

# Sistemas Empotrados

## Tema 1:

## Introducción a los sistemas empotrados

### Lección 1:

### Presentación de la asignatura



# Contenidos

## Tema 1: Introducción a los sistemas empotrados

### Presentación de la asignatura

#### Motivación

Descripción de la asignatura

### Sistemas empotrados

Utilidad

Caracterización

Clasificaciones

Diseño e implementación

Herramientas de desarrollo

### La parte hardware

Procesadores

Co-procesadores y aceleradores

Controladores de sistema

Arquitectura de memoria

Periféricos

### La parte software

Importancia creciente del software empotrado

Componentes del Firmware

# Evolución de los sistemas de cómputo



UNIVAC-I

Años 50

Mainframes

Varias  
habitaciones

Millones de  
dólares

Aplicaciones de  
negocio y cálculo  
científico de gran  
volumen



PDP-8

Años 60

Minicomputadores

Gran tamaño

Cientos de miles  
de dólares

Laboratorios y  
pequeñas  
organizaciones



IBM-PC

Años 80

PC

Tamaño moderado

Miles de dólares

Oficinas y  
computación  
personal



Reproductor vídeo

Años 90

Sist. empotrados

Tamaño pequeño

Cientos de dólares

Electrodomésticos,  
coches, etc.



Smartphone

Siglo XXI

SoC

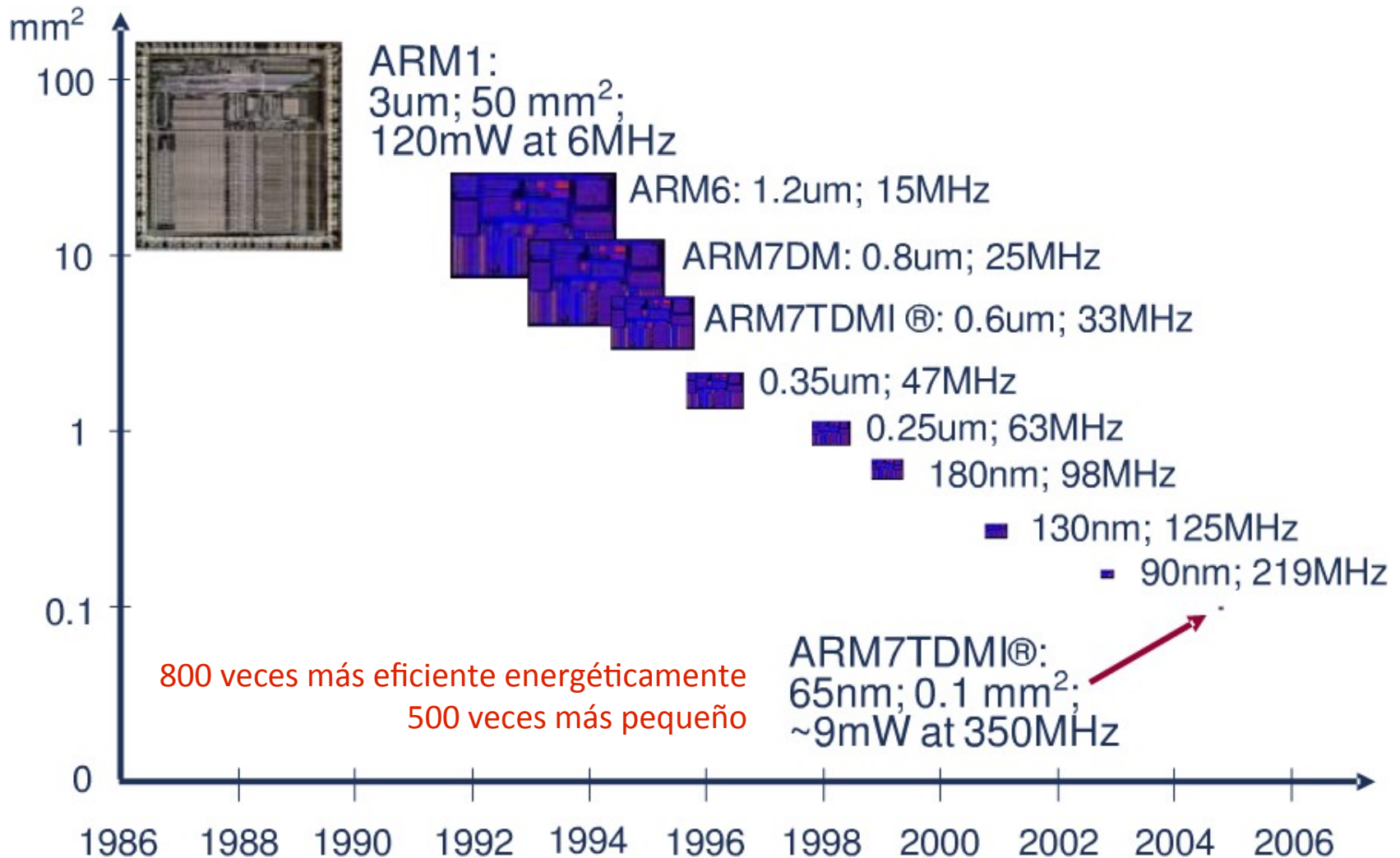
De bolsillo

Decenas de  
dólares

Smartphones,  
tablets, ebooks,  
reproductores  
multimedia, etc.

