** El codi binari és a les interioritats dels ordinadors digitals gràcies al qual s'ha desenvolupat tota la tecnologia informàtica actual.  
<http://www.digits.cat/el-codi-digital>
- **Els llenguatges informàtics** (3 min) Els ordinadors necessiten d'un conjunt d'instruccions agrupades en un programa que s'ha d'elaborar a partir d'un llenguatge que sigui reconeixible pels circuits interns. Els llenguatges de programació proporcionen el necessari per poder crear aplicacions per als ordinadors.  
[http://www.edu3.cat/Edu3tv/Fitxa?p\\_id=17098](http://www.edu3.cat/Edu3tv/Fitxa?p_id=17098)
- **Programar ordinadors.** La programació d'ordinadors és una tasca complexa que requereix de tècniques específiques i al llarg del temps ha evolucionant acompanyada dels llenguatges de programació.  
<http://www.digits.cat/programar-ordinadors>
- **La indústria de l'ordinador.** Web de l'exposició.  
<http://ordinadors.mnactec.cat/inicisordinadors.html>

# L'ordinador i la ciència

Els àmbits científic i tecnològic van trobar en el càlcul automàtic un bon aliat per obtenir resultats per a les seves recerques. En un primer moment van emprar ordinadors analògics, una tecnologia radicalment diferent dels ordinadors digitals, els que coneixem actualment. Els ordinadors analògics fonamenten el seu funcionament en les variacions de tensió i corrent elèctrics en determinats components, de manera que el resultat es mesura en una escala de tensió elèctrica.

L'evolució dels ordinadors digitals van superar amb escreix les prestacions dels ordinadors analògics que van quedar obsolets i es van abandonar, a més de la progressiva disminució de preus.



12

## RECURSOS EN LÍNIA

- **Càlculs analògics.** El concepte d'analògic es contraposa al de digital, però ben bé què vol dir analògic? Per què els sistemes digitals han substituït els analògics? Aquí podeu trobar alguna resposta.

<http://www.digits.cat/calculs-analogics>

- **Ordinador analògic.** Un ordinador analògic permet realitzar simulacions de fenòmens i de models matemàtics.

<http://bit.ly/OEI9s5>

- **Lewys hybrid computing system. User's manual.**

Document original de la NASA (1979) que explica l'ús d'ordinadors híbrids amb l'EIA PACER 600.

<http://1.usa.gov/Ry8niP>

- **L'ordinador i ciència.** Web de l'exposició.

<http://ordinadors.mnactec.cat/ordinador-i-empresa.html>

La necessitat de preveure l'evolució de variables en condicions de càlcul diferents és fonamental per les situacions en què cal assegurar qualsevol opció possible. Aquest és el cas de la indústria de l'espai, en que la precisió de resultats és crucial per a l'èxit de qualsevol missió.

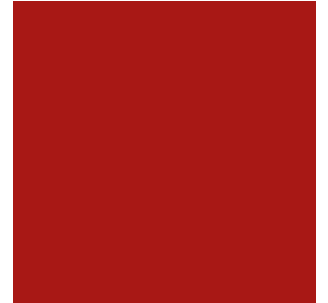
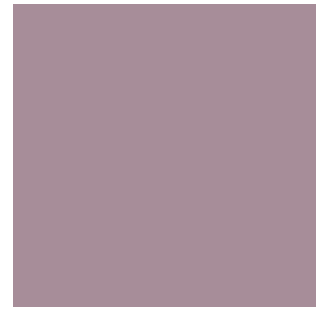
L'**EAI-PACER 600**, fou un ordinador analògic de la dècada dels 1950-1960 que va ser àmpliament usat a la NASA per al càlcul aeroespacial. Aquest model incorporava un calculador analògic connectat amb un ordinador digital per tractar les dades. Es tracta d'un ordinador híbrid.

Els ordinadors digitals realitzen la seva funció de tractament de dades perquè a la seva memòria hi ha un conjunt d'instruccions que configuren un programa d'accions. En els primers ordinadors el programa s'introduïa a la memòria amb interruptors, bit a bit, tasca molt pesada i susceptible de molts errors. Es va fer un gran pas en la forma d'incorporar a l'ordinador la seqüència d'instruccions amb la introducció dels primers **llenguatges de programació**. Això va afavorir la transferència de l'**algorisme** a un programa escrit en un llenguatge de programació. El **FORTRAN** (*Formula Translation*) és un llenguatge de programació orientat als càlculs científics. El **COBOL** (*COmmon Bussiness Oriented Language*) és un llenguatge orientat al tractament de dades administratives i de facturació.

