

Historia del microprocesador 6502: Semilla del PC y de la industria de los videojuegos



Hola, me llamo Gabriel

- Profesor de Electrónica y Procesamiento de Señal, E.P.S., Universidad San Pablo CEU
- Investigación:
 - Aceleración FPGA/GPU de aplicaciones científicas
 - Diseño automático de circuitos
- Experiencia profesional:
 - Dragon 64, MSX 2, Amiga 500

6809



Z80



68000



commons.wikimedia.org



MOTOROLA, 1928

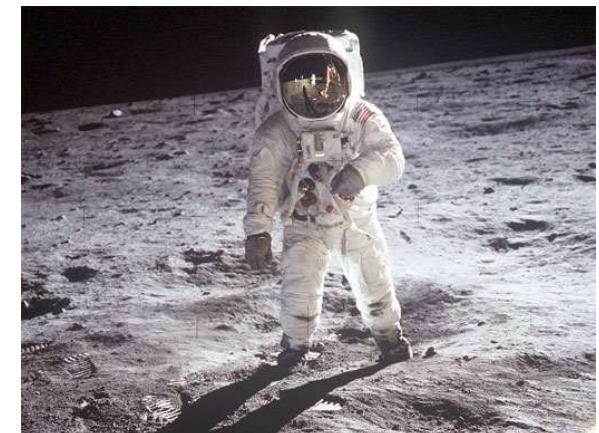




MOTOROLA

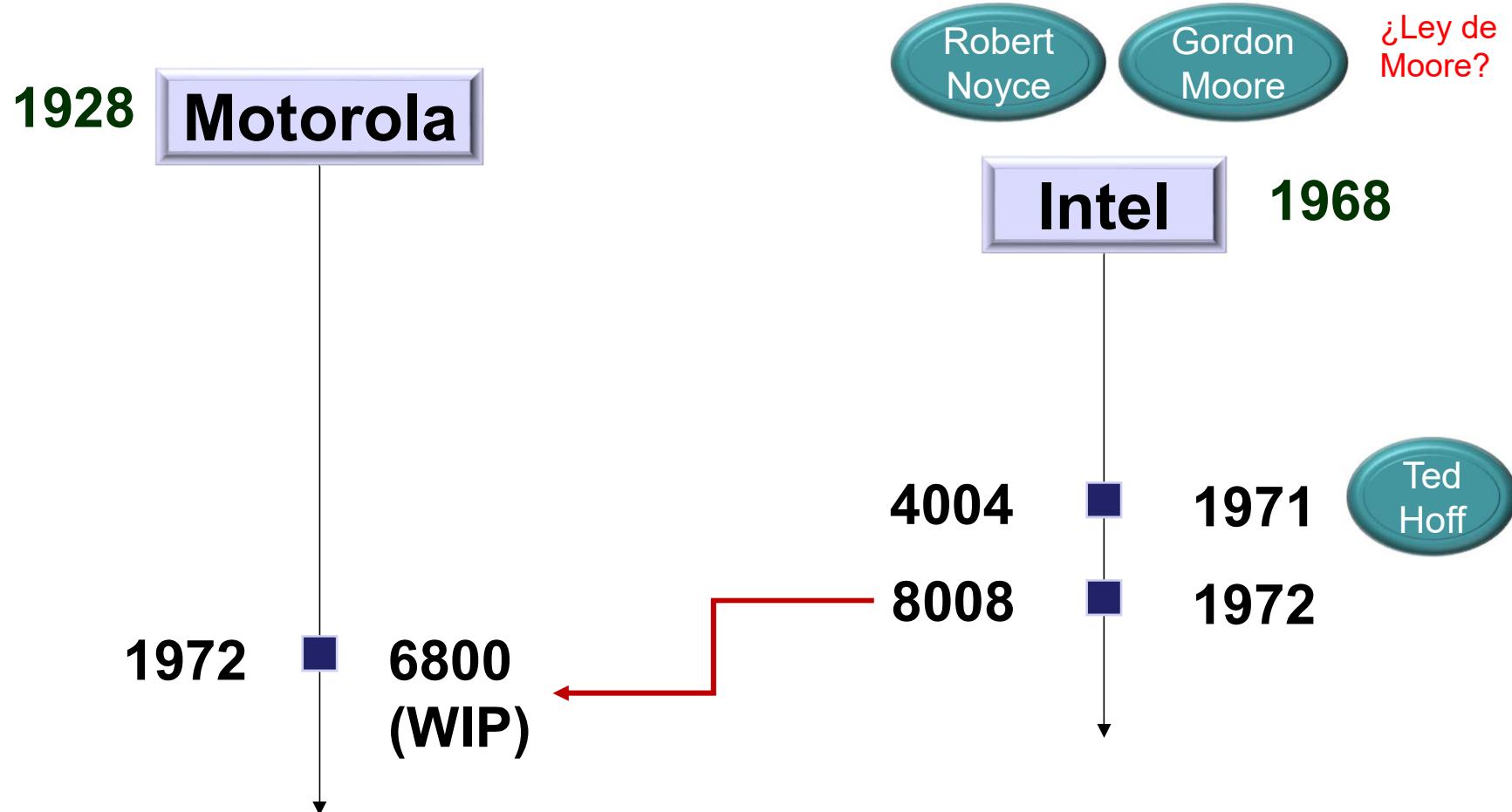
- Fundada en 1928 en Illinois
- Empresa dedicada a las comunicaciones
 - Estaciones de radio
 - Radios portátiles
 - Comunicaciones satélite
 - Telefonía móvil
 - Microprocesadores...
- Cuando el hombre fue a la Luna utilizó equipos de comunicaciones de Motorola:
 - “A small step for a man, a huge step for Mankind”

commons.wikimedia.org



nasa.gov

Motorola y el microprocesador



Computación 1940-1970

- **1960: IBM 7090**

- 50000 transistores
- 100 KFLOPS
- Palabras 36 bits
- Memoria: 32K palabras
- Coma flotante (*float*)
- “Mueble”
- Alquiler anual **700,000 \$**

Números
reales de
36 bits



<http://www.computer-history.info>

- **1971: 4004**

- 2300 transistores
- 70 KIPS
- 4 KB ROM, 640 B RAM
- Palabras de 4/8 Bits
- Aritmética entera
- **2-3 cm² aprox.**
- **30 \$**

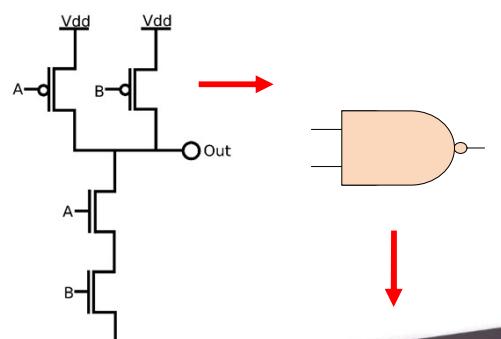
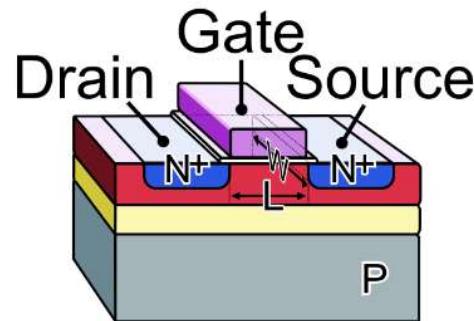
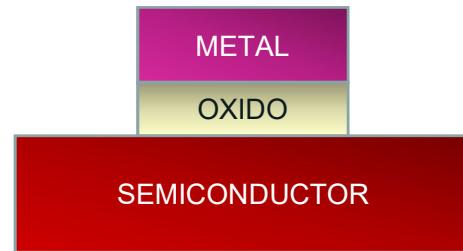
Números
enteros
de 4/8
bits



<https://www.theregister.co.uk>

Circuito integrado

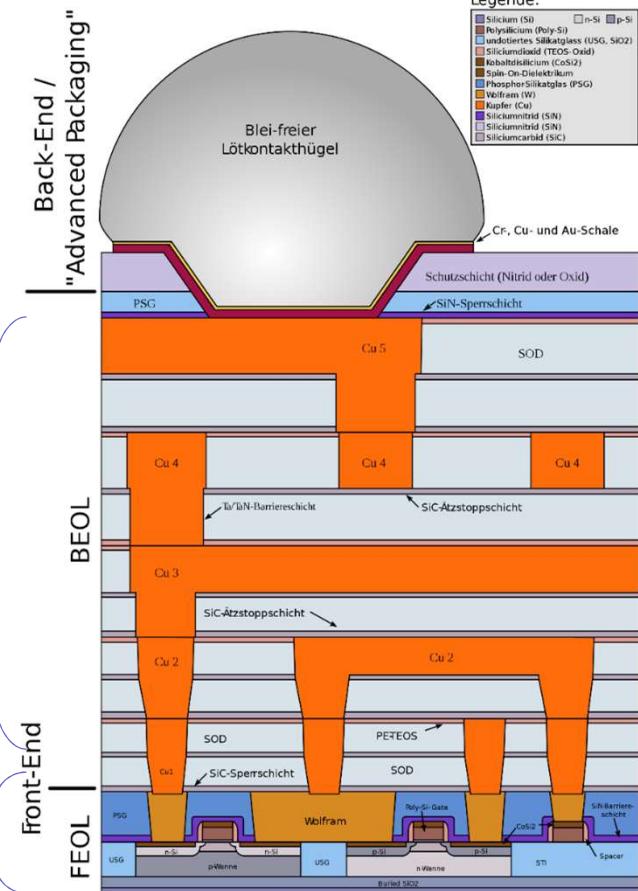
- Transistor: interruptor eletrônico
- **MOS: Metal Óxido Semiconductor**



commons.wikimedia.org

Capa de
metalización
(conductores)