# Evolución de los procesadores empotrados

Prestaciones razonables con un consumo y un área (coste) mínimos

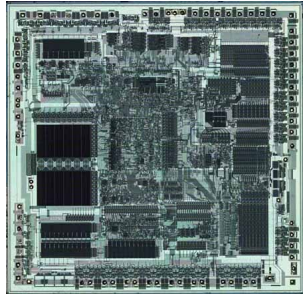


Fuente: Sir Robin Saxby. Semiconductors + Software Enable Exciting Lifestyles

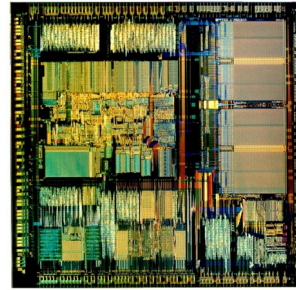
[http://www.eesta.org.uk/Resources/seminar\\_2006/Robin-Saxby.pdf](http://www.eesta.org.uk/Resources/seminar_2006/Robin-Saxby.pdf)

# Evolución de los procesadores para PCs y servidores

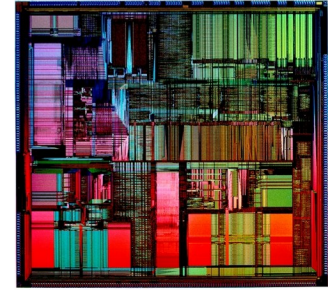
Notable mejora de las prestaciones, sin cuidar el consumo o el área del procesador (coste)



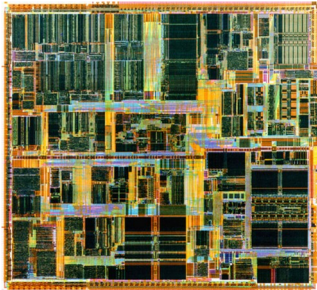
**Intel 80286 (1982)**  
 $134 \times 10^3$  transistores  
12 Mhz,  $68,7 \text{ mm}^2$



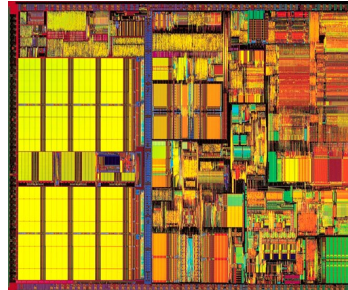
**Intel 80386 (1985)**  
 $275 \times 10^3$  transistores  
33 Mhz,  $104 \text{ mm}^2$



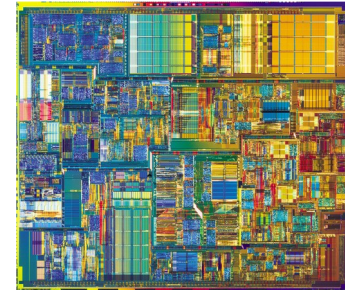
**Intel Pentium (1993)**  
 $3.1 \times 10^6$  transistores  
66 Mhz,  $264 \text{ mm}^2$



**Intel Pentium II (1997)**  
 $7.5 \times 10^6$  transistores  
300 Mhz,  $209 \text{ mm}^2$



**Intel Pentium III (1999)**  
 $28 \times 10^6$  transistores  
733 Mhz,  $140 \text{ mm}^2$



**Intel Pentium 4 (2000)**  
 $42 \times 10^6$  transistores  
1.5 Ghz,  $224 \text{ mm}^2$



# Aparición de los procesadores empotrados de aplicaciones

Maximizar las prestaciones con un consumo y un área (coste) mínimos

Han posibilitado la aparición de smartphones, tablets, etc.

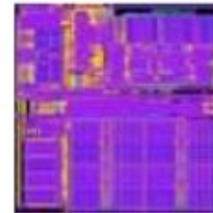
## The 80s and 90s:



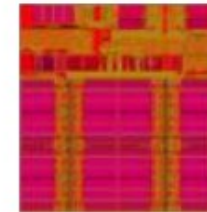
1985 – ARM1  
50mm<sup>2</sup>;  
4MHz; 3µm