**Grace Hopper** (1906 – 1996), llicenciada en Ciències físiques i doctora en Matemàtiques, va tenir un paper rellevant en el desenvolupament de llenguatges de programació, especialment en el primer llenguatge d'alt nivell per aplicacions a la gestió, el FLOW-MATIC, experiència que es va aplicar posteriorment en la creació del COBOL.

## L'ordinador s'integra a l'empresa

La indústria dels ordinadors es desenvolupa i ofereix solucions adaptades a les necessitats de les empreses. Apareixen els ordinadors centrals o **mainframes** que donen serveis a les administracions públiques i a les grans empreses. Per a les mitjanes i petites empreses, els àmbits científic i universitari són els **miniordinadors** els que hi presten serveis. L'any 1967 els tècnics, que provenien de diferents formacions universitàries creen l'Associació de Tècnics Informàtics (1967), en el si del Col·legi d'Enginyers



**Lynn Conway (1938)**, enginyera electrònica i llicenciada en Física, especialista en arquitectura d'ordinadors, va contribuir de forma destacada en al desenvolupament dels xips amb tecnologia d'alta integració (VLSI) imprescindibles per a la millora dels ordinadors.

Industrials de Catalunya. Per nodrir aquesta creixent necessitat de tècnics a mitjan dels 70 les universitats comencen a oferir la formació en enginyeria informàtica. La Facultat d'Informàtica de Barcelona es fundà l'any 1976, en paral·lel amb les de Madrid i Sant Sebastià, fruit de la necessitat de formar tècnics per donar resposta a la creixent demanda de les empreses i de les institucions de recerca.

La tecnologia de les vàlvules de buit es va abandonant per la tecnologia del transistor, però a finals dels 60, ja són els circuits integrats els que formen el cor dels ordinadors. Aquests redueixen el volum i en consum d'energia, i augmenten espectacularment la velocitat i la fiabilitat.

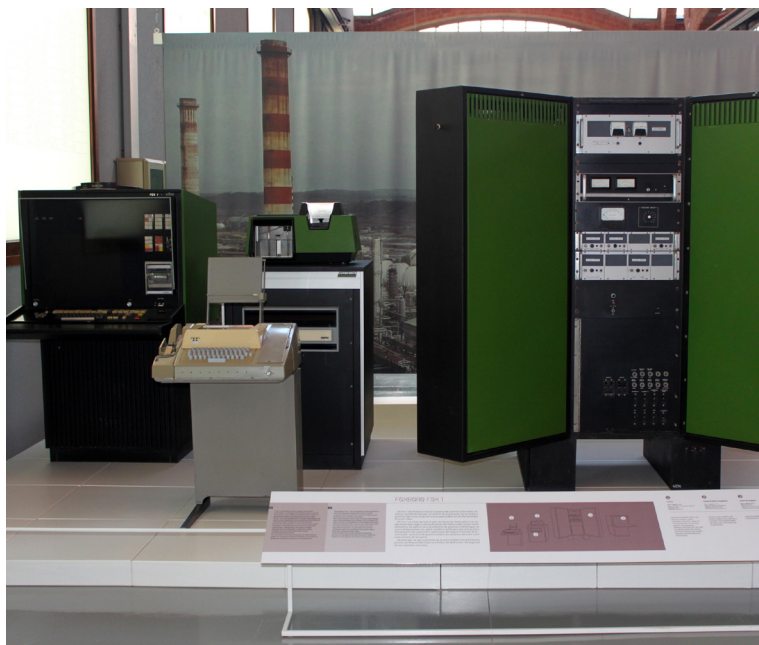
Apareixen les primeres pantalles de presentació de dades, tubs de raigs catòdics amb fòsfor de color verd o ambre, sense capacitats gràfiques, només representen caràcters numèrics o de text.