Capa de
transistores



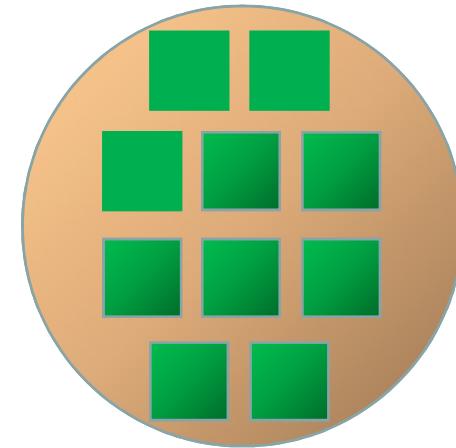
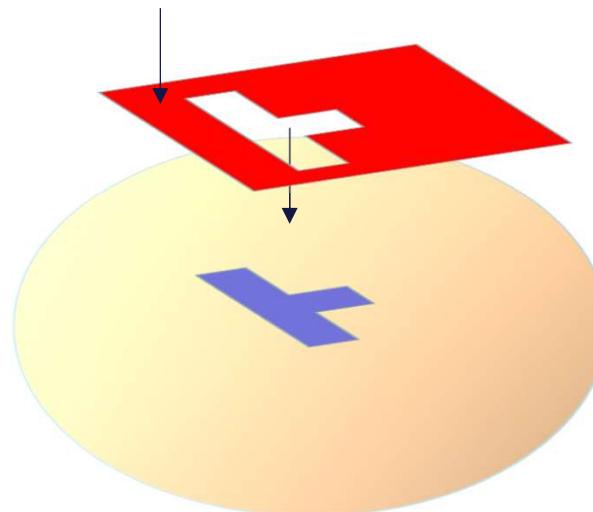
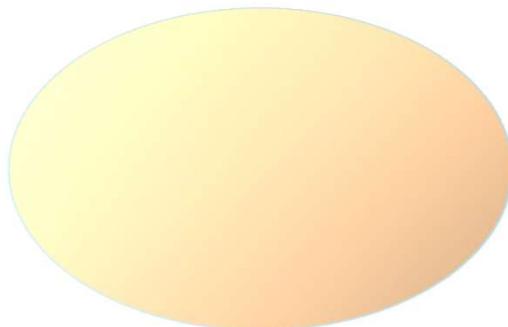
commons.wikimedia.org

Circuito integrado

OBLEA

MÁSCARAS
(LAYOUT)

VARIOS CHIPS

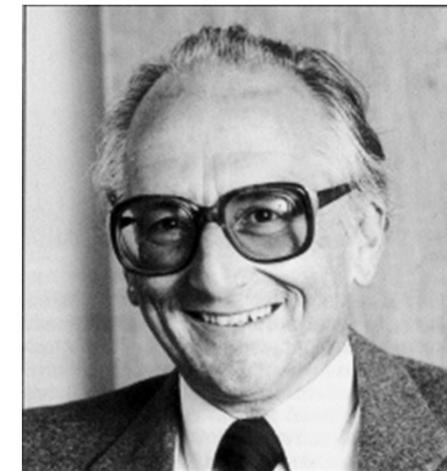


¡Oiga!

¿Y qué tal si seguimos
con el 6502?

Chuck Peddle y Motorola

- Charles Ingerham Peddle Nace en 1937
- Estudia Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Maine (Nordeste EE.UU)
- Un profesor del MIT le enseña Electrónica Digital



commodore.ca

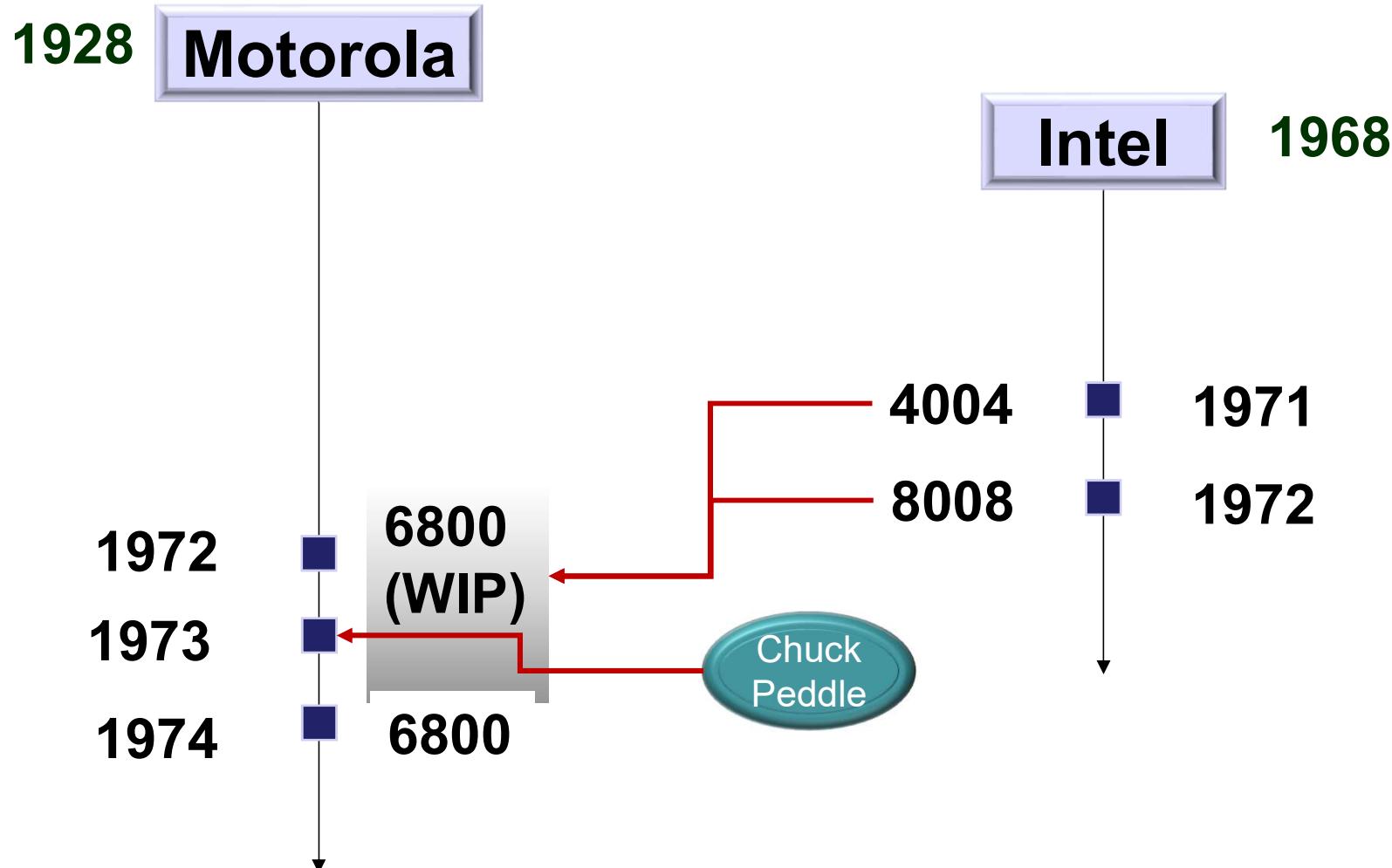
Chuck Peddle y Motorola

- Trabaja en **General Electrics (GE)** – Phoenix Arizona (Suroeste EE.UU)
 - Ordenadores Time-Sharing
 - Cajas registradoras
 - Patente sobre formatos de disco
- El negocio de los sistemas Time-Sharing se va a pique
- GE abandona el sector de la computación

Chuck Peddle y Motorola

- En 1973 Tom Bennett, que dirige el grupo de diseño del 6800 en **Motorola** (Mesa, Arizona), contrata a Chuck Peddle para:
 - Ayudar al equipo de marketing a entender qué es un microprocesador y cómo venderlos
 - Promocionar el 6800 entre las empresas del sector

Chuck Peddle y Motorola



Chuck Peddle y Motorola

- En sus esfuerzos de evangelización sobre el 6800 descubre que
 - Muchos ingenieros creen que el **micro es caro**
4004 → 29 \$
6800 → 300 \$
- Chuck **propone** realizar una versión reducida del 6800 que actúe como **microcontrolador**
 - Propone y... comienza su diseño
 - La idea es situarse entre el 4004 y el 8008

Chuck Peddle y Motorola

- La empresa le envía una carta indicándole que abandone su trabajo en el nuevo microcontrolador
- Chuck Peddle **abandona Motorola (1974)**

MOS Technology y el 6502

- Chuck busca financiación
- Contacta con John Paivinen al que conoció en GE que había cofundado **MOS Technology**
 - Norristown, Pensilvania, Costa Este EE.UU
 - Microchips para calculadoras
 - Pong de Atari



[wikipedia.org](https://en.wikipedia.org)



MOS Technology y el 6502

- Se crea la **sección de microprocesadores** de MOS Technology
- El micro recibe el nombre de **6502**
- John Paivinen se compromete a crear el proceso de fabricación n-MOS que necesita el micro

MOS Technology y el 6502

- El equipo:

- Arquitectura

- Chuck Peddle** (ex-Motorola)

- Will Mathys (ex-Motorola)

- Rod Orgill (ex-Motorola)

- Microelectrónica (layout)

- Bill Mensch** (ex-Motorola)

- Ray Hirt (ex-Motorola)

- Harry Bawcom (ex-Motorola)

- Mike Jaynes

- Sidney-Ann Holt

- Manager

- Terry Holdt (ex-Motorola)

