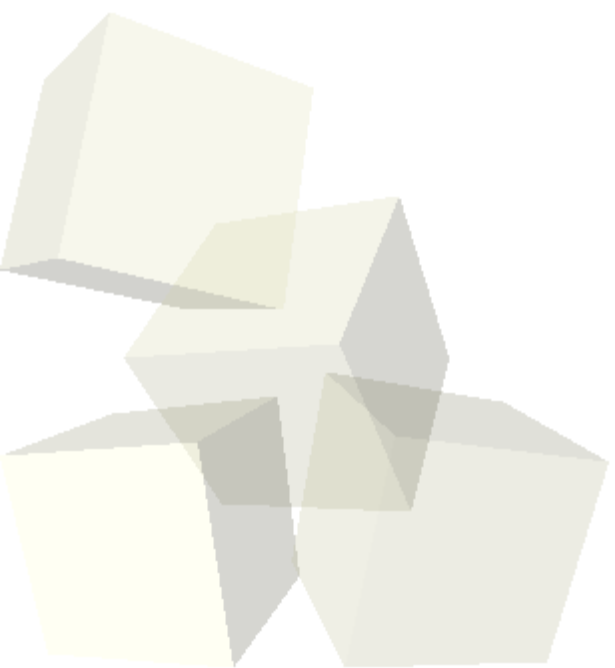




# Introducción al Diseño de SoC (Systems On Chip)

Manuel J. Bellido Díaz

Febrero de 2017





- Introducción a los SoCs
  - ◆ (Tomado del Curso “*SoC Design/Microprocessors in FPGAs*” del programa Universitario de ARM)
  
- SoC sobre FPGAs
  
- Contenidos de la Asignatura SoCBASA





# Introducción a los SoCs: hardware

- **¿Que es el hardware?** (hardware – Partes duras):
  - partes tangibles de un sistema informático, cuyos componentes son:
    - eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos
  - **RAE:** Conjunto de los componentes que integran la parte material de una computadora
  - **Sistema informático o computador** ==> Software (es intangible, es la parte lógica del sistema, la que actúa y toma decisiones
  - Importante: Hardware y software son **indisolubles**
  - Dicho de otra manera: **quien desarrolle hardware debe conocer el desarrollo de software.**
  - El desarrollo de **sistemas informáticos** con diseño e implementación de las dos componentes **Hardware y Software** es propio de la **Ingeniería de Computadores**



# Introducción a los SoCs: hardware

- Paradigma del hardware: smartphones
  - ◆ Documento de interes sobre los smartphones:
    - ◆ <http://histinf.blogs.upv.es/files/2012/12/Evoluci%C3%B3n-de-los-Smartphones-Blog-HDI.pdf>
  - ◆ Hardware de un smartphone



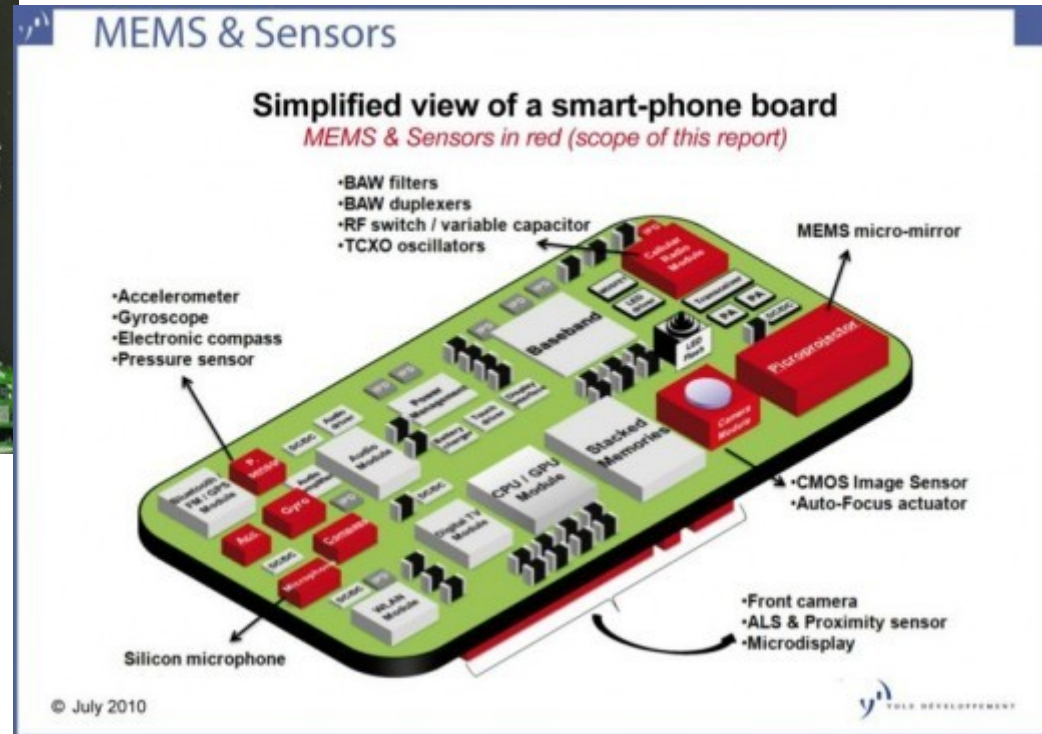


# Introducción a los SoCs: hardware

- Hardware de un smartphone: Parte principal:
  - ♦ **PCB (Printed Circuit Board - Placa de Circuito Impreso)**