L'**IBM 360**, un *mainframe*, va néixer el 1964 i va ser el primer de la **tercera generació**, és a dir, la circuiteria electrònica estava composta de **xips**, o circuits integrats de semiconductor. Amb aquest avenç tecnològic s'entra de ple en l'era del silici, la integració de funcions es fa en volums cada vegada més petits. La reducció del consum i d'avaries baixa considerablement, així com la velocitat de càlcul, que es multiplica enormement. La seva capacitat de càlcul el feia útil tant en l'àmbit de l'administració com en el camp científic. Aquest model va ser un èxit molt important d'IBM pel fet de la compatibilitat de les seves varietats d'aplicacions i programari d'ampli abast, amb la característica de que els programes podien ser adaptats a altres tipus d'ordinadors amb una extraordinària facilitat. De fet, el seu nom de model, 360, és una metàfora que ve de la rosa dels vents que apunta cap a tots els punts cardinals, per la seva versatilitat.

Si bé la gran incorporació dels ordinadors a les empreses es va fer per gestió administrativa i comercial, també és cert que l'ordinador va entrar a la fàbrica, a fer **control de processos industrials**. La incorporació de sensors



## L'enigma de l'ordinador



i d'actuadors en les màquines permetia la comunicació amb un ordinador per fer el control i el seguiment de la producció, d'això se'n deia **cibernètica**. L'**ordinador AEG 80** és un exemple de la informàtica aplicada a la fàbrica, en aquest cas a la planta de fabricació de motors elèctrics que l'alemanya AEG tenia instal·lada a Terrassa.

Ordinadors catalans que competeixen amb la resta del món: **Telesincro** (1963), una empresa catalana, que va iniciar el disseny i fabricació dels primers ordinadors a casa nostra amb tecnologia pròpia, que es va concretar amb la FACTOR P, una màquina destinada a tasques de facturació, inicialment se'ls deia facturadores i provenien de la cultura de les tabuladores. L'any 1972 ocupava a Espanya el tercer lloc en vendes d'ordinadors. La FACTOR S exposada permet veure la presència de dos lectors de cinta de cassette per emmagatzemar les dades.

Una altra empresa catalana MAPS, Automatismes Electrònics, (1968) també va crear ordinadors i dispositius destinats al control industrial.

El **Foxboro Fox 1** és un ordinador de control industrial, que en aquest cas concret va ser emprat a la planta petroquímica de Repsol a Tarragona durant vint anys, controlant la producció de l'etilè, un derivat del petroli bàsic en la fabricació de plàstics.

Els *Mainframes* van deixar pas a una nova categoria d'ordinadors més petits i flexibles que podien donar resposta a les necessitats de petites i mitjanes empreses. Es tracta dels **miniordinadors**. Models com l'**IBM AS/400** van inundar les empreses a finals del segle XX.

La diversificació d'aplicacions dels ordinadors anava creixent amb les necessitats i demandes de les empreses. Així va néixer un ordinador, el **Philips P5002**, dedicat a la tasca d'editar textos, útil bàsicament per a la indústria editorial i els diaris.

A més del desenvolupament de màquines i les millores aportades per la tecnologia electrònica, la informàtica també progressava en la creació de programari, una peça imprescindible per a les aplicacions dels ordinadors. Molts eren els llenguatges de programació que van anar apareixent per donar suport a la programació: COBOL, FORTRAN, ALGOL, PL1, APL, PLM, LISP, BASIC, Pascal, .. Cada un d'ells tenia prestacions específiques per al tipus d'aplicació a realitzar i pel tipus d'ordinador on havia de funcionar.

### RECURSOS EN LÍNIA

- **L'ordinador central.** L'ordinador central és la màquina representativa d'aquesta època i també el miniordinador. [http://ca.wikipedia.org/wiki/Ordinador\\_central](http://ca.wikipedia.org/wiki/Ordinador_central)