1988 – ARM3  
12MHz; 1.2µm



1994 – ARM710  
13MHz; 0.6µm

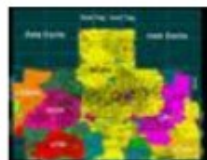


1999 – ARM920T  
140MHz; 0.25µm

## The new millennium:

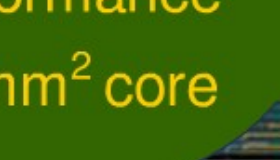


2001 – ARM926EJ-S  
200MHz; 180nm  
200 DMIPS

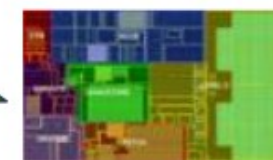


2004 – ARM1176JZ-S  
400MHz; 130nm  
480 DMIPS

600x  
Performance  
4.5mm<sup>2</sup> core



2005 – ARM MPCore (2 way)  
620MHz; 90nm  
1,488 DMIPS



2006 – ARM Cortex A8  
1GHz; 65nm  
2,000 DMIPS

# Omnipresencia de los sistemas empotrados en nuestra vida cotidiana



Fotocopiadora



Coche



Lavadora



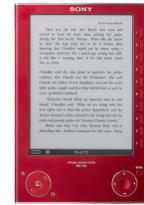
Aire acondicionado



Televisor



Consola



e-book



Termómetro



Smartphone



Reloj



Reproductor  
multimedia



Tablet

# Los sistemas empotrados han cambiado nuestro estilo de vida

## La forma de desayunar

### Cocina de gas

Vierto la leche en un cazo

La caliento 5 minutos

La vierto en el vaso y me la bebo



### Microondas

Vierto la leche directamente en el vaso

La caliento 1 minuto

Me la bebo





# Los sistemas empotrados han cambiado nuestro estilo de vida

## La forma de comunicarnos

### Felicitación navideña del siglo XX

Compro 20 tarjetas de felicitación, 20 sobres y 20 sellos

Escribo una dedicatoria en cada tarjeta

Mando las tarjetas por correo **10 – 15 días antes** de navidad



### Felicitación navideña del siglo XXI

Me hago una foto chula con el móvil

La edito en el mismo móvil para añadirle la dedicatoria

La mando por e-mail a todos mis amigos y la subo a Facebook, Twitter, etc.

**Tiempo total: 5 minutos**



# Los sistemas empotrados han cambiado nuestro estilo de vida

La digitalización permite miniaturización y mejora de prestaciones

Lo mejor  
del mundo  
analógico ...



... se ha  
vuelto más  
pequeño y  
mejor



# Los sistemas empotrados han cambiado nuestro estilo de vida

Los sistemas empotrados dotan a los dispositivos de “inteligencia”

Los  
dispositivos  
de toda la  
vida ...



... ahora  
son  
inteligentes



**Smart device:** Dispositivo electrónico inalámbrico, móvil, siempre conectado, capaz de comunicar voz y vídeo, navegar por Internet, geolocalización y operar autónomamente hasta cierto punto

# Los sistemas empotrados han cambiado nuestro estilo de vida

La “inteligencia” no depende solamente del dispositivo

Los servicios se ejecutan en  
“la nube”



Se ofrecen como “gadgets”