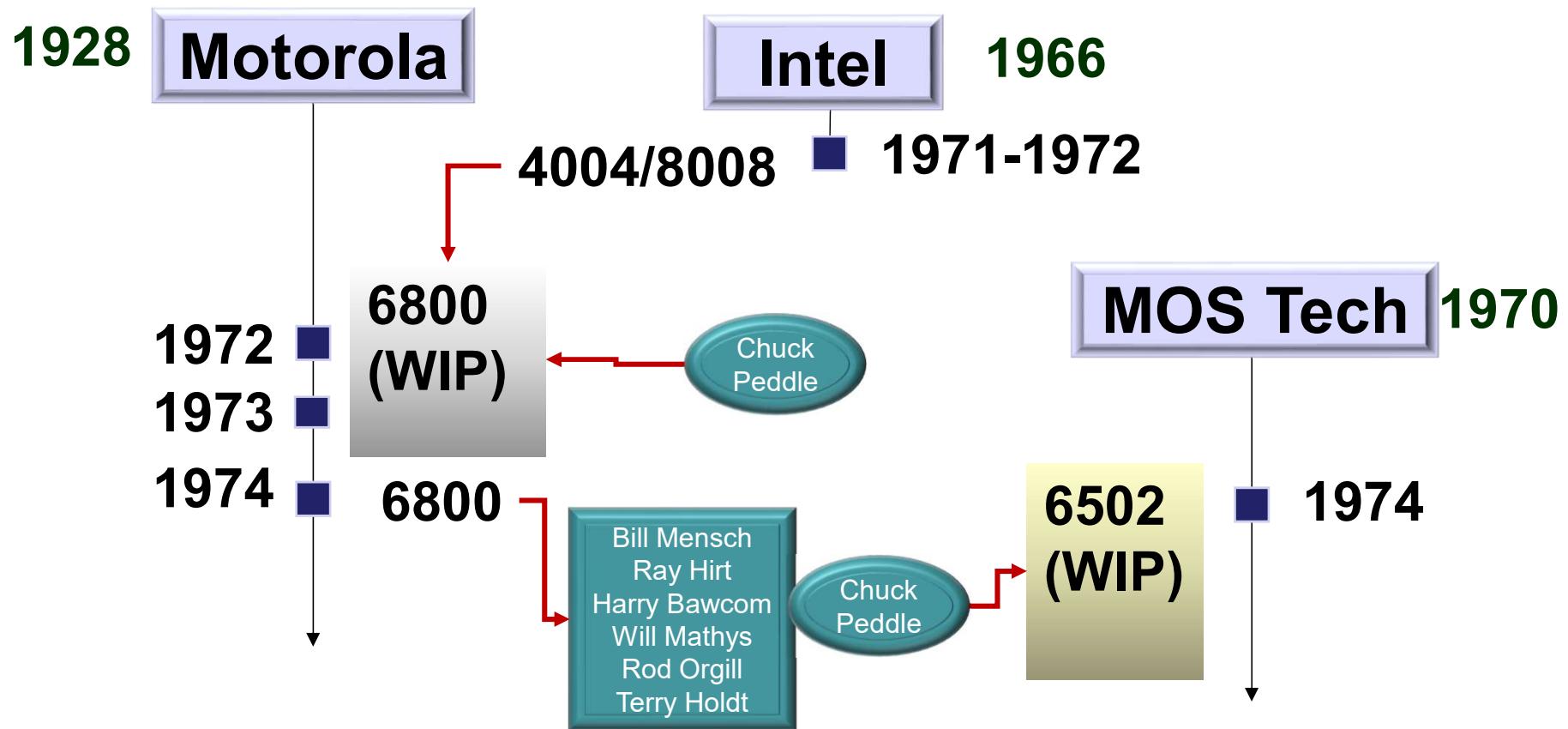
Bill Mensch

Chuck Peddle



[EE Times 1975](#)

MOS Technology y el 6502



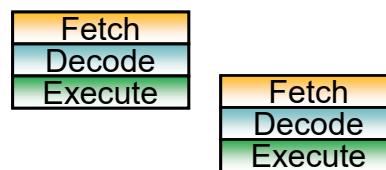
Diseño del 6502

68xx vs 65xx

- Objetivos de Peddle
 - 6502
 - Microprocesador de 8 bits (basado en el PDP-II)
 - Precio en torno a 25 \$
 - 6501
 - Con patillaje (*pinout*) **compatible con el 6800 de Motorola**
 - Precio en torno a 25 \$
 - 6507
 - Chip de muy bajo coste
 - Pocos pines (bus de direcciones limitado)
 - Precio en torno a 5 \$
- ¿Cómo iban a conseguirlo?

Diseño del 6502

- Arquitectura hecha con lápiz y papel
 - Conjunto de instrucciones
 - Bloques principales de la CPU
- Puntos interesantes de la arquitectura:
 - Uso de segmentación (pipeline)

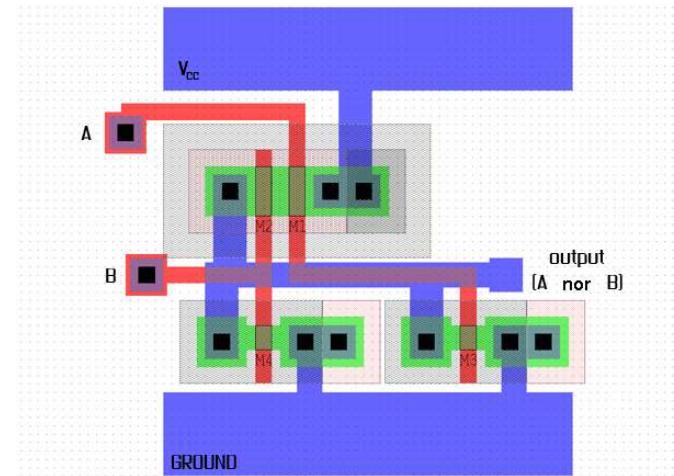


Compite con
4004 y 8008

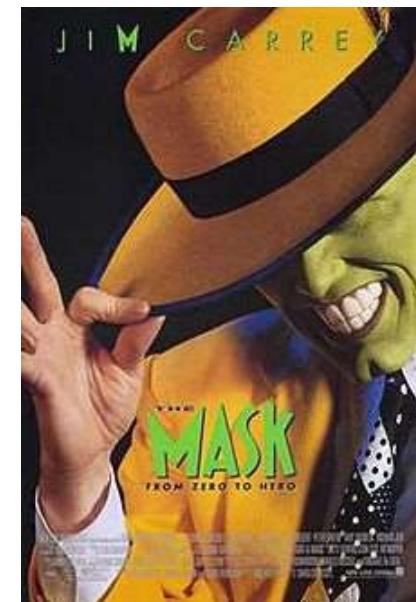
- Peddle asegura que acelera la ejecución **x4**
- Acceso rápido a página cero
 - Equivalente a disponer de **256 registros**

Diseño del 6502

- Layout
 - Disposición de los transistores en el chip
 - Interconexión entre transistores
 - Diseño de máscaras
- **Bill Mencsh** diseña el layout del 6502

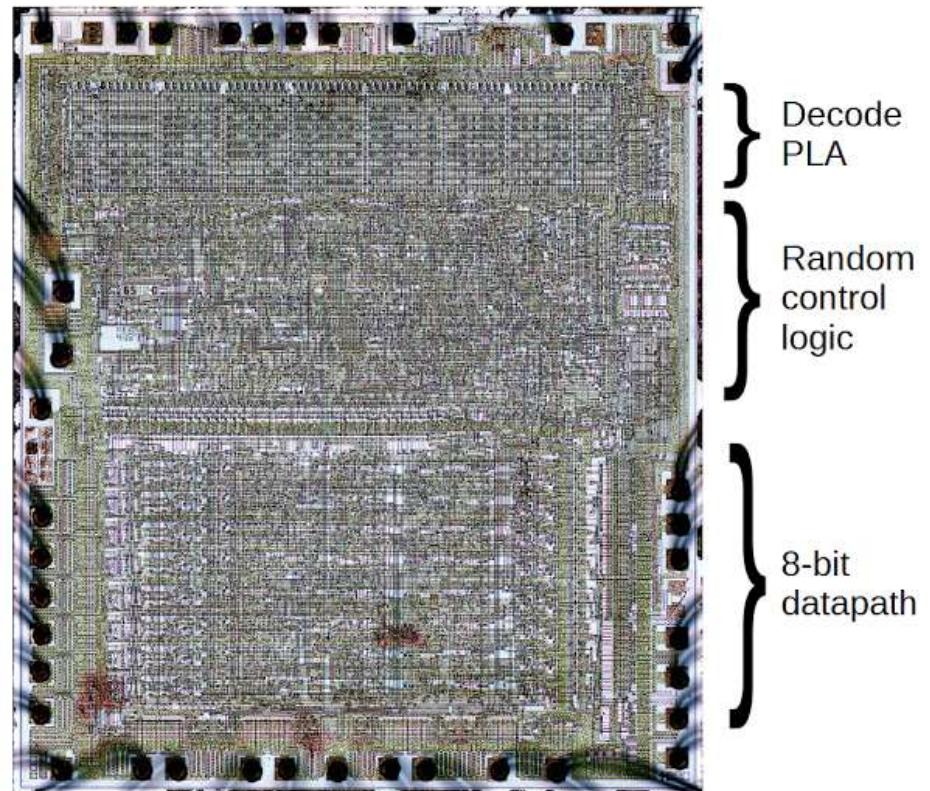


commons.wikimedia.org



Diseño del 6502

- Diseño del layout manual
 - **3510 transistores**
 - Dibujando el chip en una mesa de gran tamaño
 - Reglas, lápices de colores



<http://www.righto.com/>
<http://www.visual6502.org>

Diseño del 6502

- Máscaras **hechas a mano**
 - Se hacían con un material llamado Rubylith
 - **Rubylith**: capa de acetato y capa opaca
 - Usaban cuchillas de afeitar y reglas
 - Importante llevar **calcetines nuevos**
- Las máscaras se fotografiaban y se **reducía** su tamaño

<http://www.computerhistory.org>



commons.wikimedia.org



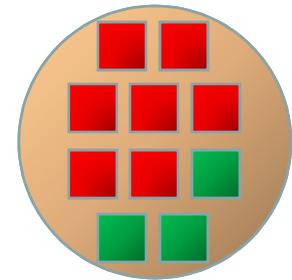
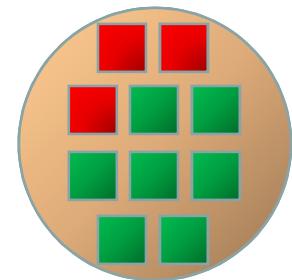
Diseño del 6502

- Jaynes, Hirt y Bawcon crearon un total de 6 máscaras agosto 1974 → junio 1975
- Las máscaras usadas en la fabricación de chips se degradaban con cada uso
- MOS Technology utilizaba una técnica diferente en la que la máscara no estaba en contacto con el chip
 - No había degradación

¡Ya se puede fabricar!