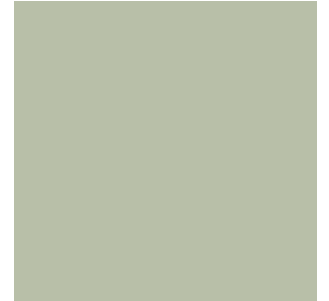
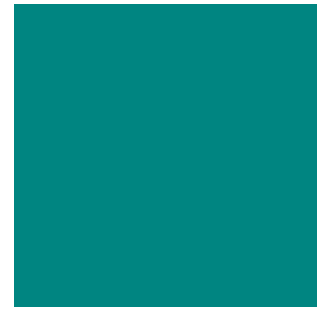
- **Història de la Facultat d'Informàtica de Barcelona.** Breu referència als fets més importants de la FIB, integrada en el si de la Universitat Politècnica de Catalunya. <http://www.fib.upc.edu/fib/centre/presentacio/historia.html>

- **History of programming languages.** La història dels llenguatges de programació té la seva pròpia cronologia i evolució, relacionats amb l'evolució dels processadors i les seves capacitats operatives. [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_programming\\_languages](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_programming_languages)

- **L'ordinador s'integra a l'empresa.** Web de l'exposició. <http://ordinadors.mnactec.cat/ordinador-i-empresa.html>

**Evelyn Berezin** (1925), doctora en Física i Filosofia, és coneguda com la mare dels processadors de textos, pel seu disseny, l'any 1968, d'un programa per editar i emmagatzemar textos amb l'ordinador de forma més eficient que les màquines d'escriure.

# L'ordinador personal



15



A finals dels 70 els ordinadors inicien la seva penetració en l'àmbit domèstic, de les empreses a les llars, però òbviament no eren de la mateixa grandària ni per a les mateixes aplicacions. Eren petits ordinadors amb una orientació lúdica per satisfer els més inquilts i curiosos del nou univers de la informàtica, eren anomenats microordinadors i posteriorment PC, de *Personal Computer*.

Així van néixer moltes empreses per nodrir el creixent mercat domèstic: Apple, Commodore, Sinclair,... tots ells van marcar una generació, però el que definitivament va marcar època fou l'**IBM PC** (*Personal Computer*) en el que van confluïr diferents elements tecnològics: una empresa informàtica (IBM), una empresa de semiconductors (Intel) i una empresa de programari (Microsoft), així l'any 1980 va començar tota una revolució en la que han competit directament el model del PC compatible amb els models i concepció dels ordinadors d'Apple.

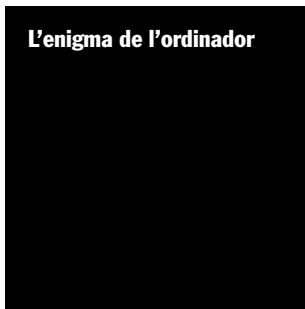
L'any 1980 IBM va llançar el seu *Personal Computer* (Ordinador Personal) basat en un microprocessador Intel de 16 bits interns i un bus extern de 8 bits (8088) i amb el sistema operatiu PC-DOS. L'arquitectura oberta i les prescripcions tècniques d'aquest model va propiciar que altres fabricants d'ordinadors estiguessin en condicions de construir ordinadors totalment compatibles a nivell de sistema operatiu i de programari d'aplicació. D'aquí que aparegueren molts fabricants, però un sol **sistema operatiu**: l'MS-DOS (*MicroSoft - Disk Operating System*). De fet, quan es parla d'ordinadors compatibles la referència comuna és al sistema operatiu que els ha donat suport, fabricat per Microsoft, empresa creada per Bill Gates.

L'èxit d'aquest model va crear època, de tal manera, que va ocupar la portada de la revista Time, l'any 1983, fet que trencava amb la tradició d'aquesta en posar persones de gran rellevància a la portada.

Aquest model ràpidament va envair el mercat, les llars, però també el món de l'empresa, les universitats, els comerços, les escoles...

Steve Jobs i Steve Wozniak l'any 1976 van fundar l'empresa Apple, la de la poma mossegada, i des de llavors han fet dissenys trencadors i que han marcat tendència en l'àmbit de la tecnologia informàtica. Van ser pioners en la incorporació, en ordinadors personals, del **ratolí**, d'un sistema operatiu basat en **finestres** i les **pantalles gràfiques** als seus ordinadors. Tot





### RECURSOS EN LÍNIA

• **L'ordinador personal.** Fa un recorregut històric des del naixement dels ordinadors personals fins els actuals i la seva connexió en xarxa.