Los gadgets se instalan en el  
dispositivo





# Los sistemas empotrados han cambiado nuestro estilo de vida

A la nube no solo se conectan dispositivos inteligentes



## Web of things:

Todas las cosas están conectadas y totalmente integradas en la Web

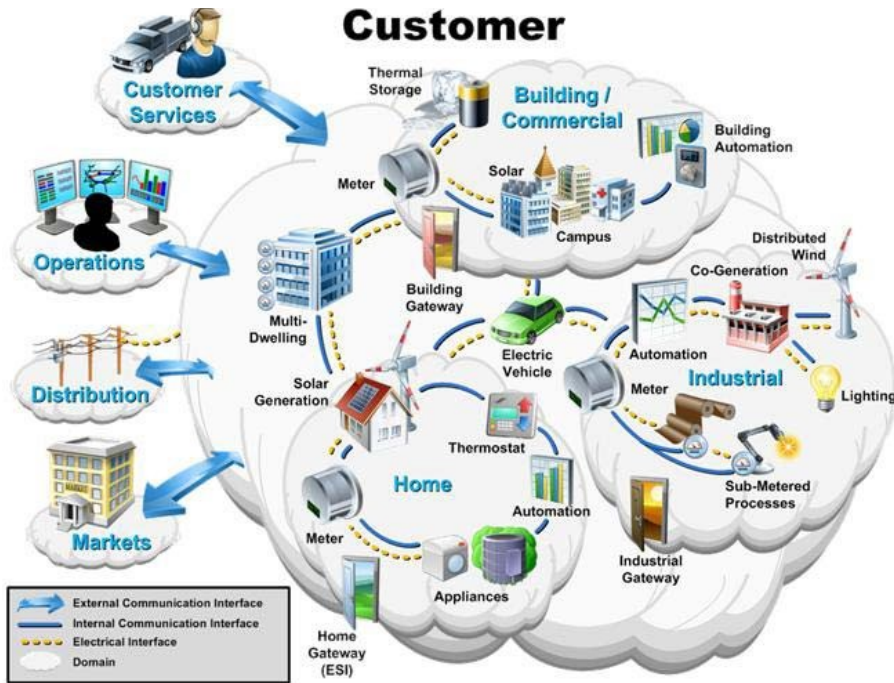


## Ejemplo:

toilet Twitter



## Aparecen los entornos inteligentes



## Smart grid:

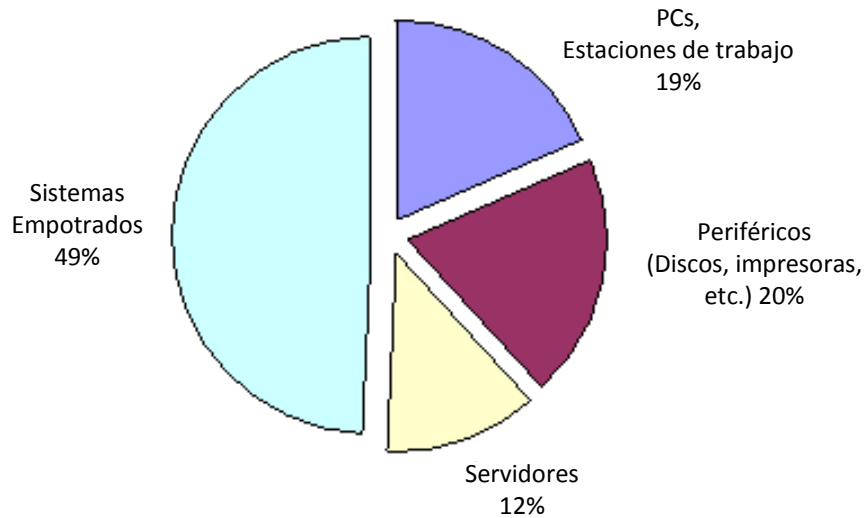
Optimiza la producción y la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores



## Smart city:

Despliegue de servicios inteligentes en la ciudad: ahorro energético, mejora del transporte público, gestión de recursos (agua, aparcamientos, ...), residuos, tráfico, etc.

# ¿Realmente hay tantos procesadores empotrados?

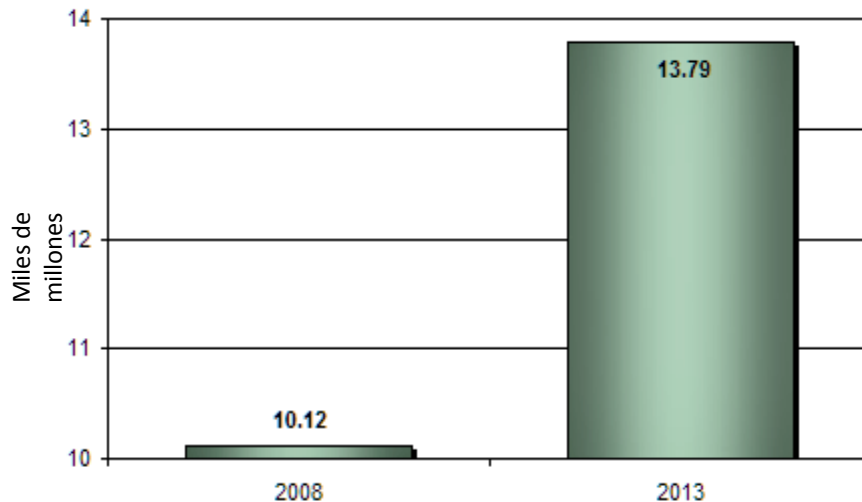


## Tendencias de uso de los procesadores en 2009

Fuente:

**Semiconductor Growth – When and Where?**

<http://www.chipdesignmag.com/blyler/2009/10/29/>

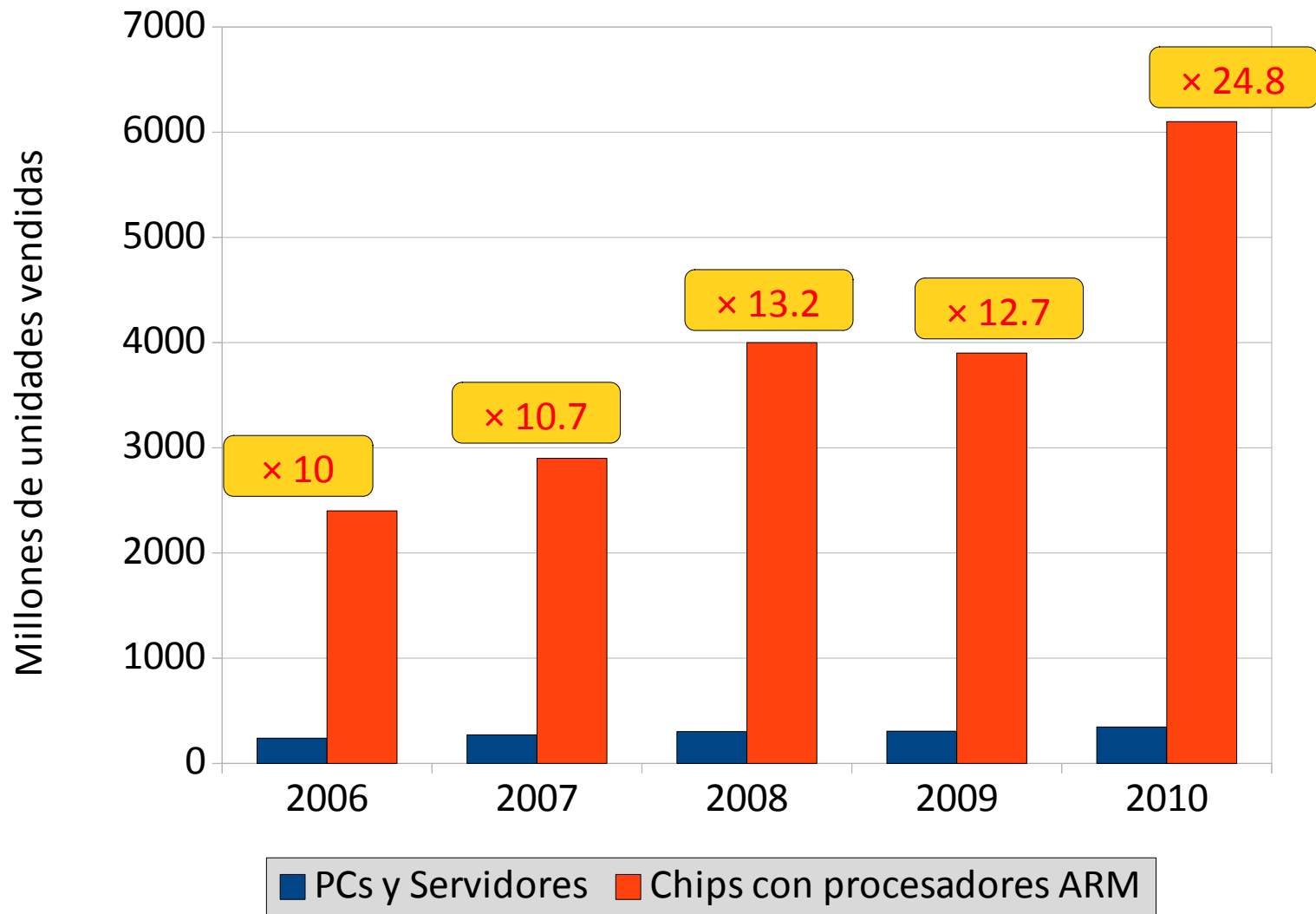


Las ventas de procesadores empotrados superaron los diez mil millones de unidades en 2008

Fuente:

**VDC Research Group**

# ¿Qué procesadores son los más vendidos?



Fuente: ARM Annual Reports and Accounts.

<http://www.arm.com/annualreport10/>

# Diseño de los sistemas empotrados

## Sistema basado en PCB

Formado a partir de microchips componentes ensamblan e interconectan mediante un circuito impreso en una placa

Típico de PCs y servidores

Componentes físicos

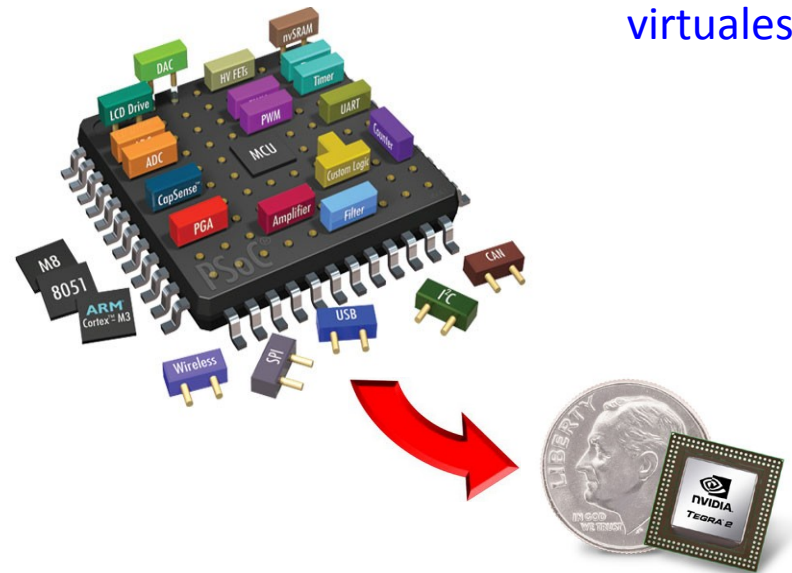


## System on Chip

Formado a partir de **cores IP** interconectados en el diseño del propio chip y **escogidos según la aplicación**