Diseño del 6502

- En **Septiembre de 1975** ya estaba el chip operativo
- Cuando fabricaron el primer chip
¡Funcionaba!
- Las obleas contenían 50 chips
- Los chips pueden salir defectuosos (yield)
- El % de chips 6502 **defectuosos** era del **30 %**
 - Lo habitual para esa época era el **70 %**
- **Alta reducción del coste**



Venta del 6502

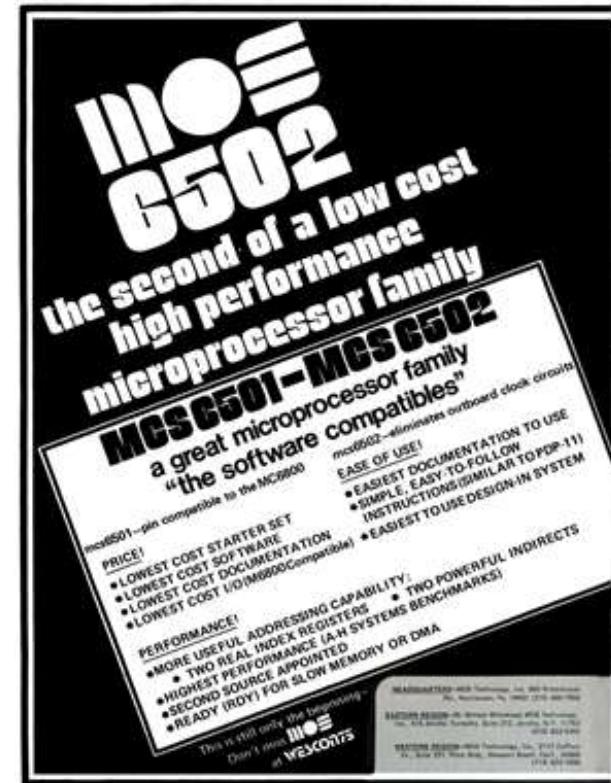
- El primer paso era presentar los chips con varios kits (KIM y TIM) en el evento

WESCON

(Western Electronics Show and Convention)
16 de septiembre de 1975

- Presentan lo siguiente:
 - 6501 (pin-out compatible **Motorola 6800**)
 - 6502
 - Chips asociados
 - Kits **KIM** y **TIM**
 - **Manuales HW y SW**

commons.wikimedia.org



Venta del 6502

- Querían **vender** los chips en la WESCON, pero **no estaba permitido**
- Montaron “oficina” en un hotel cercano
 - McArthur Suite, St. Francis Hotel
 - 6502 por **25 \$**
 - Manuales por 10 \$
- Querían distribuir los chips entre
 - Ingenieros
 - Hackers



Venta del 6502

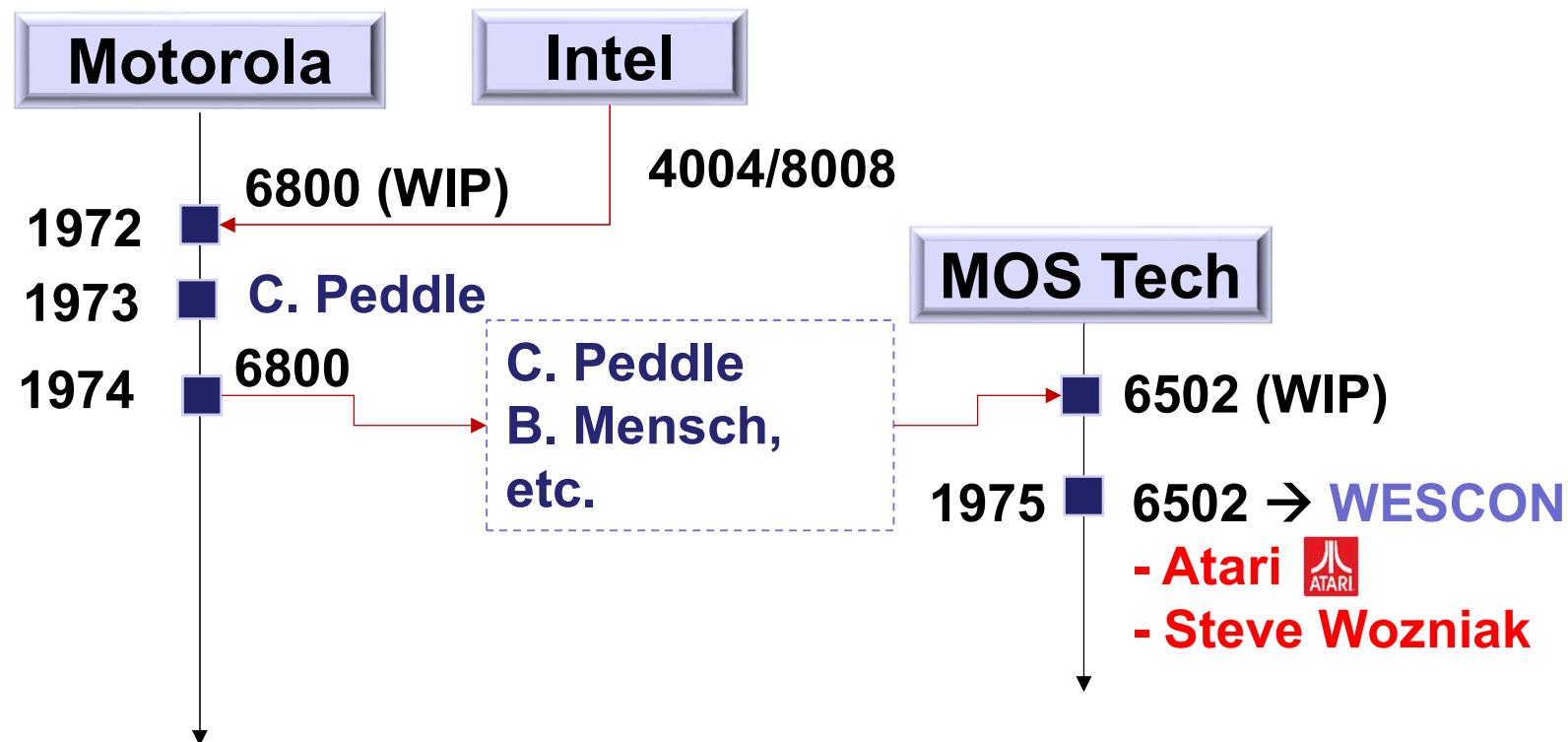
- ¿Funcionó la idea?
 - Ingenieros de **Atari** hablaron con Chuck sobre una posible consola de videojuegos
 - Y también un tal **Steve Wozniak** compró chips



commons.wikimedia.org



Venta del 6502



Venta del 6502: Atari



- 2 días después de la WESCON firman contrato con ATARI
- A Atari le interesa el 6507
- Les venden el 6507 y los **chips asociados** por **12 \$**
 - Con otras empresas rondaba los **150 \$**
- MOS Technology permite a la compañía Synertek fabricar los chips 65xx
- Esto ofrece mayor seguridad a Atari (y a otros clientes)



<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Evan-Amos>



<https://7www.giffy.com>

Venta del 6502 (seguimos)

- Chuck Peddle visita numerosas empresas e incluso **diseña** los circuitos
- En el período 1975-1976 consigue
 - **Máquina de pinball** con microprocesador (Allied Leisure Industries)
 - **Primer conmutador de red** con microprocesador (Telenet)
Primera red pública de conmutación de paquetes
 - **Recreativa** con microprocesador (**Sprint 2**, Grass Valley)
Gun Fight de Taito ya usaba un 8080 (1975)
 - **Fotocopiadora** con microprocesador (Saxxon)
 - Etc.

¡Esto marcha!

Venta... ¡ejem! Pleito con Motorola

- En noviembre de 1975 Motorola les lleva a juicio por **infracción de patente**
- Posible motivación:
 - Diáspora (“robo”) de ingenieros
 - Compatibilidad del 6501 con el 6800
 - Pérdida del contrato con Atari



<https://es.wikipedia.org/wiki/Usuario:Swazmo/27>

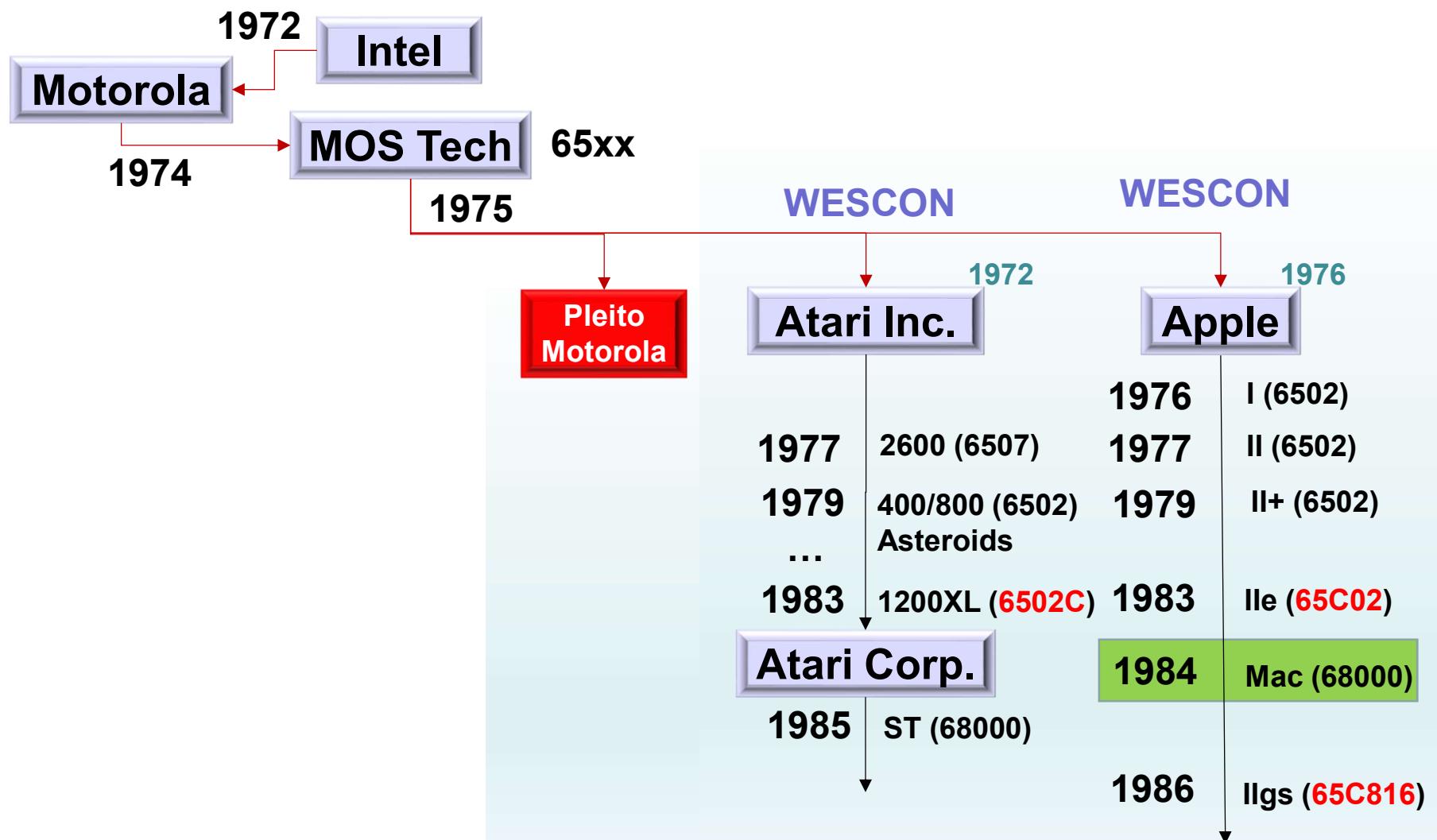
6502 y la creación del PC

- Chuck Peddle se sorprende al ver el interés por los kits KIM y TIM
- Empieza a considerar la idea de usar el 6502 como CPU de un ordenador de reducido tamaño