<http://www.digits.cat/lordinador-personal>

• **El transport de dades.** Una xarxa d'ordinadors es fonamenta en la transmissió de dades entre ells, ja sigui a nivell proper, o xarxa local (LAN) o a molta distància (WAN). Aquest és el fonament d'internet, la xarxa de Xarxes.

<http://bit.ly/QtRi8A>

• **La xarxa de xarxes.** Història d'internet i l'abast actual.

<http://www.digits.cat/la-xarxa-de-xarxes>

• **La història de IBM.** Aquest article sintetitza la història de la creació de l'IBM PC i del sistema operatiu MS-DOS de Microsoft.

<http://bit.ly/LbiKYE>

• **La història de Apple.** Aquest article sintetitza la història de la creació de l'Apple i de la sèrie d'ordinadors que han competit amb l'IBM PC.

<http://bit.ly/FuMeA>

• **L'ordinador personal.** Web de l'exposició.

<http://ordinadors.mnactec.cat/ordinador-personal.html>

un conjunt d'avenços que els altres fabricants han adoptat posteriorment. Els jocs electrònics també van tenir el seu paper en la popularització dels ordinadors entre els més joves i no tant joves. Aquests van tenir versions en màquines domèstiques que es connectaven al televisor i en màquines comercials –escurabutxaques- instal·lades a bars i cafeteries. Posteriorment van aparèixer els jocs per a ordinador, que van quedar desbancats per l'aparició de les videoconsoles específiques per a jocs.

La transmissió de dades entre ordinadors va ser un dels reptes tecnològics que es van resoldre en el darrer terç del segle passat. Els primers enginyers per al teleprocés usaven la línia telefònica de veu mitjançant els mòdems acústics, sobre els quals s'havia d'encaixar el telèfon per rebre i enviar dades, això sí! a una velocitat de vertigen! uns 300 bits/s! Les caixes d'estalvi catalanes van ser les primeres empreses a implantar de forma estructural el teleprocés de dades.

Internet va néixer de la tecnologia militar als Estats Units, durant la Guerra Freda, als anys seixanta. De la necessitat de mantenir connectats permanentment els centres de comunicació neuràlgics, sense que aquesta comunicació pogués ser alterada encara l'enemic aconseguís destruir algun dels nodes. Amb el temps aquesta tecnologia es va anar alliberant a través de les universitats i dels centres de recerca fins arribar al gran públic. En aquest procés no han passat més de cinquanta anys.

La gran popularització d'internet va venir de la mà de Tim Berners-Lee, que va inventar el llenguatge HTML per afavorir la comunicació a través de pàgines web, al CERN de Ginebra, l'any 1990.

Des d'aleshores fins ara, els sistemes de connexió a la xarxa telefònica han evolucionat fins els actuals *routers* o encaminadors, disminuint el volum dels aparells de connexió, multiplicant les seves prestacions i baixant els preus enormement. Internet ha esdevingut un fenomen de masses que ha transcendit l'ús en ordinadors fixes per ser un recurs a l'abast de la telefonia mòbil.

Aquesta eclosió va ser possible per un salt tecnològic importantíssim: el naixement del **microprocessador**.

Element clau en l'eclosió de la informàtica personal i d'ordinadors de petita grandària. L'any 1971 Intel va fabricar un xip per a una empresa de calculadores electròniques, Busicom, un microprocessador de 4 bits. Amb el temps es van adonar que podia fer altres funcions que les d'una calculadora i així Intel va anar desenvolupant les diferents sèries de microprocessadors que han estat el cor de les evolucions dels ordinadors PC: 8088, 8086, 80286, 80386, pentium...



## Present i futur. *The big cloud*



17

Hem arribat al darrer àmbit de l'exposició en el qual es planteja l'estat actual i l'evolució futura de l'ordinador, i segur que des de que es va plantejar aquesta exposició fins avui dia la tecnologia haurà avançat i el que trobarem aquí ja serà història, i el futur que ens espera? Doncs molt difícil de predir perquè l'evolució no és lineal i hi intervenen múltiples factors, la tecnologia s'inventa a sí mateixa.