En el desarrollo de hardware es importante conocer como se diseñan e implementan las PCBs





# Introducción a los SoCs: hardware

- **Modelo de Fabricación de un SmartPhone, Tablet o dispositivo tecnológico (ej: plataforma de desarrollo -arduino, raspberriPi, etc): Empresas mas importantes que participan**
  - ♦ **Empresa diseñadora del dispositivo:** Diseño final (pantalla, forma...), Componentes principales (SoC, Memoria,..otros chips..), ensamblaje de componentes, venta del Producto.  
[http://www.wikiwand.com/en/List\\_of\\_mobile\\_phone\\_makers\\_by\\_country](http://www.wikiwand.com/en/List_of_mobile_phone_makers_by_country)
  - ♦ **Empresa proveedoras (“suppliers”) de SoCs:** Diseñan los circuitos integrados típicos de los dispositivos tecnológicos (ej. el SoC) y lo comercializan:  
[http://www.wikiwand.com/en/List\\_of\\_system-on-a-chip\\_suppliers](http://www.wikiwand.com/en/List_of_system-on-a-chip_suppliers)
    - **Fabless:** Empresa diseñadora de ICs sin planta propia de fabricación. Diseñan y comercializan sus ICs
      - <http://www.wikiwand.com/es/Fabless>
      - [https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Fabless\\_semiconductor\\_companies](https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Fabless_semiconductor_companies)





# Introducción a los SoCs: hardware

- **Modelo de Fabricación de un SmartPhone, Tablet o dispositivo tecnológico (ej: plataforma de desarrollo -arduino, raspberriPi, etc): Empresas mas importantes que participan**
  - ♦ **Empresas diseñadoras de IPs:** son empresas que diseñan los componentes que forman parte de los ICs, fundamentalmente componentes de SoCs  
[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_semiconductor\\_IP\\_core\\_vendors](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_semiconductor_IP_core_vendors)
  - ♦ **Empresa Fabricante de ICs:** Fabrican los ICs diseñados para ellos y otros (modelo IDM, Integrated Device Manufacturer) o exclusivamente para otras (fabless companys) (modelo pure-play)  
[http://www.wikiwand.com/es/Planta\\_de\\_fabricaci%C3%B3n\\_de\\_semiconductores](http://www.wikiwand.com/es/Planta_de_fabricaci%C3%B3n_de_semiconductores)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Foundry\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Foundry_model)



- Componente principal del PCB de un smartphone: SoC
  - ♦ **SoC: “System on Chip”** - Circuito integrado que incorpora gran parte de los componentes de un ordenador o cualquier otro sistema informático o electrónico.
  - ♦ Habitualmente integra núcleos de **procesador**, el **sistema de gráficos**, memoria **RAM** y, posiblemente, la **ROM** también, controladores de interfaz para **USB**, tecnología inalámbrica, reguladores de voltaje, etc.