Ordenador Personal

- A John Paivinen le gusta la idea...
- Apple ya se estaba gestando y perseguía un objetivo similar

Influencia del 6502



Atari



giphy.com/gifs/Atari-Asteroids
<https://www.youtube.com/watch?v=w60sfReTsRA&t=23s>

1979



1987



1979

6502 y Commodore

- **Crisis de las calculadoras**
- **Allen-Bradley**, el principal cliente de MOS Technology “se retira” del negocio de las calculadoras en **1976**
 - Da sus acciones a los fundadores de la empresa

6502 y Commodore

- Al mismo tiempo, los ingenieros más importantes se marchan gradualmente
 - Tras crear el 6502 la empresa se centra en venderlos
 - No hay un proyecto de continuación a corto plazo
 - La historia se repite: Motorola
- **Bill Mensch** decide continuar el legado del 6502 y “planea su fuga”
- Finalmente, **no se autoriza** el proyecto de **ordenador personal** de Chuck

6502 y Commodore

- MOS technology se desmorona
 - Pérdida del negocio de las calculadoras
 - Ingenieros descontentos
 - Pleito con Motorola
- El **pleito con Motorola** supuso muchos gastos y que el 6501 no saliese al mercado



- Entra en escena la compañía uno de sus clientes:
Commodore Business Machines

6502 y Commodore

- El negocio de Commodore es también el de las calculadoras
 - Está a punto de quebrar
 - Al saber de la situación de MOS tech. ven el **potencial** de ser capaces de **fabricar sus propios chips**
- Commodore adquiere MOS Tech. en Septiembre de 1976

Jack Tramiel

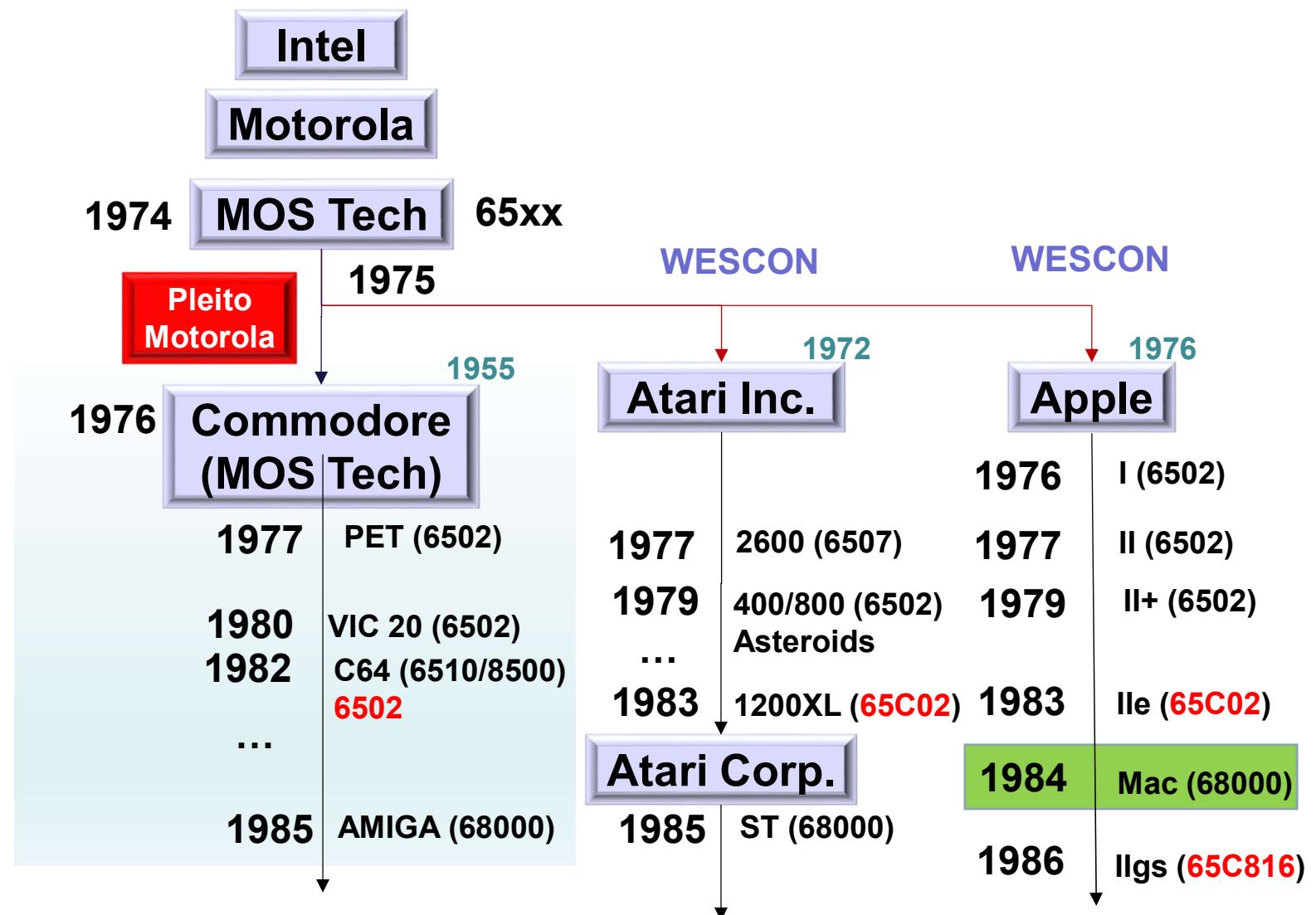


<https://commons.wikimedia.org/>

6502 y Commodore

- **Todos los ingenieros** del equipo 6502 se han marchado, y Chuck Peddle ya ha encontrado trabajo en **Allied Leisure Industries**
- A punto de salir del edificio llegan:
 - Dick Sanford, director financiero de CBM
 - **Jack Tramiel**, fundador de CBM
- Habla con Sanford acerca de su visión del PC
- Tramiel le dice inmediatamente que se quede y que siga adelante con el proyecto

Influencia del 6502



Commodore

1977



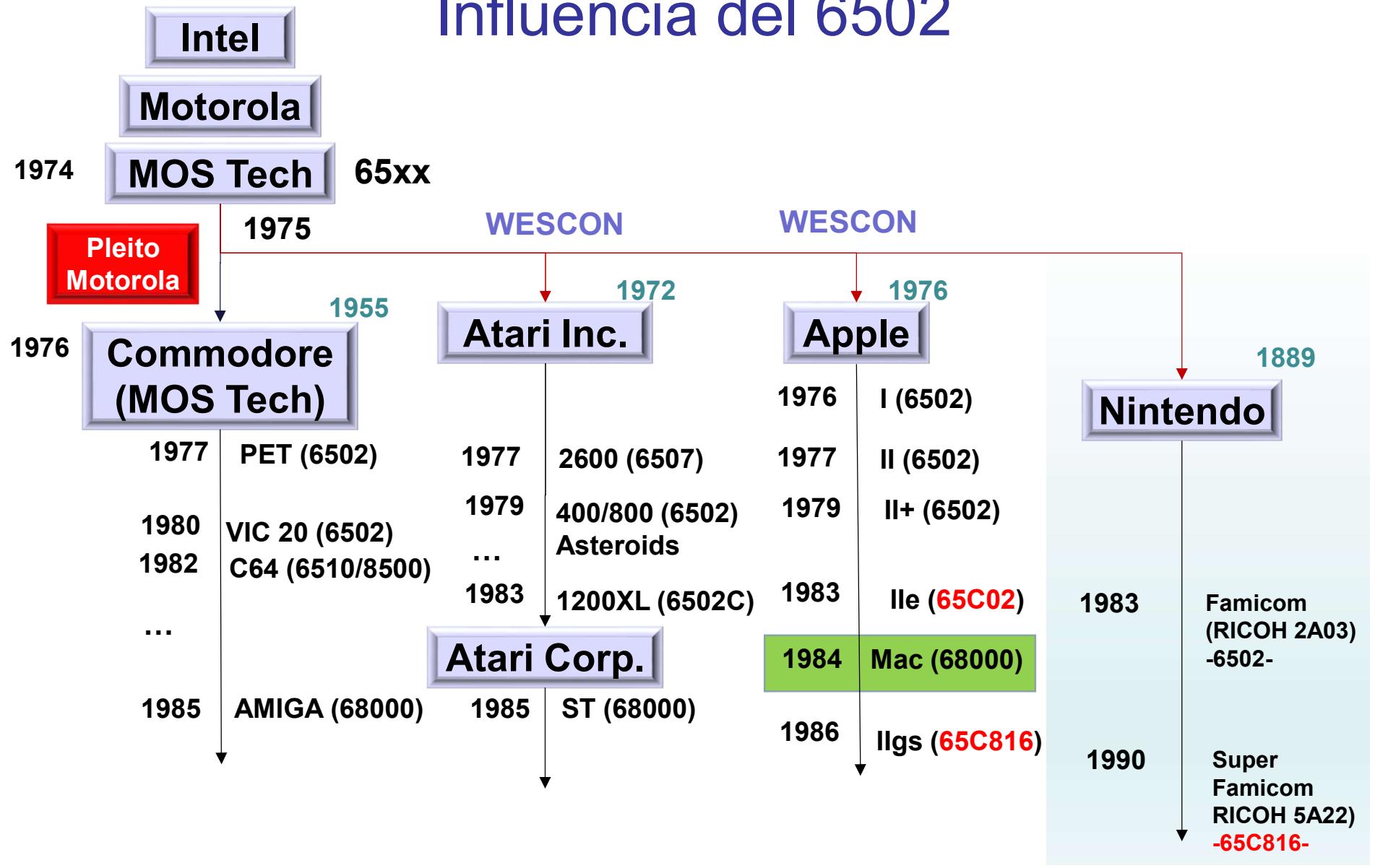
1982



gifgif.io

<https://www.youtube.com/watch?v=Y8ykJuxjOqY>

Influencia del 6502



Nintendo

1983



1990



¿Qué fue de... Bill Mensch?