Hem vist l'evolució de les màquines de càlcul, dels ordinadors, hem passat de grans màquines a ordinadors que són a les llars, el volum s'ha reduït, però la potència de tractament de la informació s'ha multiplicat exponencialment en menys d'un segle. En els darrers anys, però, un nou pas que han donat els ordinadors és la seva interconnexió. Avui en dia ja no concebem que un ordinador no estigui connectat a la xarxa de xarxes, Internet. El món està connectat a través d'aquest mitjà, la informació s'expandeix i s'emmagatzema com mai. L'esclat més recent de la seva aplicació han estat les xarxes socials, les quals s'han construït amb l'ajut de l'anomenada enginyeria social.

Els grans ordinadors servidors, amb una elevada capacitat d'emmagatzematge i de comunicació, estan al darrera de serveis d'internet, sense els quals no seria possible la seva existència. És la relació o arquitectura que s'anomena servidor-client.

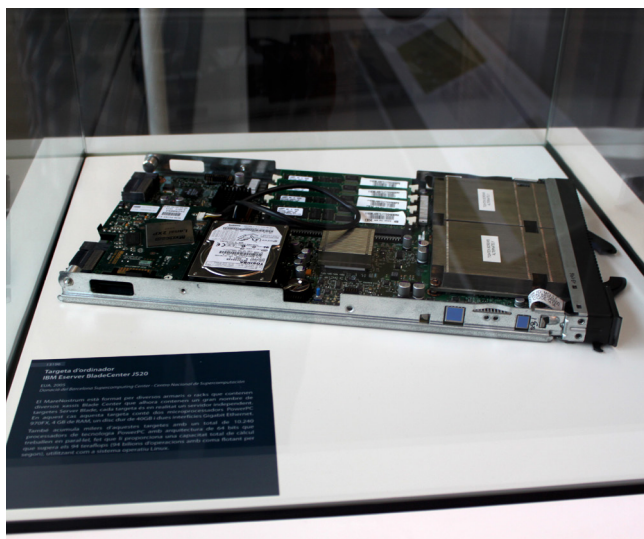
Quan es parla la **informàtica del núvol** (*cloud computing*) com a concepte, es fa referència a l'emmagatzematge de dades i l'accés a serveis que són a Internet, en què l'usuari fa ús d'aquests serveis sense haver de tenir coneixements de les infraestructures tecnològiques, és a dir, sense disposar dels dispositius físics que ofereixen el servei ni conèixer-ne la seva ubicació real. Tanmateix permet l'ús de recursos compartits i el treball en xarxa.

L'enginyeria i la ciència requereixen de models matemàtics per poder establir previsions i simulacions de la realitat abans d'iniciar costosos processos de recerca. La **supercomputació** contribueix precisament a aportar les eines de programació, l'algorísmia, i potents ordinadors per poder executar aquests models de simulació.

Justament és el que fa, el que va ser el cinquè computador més potent del món l'any 2006, el **Mare Nostrum**. Aquest ordinador, ubicat a l'antiga capella de la Torre Girona, adjunta a l'edifici del rectorat al Campus Nord de la Universitat Politècnica de Catalunya a Barcelona, es va instal·lar a Barcelona pel prestigi de la UPC en el disseny de sistemes complexos i les garanties d'explotació d'aquesta instal·lació. Té una capacitat de càlcul de 94,21 trilions de d'operacions per segon.

En el desenvolupament de la supercomputació s'ha passat per l'utilització de tecnologies emprades en altres àmbits aprofitant a cada moment els avenços específics. Com, per exemple, els processadors gràfics de les consoles de joc *Playstation*. Ara s'està investigant amb els processadors i la tecnologia de telefonia mòbil, especialment dels *smartphones*, que destaca pel seu reduït consum d'energia.

La **robòtica** és una de les tecnologies que més ha evolucionat gràcies a la tecnologia microinformàtica que li ha proporcionat els instruments d'intel·li-





gència per executar les complexes funcions d'aquestes màquines. El **robot cartesà** present a l'exposició està constituït per un braç que es pot moure en dos eixos cartesianes, X-Y, traça les figures geomètriques indicades a la consola de comandament.

Hem començat l'exposició amb l'àmbit del càlcul, de les pedretes, i acabem paradoxalment amb el silici, un mineral clau en l'evolució de la tecnologia base de la microinformàtica. L'enginyer humà ha estat capaç de transformar el que la naturalesa ens ofereix i li ha anat donant forma fins arribar a l'essència: el mineral.