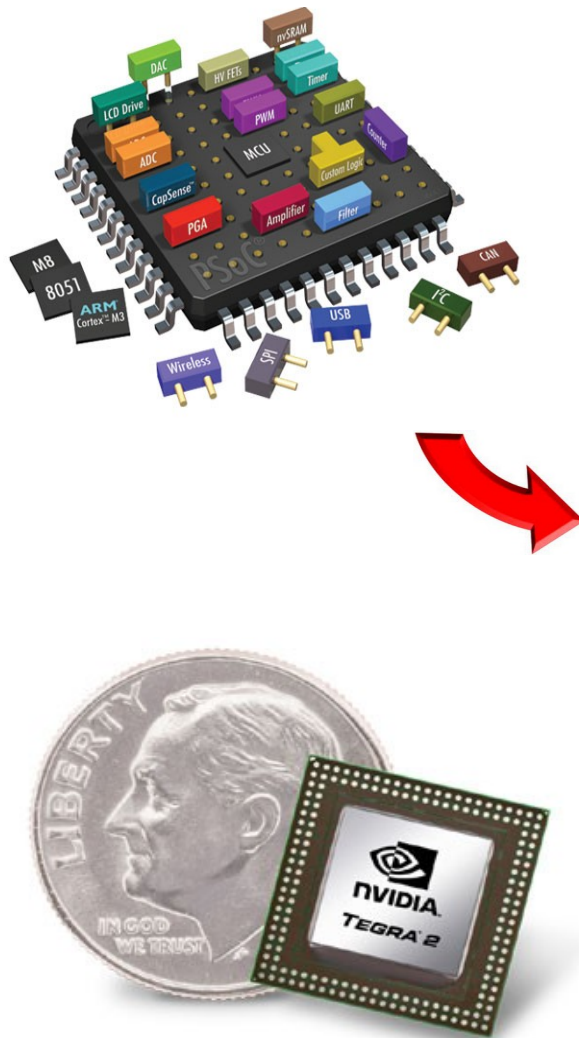
Típico de sistemas empotrados

Componentes virtuales

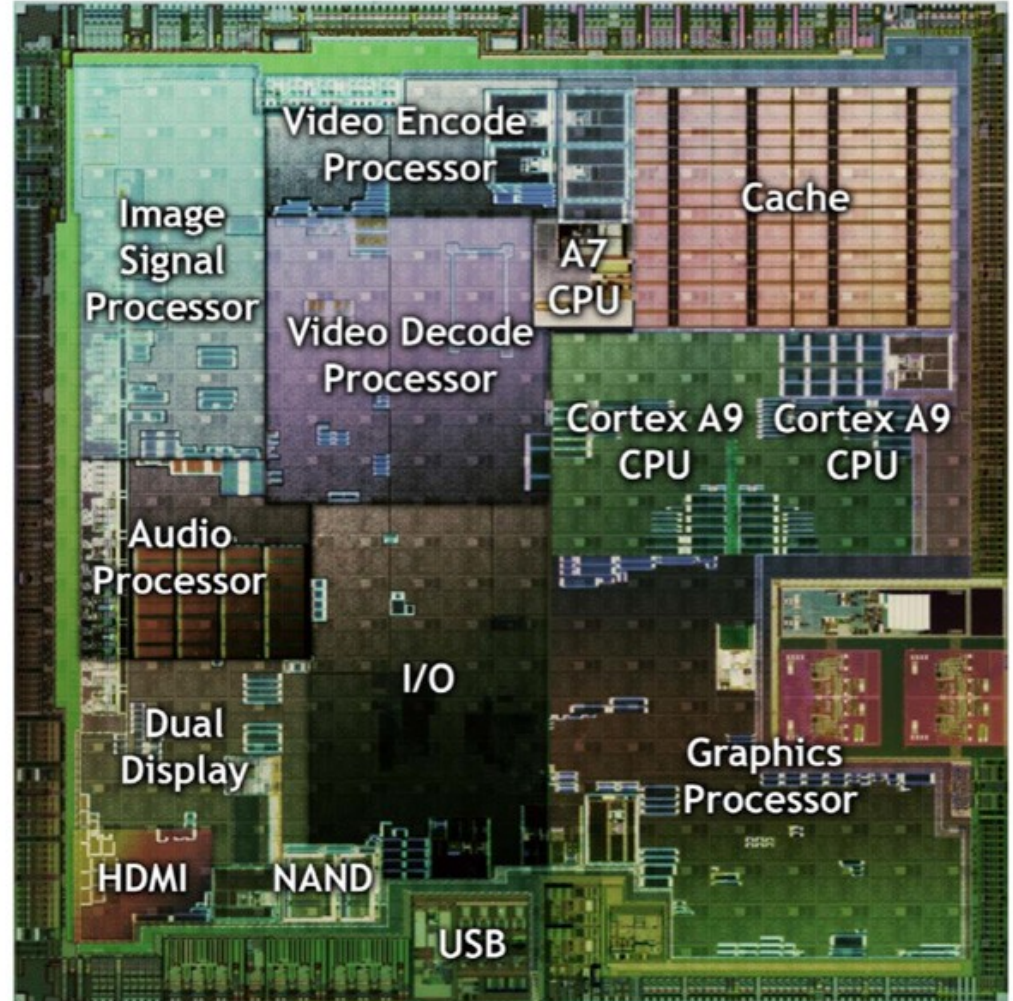




# Ejemplo: nVidia Tegra2



**Nvidia Tegra 250 T20** (40 nm, 2010)  
8 procesadores independientes  
260 millones de transistores  
49 mm<sup>2</sup>, 500 mW



SoC formado a partir de cores IP  
(componentes virtuales)