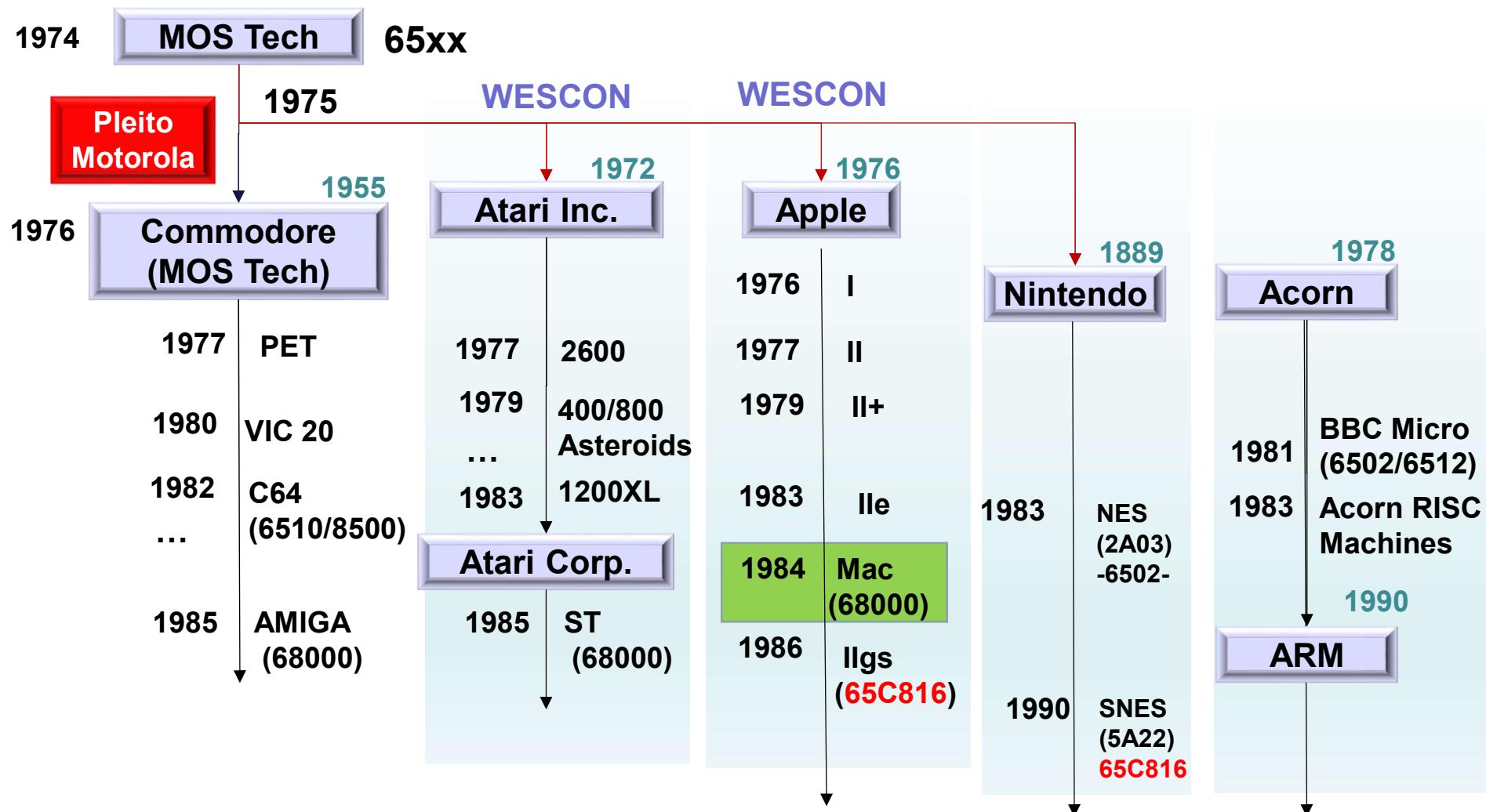
- Bill Mensch fundó la empresa en 1978
Western Design Center (WDC)



<https://commons.wikimedia.org/>

- Crea la evolución del 6502 a 16 bits en 1983:
65C816
- En esta época recibe la visita de ingenieros de la empresa británica
Acorn Computers

Influencia del 6502



ARM

Textos extraído de <http://arm.com>

(28-10-2014) ARM designs chips and effectively acts as an outsourced research and development partner for thousands of the world's technology businesses.... **There are some 125 ARM-powered products shipped every second...**

(10-11-2017) **We Are the Architects of Tomorrow**

Arm defines the pervasive computing shaping today's connected world. **Realized in 100 billion silicon chips**, our device architectures orchestrate the performance of the technology transforming our lives — from smartphones to supercomputers, from medical instruments to agricultural sensors, and from base stations to servers.

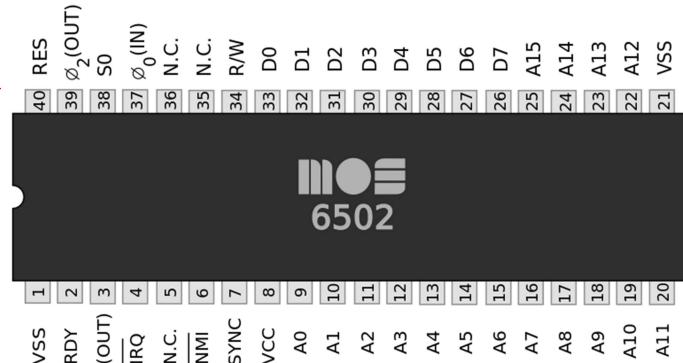
PET,
C64,...



Commodore



Atari 2600, Asteroids,
Atari 1200 XL,...



BBC, Electron



Apple II



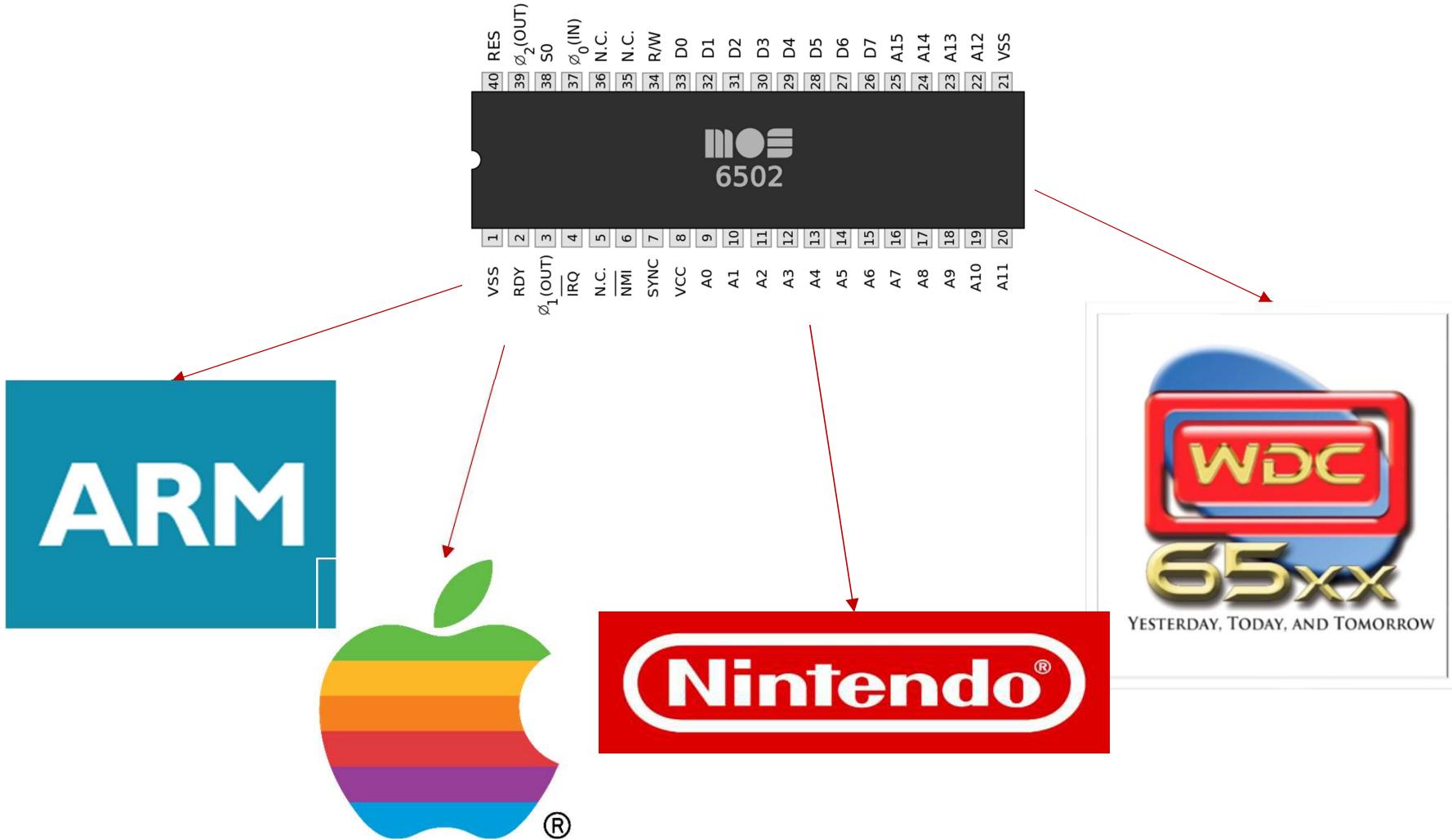
Apple IIgs



NES



SNES



¿Qué fue de... Chuck Peddle?