Aquesta transformació d'un mineral inert a un material "intel·ligent" és el que diferencia els humans de la resta d'espècies, i vet aquí que el futur encara està per escriure, amb l'incertesa de fins quant el silici donarà servei a la tecnologia.

## RECURSOS EN LÍNIA

- **L'ordinador personal.** Fa un recorregut històric des del naixement dels ordinadors personals fins els actuals i la seva connexió en xarxa.

<http://www.digits.cat/lordinador-personal>

- **El xip minúscul.** El components bàsics dels sistemes electrònics actuals es basen en el transistor, el qual s'obté a partir d'una oblea de silici tractat. La combinació de milions de transistors en un xip dóna lloc al microprocessador.

<http://www.digits.cat/el-xip-minuscul>

- **Autòmats de ficció.** Situa la robòtica en el context històric, des dels primers autòmats mecànics fins realitzacions cinematogràfiques d'èxit comercial.

<http://www.digits.cat/automats-de-ficció>

- **El gran núvol.** Web de l'exposició.

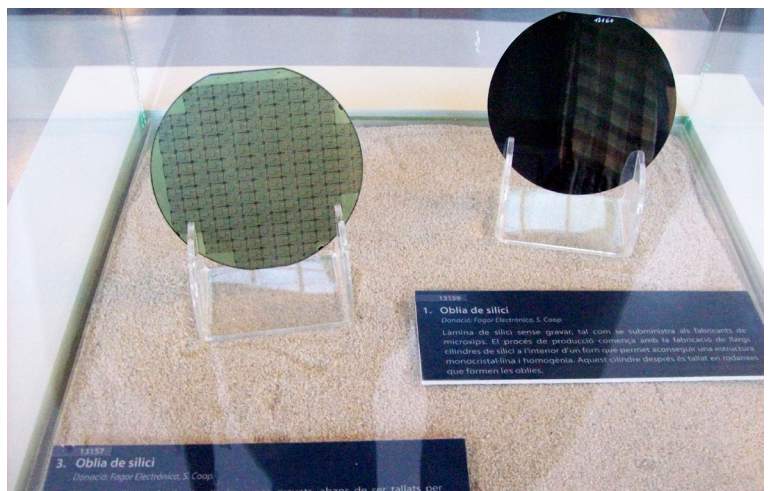
<http://ordinadors.mnactec.cat/el-gran-nuvol.html>

- **Informàtica en núvol.** La complexitat i amplitud del núvol ben explicats a la Viquipèdia.

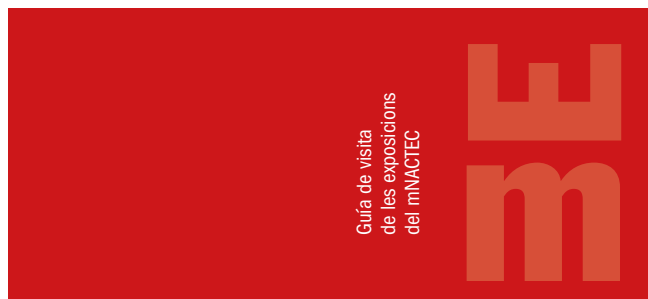
<http://bit.ly/imQ2Db>

- **El primer ordinador biològic.** La recerca de tecnologies més evolucionades per superar els límits del silici.

<http://bit.ly/ROI0Gu>



L'enigma de l'ordinador



### Guia de visita de l'exposició: L'enigma de l'ordinador

Guies de visita en línia de les exposicions del mNACTEC - 2

© Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya (mNACTEC)

Autor  
Jordi Regalés

Disseny gràfic  
Disseny Visual

Dipòsit Legal  
B. 3128-2014

### Crèdits de l'exposició

Organitza:  
Museu de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya (mNACTEC)

Comissaris  
Joan Munt, Joan Tubau i Jordi Vallès

Col·laboració:  
Associació del Museu de la Ciència i de la Tècnica i d'Arqueologia Industrial de Catalunya; Col·legi / Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya; Direcció General de Telecomunicacions i Societat de la Informació; Schneider Electric i Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Disseny, producció i muntatge:  
Manterola División Arte, SA.