# Aplicaciones del Tegra2



Asus/Pegatron Neo (2010)  
Smartbook

Full HD. Autonomía de 24h con la Wi-Fi activa



LG Optimus 2X (2011)  
Smartphone



Motorola Xoom (2011)  
Tablet



Motorola Atrix 4G (2011)  
Smartphone

# Contenidos

## Tema 1: Introducción a los sistemas empotrados

### Presentación de la asignatura

- Motivación

- Descripción de la asignatura

### Sistemas empotrados

- Utilidad

- Caracterización

- Clasificaciones

- Diseño e implementación

- Herramientas de desarrollo

### La parte hardware

- Procesadores

- Co-procesadores y aceleradores

- Controladores de sistema

- Arquitectura de memoria

- Periféricos

### La parte software

- Importancia creciente del software empotrado

- Componentes del Firmware

# Información útil

## Profesor

**Nombre:** Jesús González Peñalver

**Ubicación:** Despacho 26  
Arquitectura y Tecnología de Computadores (2ª planta)  
E.T.S.I.I.T.

**E-mail:** [jesusgonzalez@ugr.es](mailto:jesusgonzalez@ugr.es)

**Teléfono:** 958 243 163

**Tutorías:** Jueves de 8:00 a 14:00

## Material

**SWAD:** <https://swad.ugr.es/?CrsCod=5635>

# Programa de la asignatura

## Programa de teoría

Tema 1: Introducción a los sistemas empotrados

Tema 2: Procesador y mapa de memoria

Tema 3: Cargador de arranque

Tema 4: Excepciones e interrupciones

Tema 5: Entrada/salida

## Programa de prácticas

Seminario 1: Perspectivas laborales

Seminario 2: Configuración e instalación de las herramientas de desarrollo

Práctica 1: Conexión y gestión remota de la plataforma

Práctica 2: Introducción al ensamblador

Práctica 3: Introducción al enlazador y el resto de las *binutils*

Práctica 4: Arranque e inicialización del entorno de ejecución

Práctica 5: Gestión de excepciones e interrupciones

Práctica 6: El controlador de interrupciones

Práctica 7: Gestión de los pines de entrada/salida

Práctica 8: Desarrollo de un driver L0 para las UART

Práctica 9: Desarrollo de un driver L1 para las UART

Práctica 10: Desarrollo de un driver L2 para las UART

# Temporización de la asignatura a 14 semanas

Sesión	Bloque 1 (2 horas)	Bloque 2 (2 horas)
25/09/20	Lección 1: Presentación de la asignatura	Seminar. 1: Perspectivas laborales
02/10/20	Lección 2: Introducción a los SE	Seminar. 2: Herramientas de desarrollo
09/10/20	Lección 5: Arquitectura del procesador	Práctica 1: Gestión remota de la plataforma
16/10/20	Lección 6: Introducción al ARM ISA	Práctica 2: Introducción al ensamblador
23/10/20	Práctica 2: Introducción al ensamblador	Lección 7: El mapa de memoria
30/10/20	Práctica 3: Introducción al enlazador	Práctica 3: Introducción al enlazador
06/11/20	Lección 8: Boot Loader	Lección 9: Boot Loader
13/11/20	Práctica 4: Boot Loader	Lección 10: Excepciones
20/11/20	Práctica 5: Excepciones	Lección 11: Interrupciones
27/11/20	Práctica 6: Controlador de interrupciones	Práctica 6: Controlador de interrupciones
04/11/20	Lección 12: GPIO	Práctica 7: GPIO
11/12/20	Lección 13: Drivers L0 y L1	Práctica 8: Drivers L0
18/12/20	Práctica 9: Drivers L1	Práctica 9: Drivers L1
08/01/21	Lección 14: Drivers L2	Práctica 10: Drivers L2



# Evaluación de la asignatura (14 semanas)

Sesión	Pruebas de la asignatura	
25/09/20		
02/10/20		
09/10/20	Test del Tema 1 (Lecciones 1, 2 , 3 y 4)	
16/10/20	Test de la Práctica 1	
23/10/20		
30/10/20	Test del Tema 2 (Lecciones 5, 6 y 7)	Test de la Práctica 2
06/11/20	Test de la Práctica 3	
13/11/20	Test del Tema 3 (Lecciones 8 y 9)	
20/11/20	Test de la Práctica 4	
27/11/20	Test del Tema 4 (Lecciones 10 y 11)	Test de la Práctica 5
04/11/20	Test de la Práctica 6	
11/12/20	Test de la Práctica 7	
18/12/20	Test de la Práctica 8	
08/01/21	Test de la Práctica 9	
25/01/21	Test del Tema 5 (Lecciones 12, 13 y 14)	Test de la Práctica 10

# Prácticas

## Desarrollo de software de sistema con herramientas GNU

Nos centraremos en el desarrollo de un un BSP (*Board Support Package*) para una placa de desarrollo que nos permita ejecutar aplicaciones C en la placa sin ayuda de SO