- Trabajó en Commodore hasta el año 1980
- Tensiones con Jack Tramiel le animaron a marcharse y fundar su propia empresa
- En 1980 funda la empresa **Sirius** con John Paivinen y Chris Fish
- Intenta competir con IBM creando el Victor 9000
- Commodore le lleva a juicio por **infracción de patente**
- Sigue estando activo en el entorno de la tecnología

6502 y la creación del PC

Visicalc

1972



Xerox Alto
ALU 74181

1975



IBM 5100
PALM

1977



Apple II
6502

1979



Tandy TRS-80
Z80

1981



IBM PC
8088

Victor 9000
8088



6502 y la creación del PC

1981

IBM PC

8088



Victor 9000
8088



1982

Commodore 64
6502



Compaq Portable
Compatible IBM

Historia del 6502: semilla del PC y de la industria de los videojuegos
Gabriel Caffarena - Noviembre 2017

1983

IBM PC XT
8088



Apple Lisa
68000



IBM PC AT
80286



Apple Macintosh
68000

1984

6502 y la industria de los videojuegos



Nintendo SNES
65C816

1977



Atari 2600
6507

1983



Nintendo
Famicom/NES
6507

1987



Atari Lynx
6502

1987

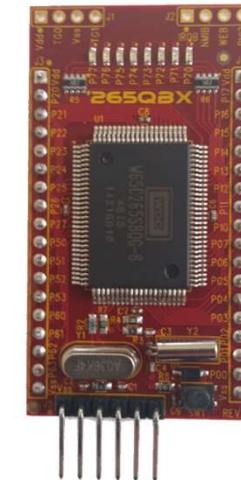
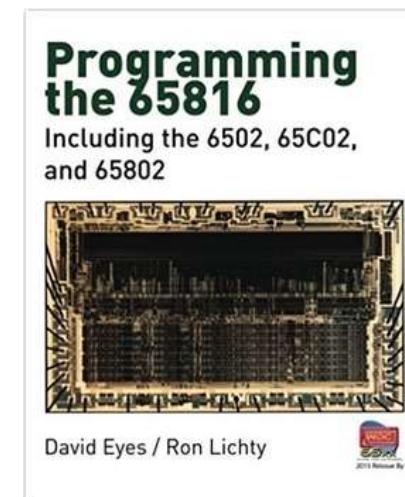
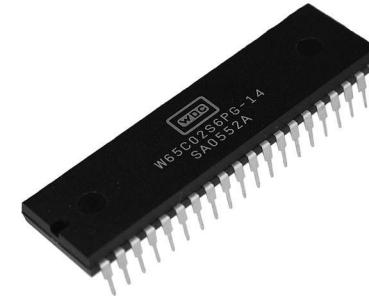


TurboGrafx-16
PC Engine
2x 6502

1990

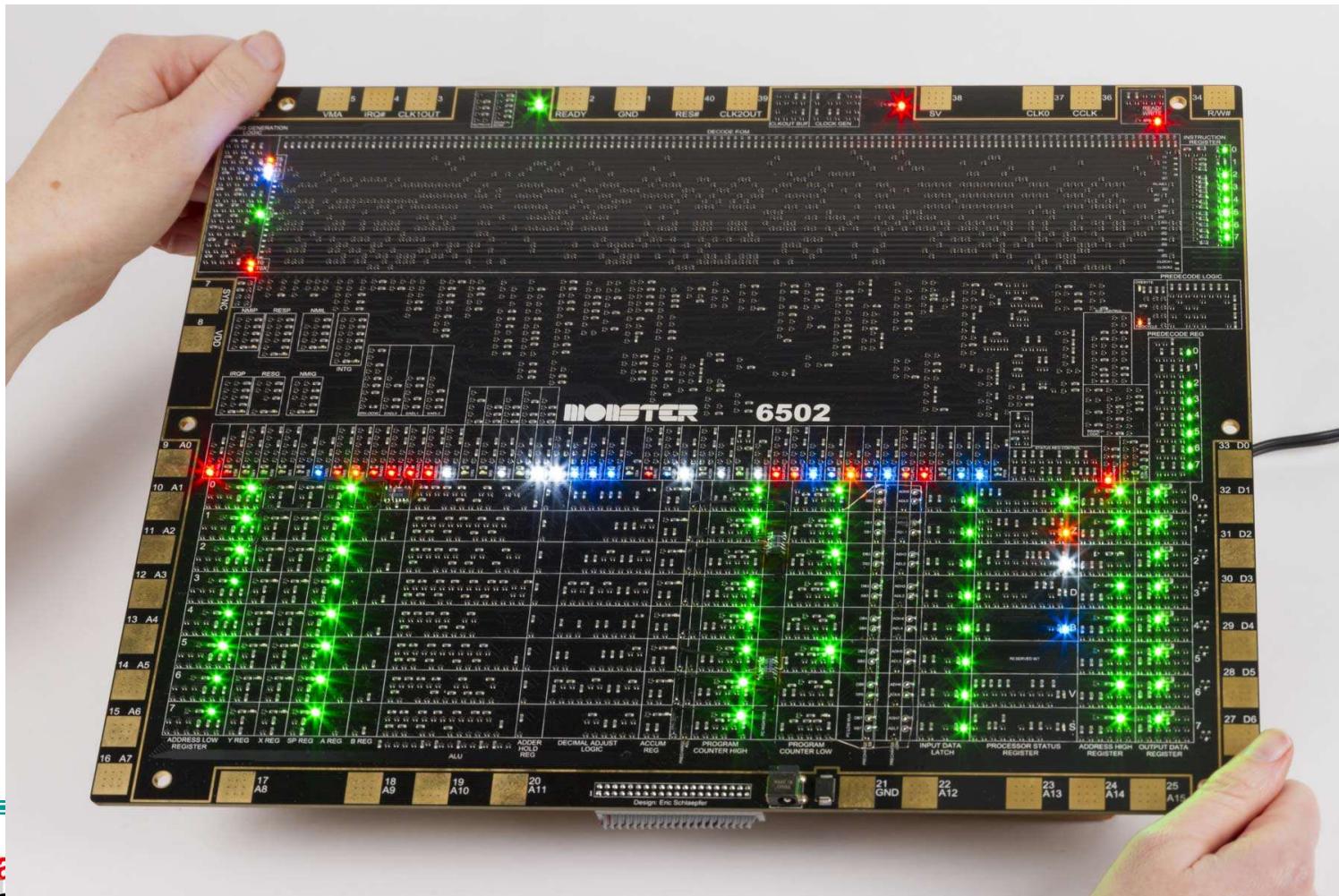
El 6502 hoy en día

- Es posible comprarlo por 7 €
 - www.mouser.es - W65C02S6TPG-14
- MENSCH microcomputer (30 \$)
 - <https://www.tindie.com/products/dcwdcl/mensch-microcomputer/>
- Reedición del libro (2015)
Programming the 65816
D. Eyes, R. Litchy