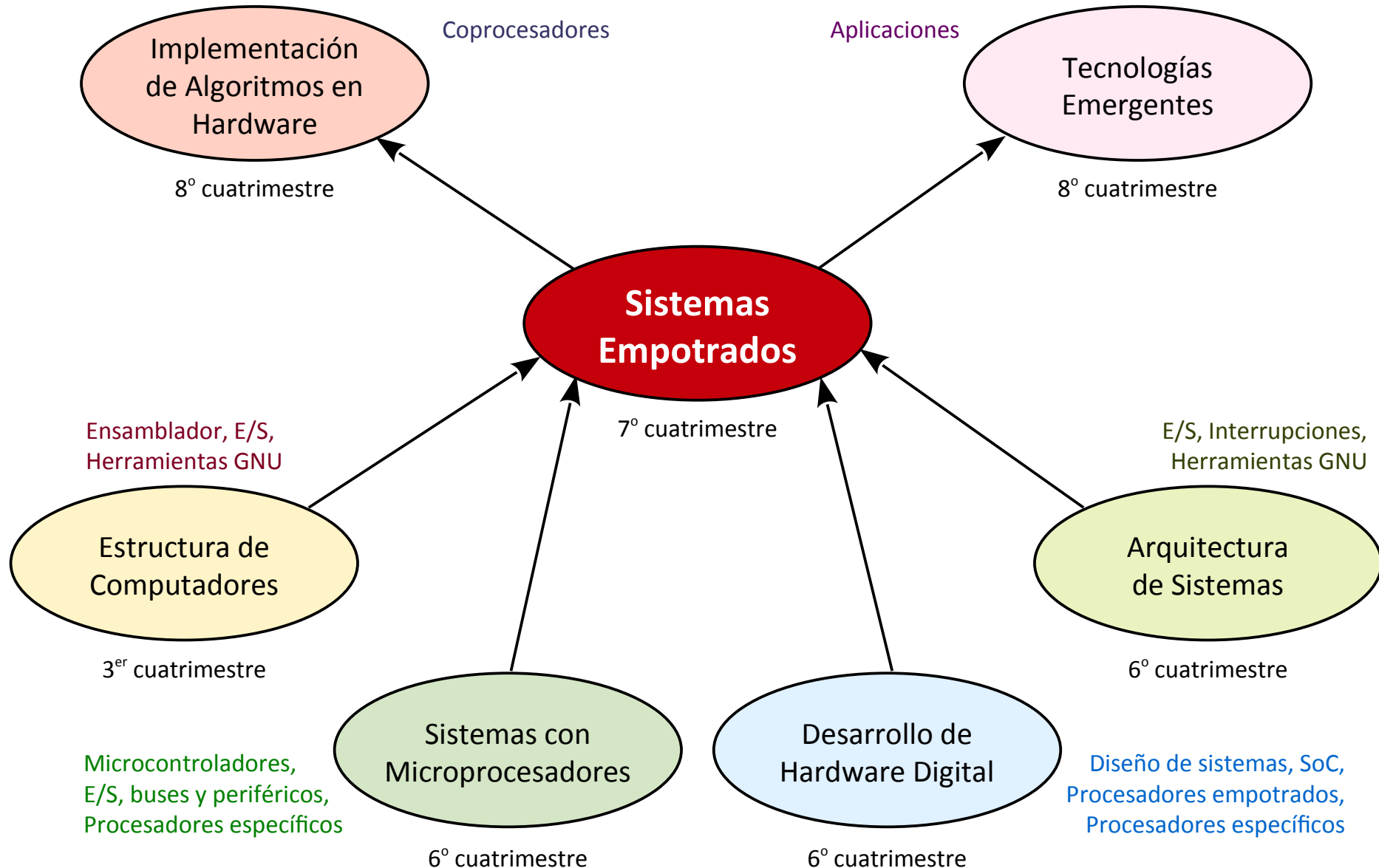
Redwire EconoTAG  
Open hardware  
55\$ (~ 40€)

Fuentes:

Redwire <http://www.redwirellc.com/>

libmc1322x <https://github.com/malvira/libmc1322x/wiki>

# Interacciones con otras asignaturas



# Posibilidades de evaluación de la asignatura

## Evaluación continua

Forma de evaluación por defecto, según la normativa de la UGR

Basada en diferentes actividades teóricas, prácticas y seminarios

No hay examen final

## Evaluación única final

Para alumnos que no puedan cumplir con los requisitos de la evaluación continua por motivos laborales, de salud, discapacidad, etc.

Se debe solicitar al Director del Departamento antes de dos semanas desde que se formaliza la matrícula, justificando los motivos por los que no se puede seguir la evaluación continua

El Director del Departamento podrá dar respuesta positiva o negativa a la solicitud en un plazo de 10 días

# Evaluación continua

Sólo para la convocatoria ordinaria

## Parte teórica (individual)

Breve cuestionario  
al final de cada tema

Hasta  
3 puntos

Mínimo  
1.5 puntos

## Parte práctica (por parejas)

Breve cuestionario  
al final de cada práctica

Hasta  
7 puntos

Mínimo  
3.5 puntos

Nota final de cada práctica =  $0,7 \times (\text{nota de tu cuestionario}) + 0,3 \times (\text{nota del cuestionario de tu pareja})$



# Evaluación única final de la asignatura

Para los alumnos que la hayan pedido en la convocatoria ordinaria y para todos los que concurran a la convocatoria extraordinaria

## Parte teórica

Examen escrito

Hasta  
3 puntos

Mínimo  
1.5 puntos

## Parte práctica

Examen escrito

Hasta  
7 puntos

Mínimo  
3.5 puntos

# Originalidad de los trabajos o pruebas

## Artículo 14 de la normativa de la UGR

El plagio, entendido como la presentación de un trabajo u obra hecho por otra persona como propio o la copia de textos sin citar su procedencia y dándolos como de elaboración propia, conllevará automáticamente la calificación numérica de cero en la asignatura en la que se hubiera detectado, independientemente del resto de las calificaciones que el estudiante hubiera obtenido. Esta consecuencia debe entenderse sin perjuicio de las responsabilidades disciplinarias en las que pudieran incurrir los estudiantes que plagien

Los trabajos y materiales entregados por parte de los estudiantes tendrán que ir firmados con una declaración explícita en la que se asume la originalidad del trabajo, entendida en el sentido de que no ha utilizado fuentes sin citarlas debidamente