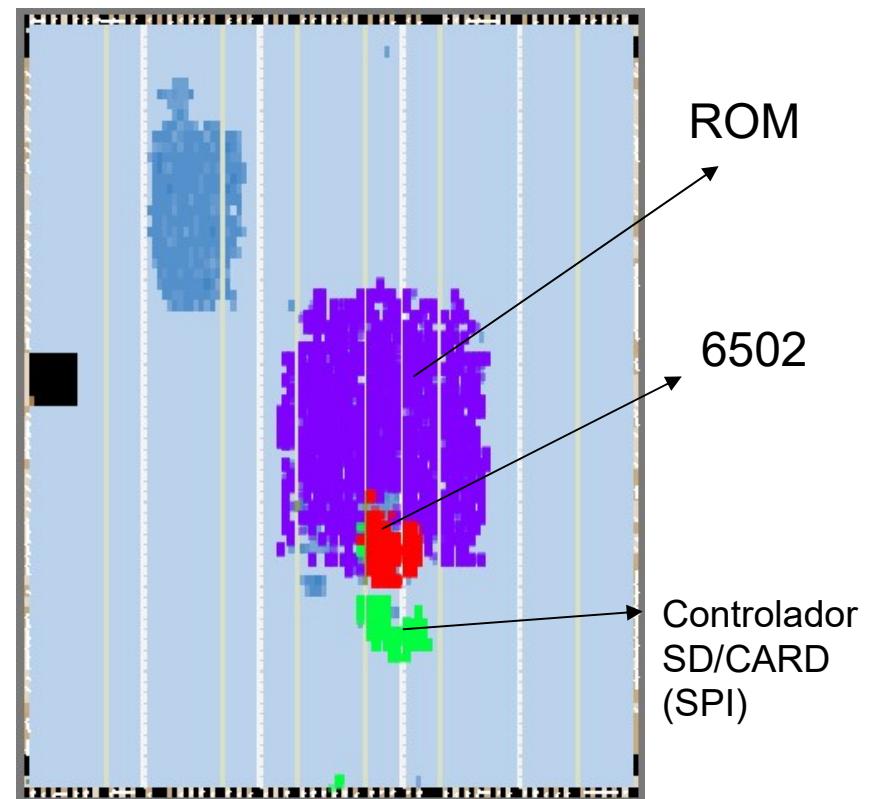
El 6502 hoy en día

- monster6502.org
 - con suerte, pronto en <http://www.evilmadscientist.com/>



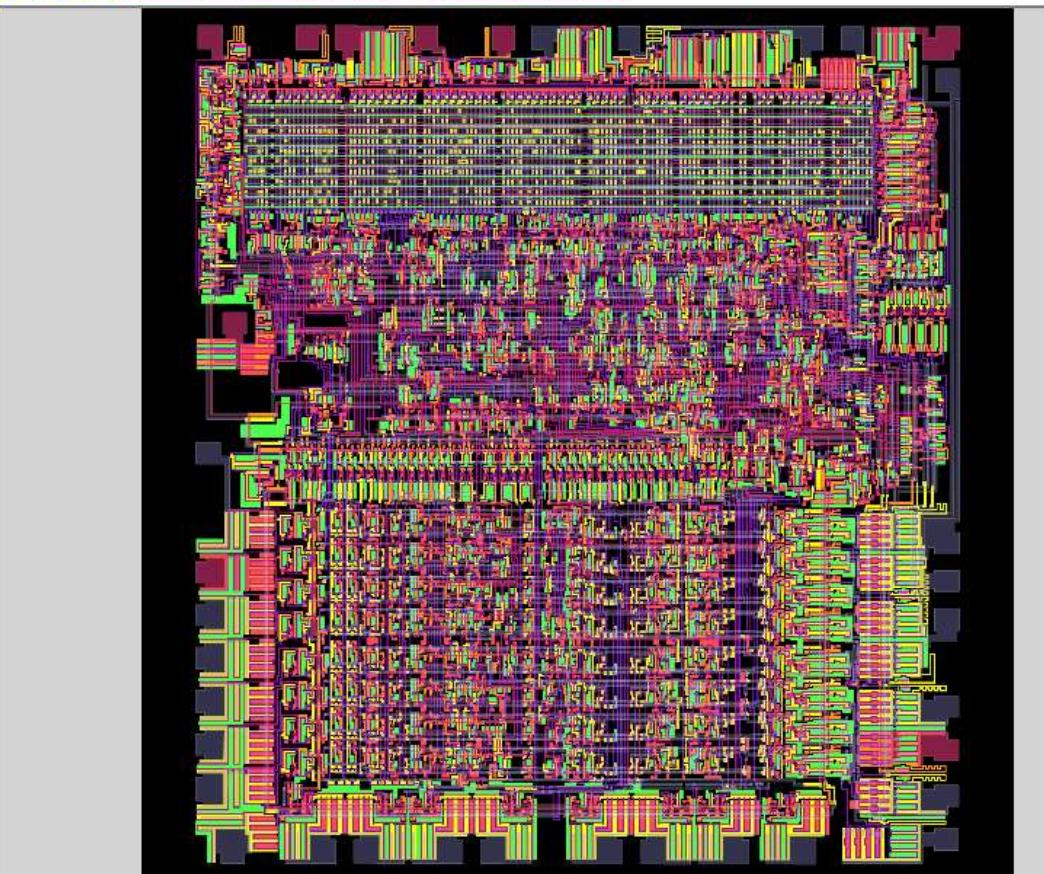
El 6502 hoy en día: FPGA

- WDC vende el 6502 para FPGA de Altera
- Existen numerosos cores gratuitos en opencores.org
 - T65
 - cpu6502_tc
- Al igual que implementaciones en FPGA
 - C64: ZX-UNO, MIST, DE2, ...
 - Apple][: ZX-UNO, Papilio, DE2, DE2-115, ...
 - BBC Micro: DE1, ...



El 6502 hoy en día: visual6502.org

FAQ Blog Links Source easy6502 assembler e-tradition disassembler



halfcyc:4 phi0:0 AB:0002 D:20 RnW:1
PC:0002 A:00 X:00 Y:00 SP:fd nv-BdIZc
Hz: 0.7 Exec: LDA #(T1) (Fetch: JSR Abs)

cycle	ab	db	rw	Fetch	pc	a	x	y	s	p
0	0000	a9	1	LDA #	0000	aa	00	00	fd	nv-BdIZc
0	0000	a9	1	LDA #	0000	aa	00	00	fd	nv-BdIZc
1	0001	00	1		0001	aa	00	00	fd	nv-BdIZc
1	0001	00	1		0001	aa	00	00	fd	nv-BdIZc
2	0002	20	1	JSR Abs	0002	00	00	00	fd	nv-BdIZc

User Guide

click here and type if your program handles

Trace more Trace less Trace these too:

Log Up/Down Clear Log

Find: Clear Highlighting Animate during simulation:

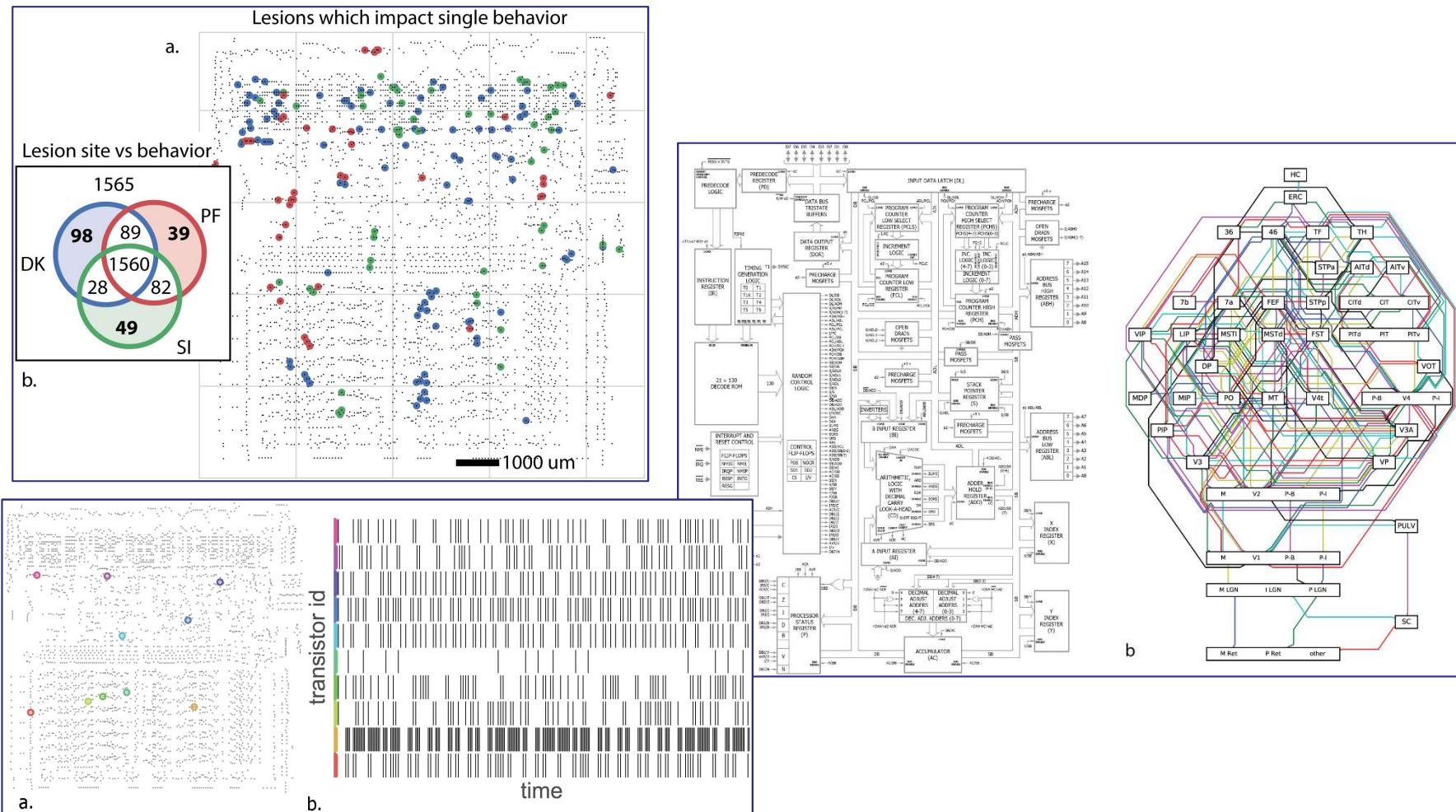
Hide Chip Layout [Link to this location](#)

El 6502 y el cerebro

- Could a neuroscientist understand a microprocessor?
E. Jonas, K. P. Kording
Computational Biology, 12 Enero 2017
- Trata a la Atari 2600 como si se tratase de un organismo
 - Su cerebro es el 6502
 - Las tareas que estudian son
 1. Donkey Kong (DK)
 2. Space Invaders (SI)
 3. Pitfall! (PF)

El 6502 y el cerebro

- Could a neuroscientist understand a microprocessor?



El 6502 y el cerebro

- Y por supuesto, el cerebro de Bender es un...



- Futurama: "Fry y la fábrica de slurm" 1x13

El 6502 y el cerebro

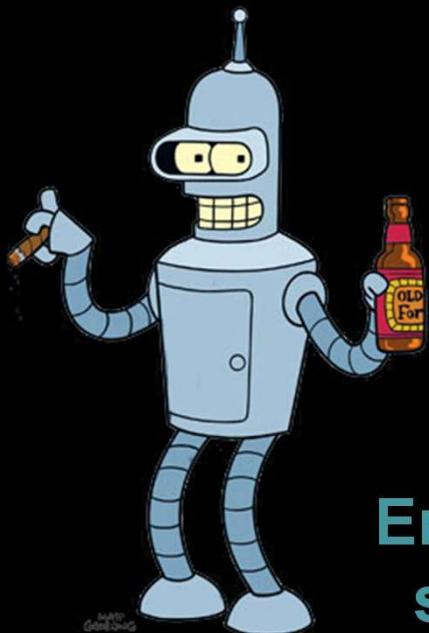
- En Terminator 1 (James Cameron, 1984) se ve el código que ejecuta el cerebro del androide
- El código proviene de la revista Nibble Magazine y es para Apple II



Muchas gracias

gacaffe@gmail.com
@gacaffe
@bitcaffee

Commodore 64 1982

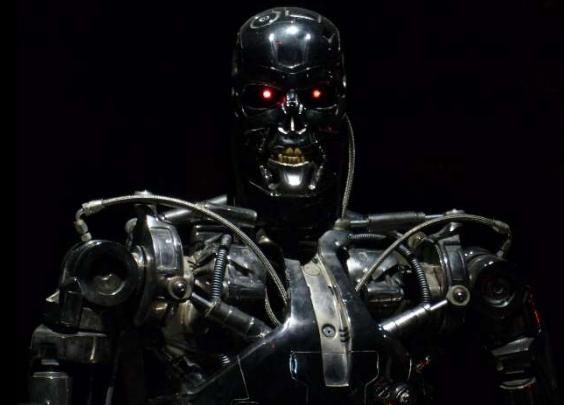


SNES 1990
ARM

1977 Atari 2600
Apple II

1983 NES

1997 Skynet
Juicio Final



**En el futuro, el destino de la humanidad
se decidirá en una batalla épica entre
Bender y Terminator**

Bibliografía y enlaces

- Commodore: a company on the edge
<http://variantpress.com/books/commodore-a-company-on-the-edge/>
- *Sophistication & Simplicity: The Life & Times of the Apple II Computer.*
Steven Weyhrich
<http://apple2history.org/book/>
- *The Man Behind the Microchip: Robert Noyce and the Invention of Silicon Valley.* Leslie Berlin
http://leslieberlinauthor.com/?page_id=11
- *History of modern computing.* Paul E. Ceruzzi
<https://mitpress.mit.edu/books/history-modern-computing>
- <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/processors/25-microchips-that-shook-the-world>
- <http://6502.org>
- <http://visual6502.org>
- <http://www.computerhistory.org/>
- <http://www.computinghistory.org.uk/>