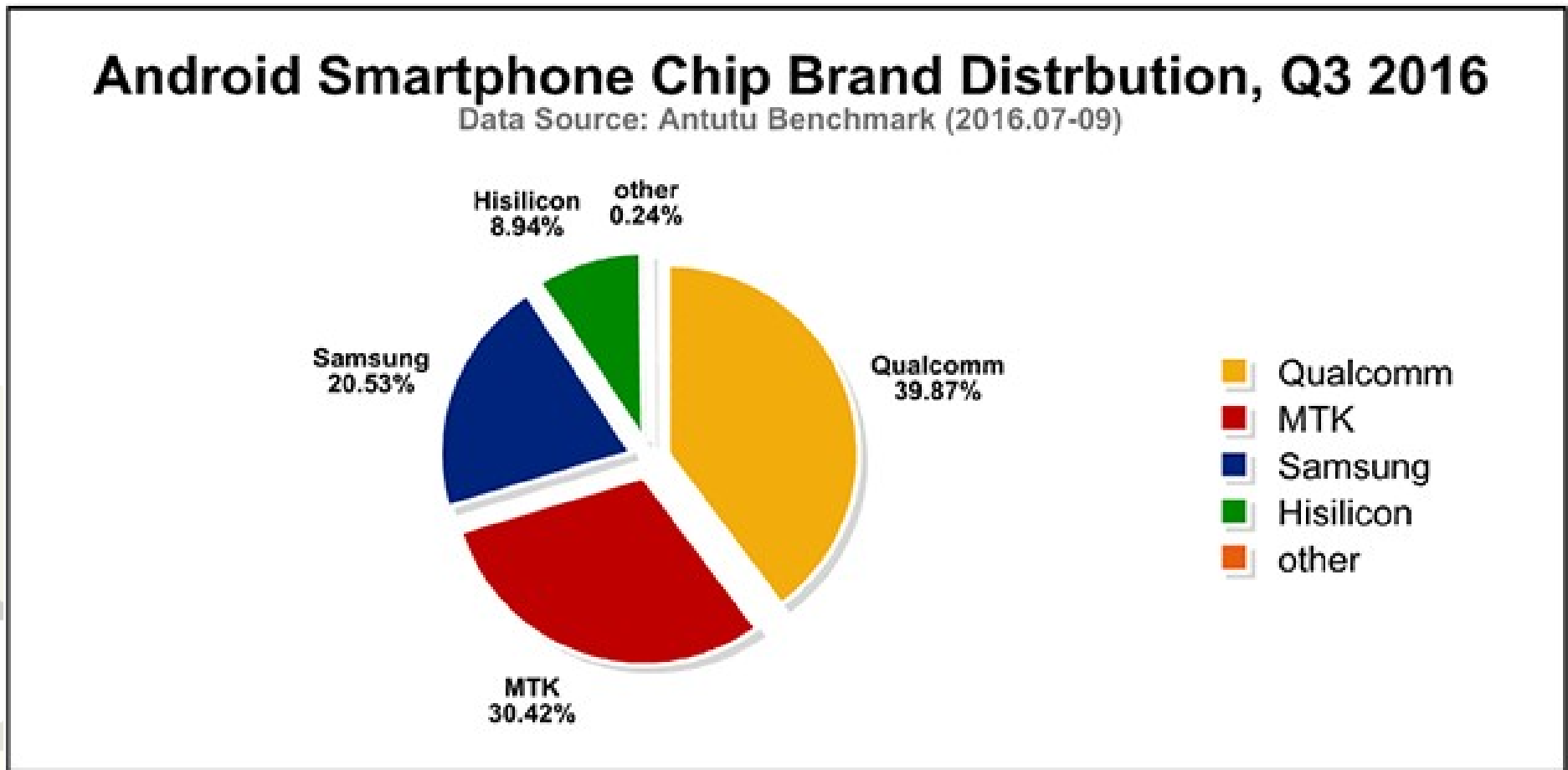
# Introducción a los SoCs: **Revisión de SoCs actuales**

- En Internet se puede encontrar mucha información sobre los Smartphone en general y sobre los SoCs que incorporan.
- Tanto en la wikipedia como en otras páginas de información o foros se puede encontrar bastante información.
- Para hacer esta breve revisión vamos a utilizar la información proporcionada por **ANTUTU** fundamentalmente porque proporciona datos comparativos de los SoCs, aunque existen muchos benchmarks para móviles, que miden diferentes características
  - <http://www.phonearena.com/phones/benchmarks>
  - ◆ <http://www.antutu.com/en/index.shtml>



# Introducción a los SoCs: **Revisión de SoCs actuales**

- Compañías fabricantes de SoCs mas relevantes
  - Chip Performance Ranking & Distribution and Market Share, 1H 2016 (<http://www.antutu.com/en/view.shtml?id=8256>)



- A estas compañías se les tiene que añadir Apple que se situaría en cuarta posición (entre samsung y Hisilicon)

# Introducción a los SoCs: **Revisión de SoCs actuales**

- Compañías fabricantes de CHIPS
  - ◆ Datos de compañías modelo PURE-PLAY

2016F Rank	2015 Rank	Company (Headquarters)	2014 Sales (\$M)	14/13 % Change	2014 Share of Total	2015 Sales (\$M)	15/14 % Change	2015 Share of Total	2016F Sales (\$M)	16/15 % Change	2016 Share of Total
1	1	TSMC (Taiwan)	24,975	25%	59%	26,439	6%	59%	28,570	8%	58%
2	2	GlobalFoundries (U.S.) <sup>1</sup>	4,355	6%	10%	5,019	15%	11%	5,645	12%	11%
3	3	UMC Group (Taiwan)	4,331	9%	10%	4,464	3%	10%	4,490	1%	9%
4	4	SMIC (China)	1,970	0%	5%	2,236	14%	5%	2,850	27%	6%
5	6	TowerJazz (Israel)	828	64%	2%	961	16%	2%	1,245	30%	3%
6	5	Powerchip (Taiwan)	1,291	9%	3%	1,268	-2%	3%	1,240	-2%	3%
7	7	Vanguard (Taiwan)	790	11%	2%	736	-7%	2%	780	6%	2%
8	8	Hua Hong Semi (China)	665	14%	2%	650	-2%	1%	700	8%	1%
9	9	Dongbu HiTek (S. Korea)	541	20%	1%	593	10%	1%	640	8%	1%
10	10	SSMC (Singapore)	480	-3%	1%	474	-1%	1%	470	-1%	1%
—	—	Others	2,130	3%	5%	2,262	3%	5%	2,485	3%	5%
—	—	<b>Total</b>	<b>42,356</b>	<b>17%</b>	<b>100%</b>	<b>45,102</b>	<b>6%</b>	<b>100%</b>	<b>49,115</b>	<b>9%</b>	<b>100%</b>

1. Includes \$740 million in 2H15 sales from IBM purchase.

Source: IC Insights, company reports



## ■ TOP-10 Performance Smartphone Chips April 2016

### Smartphone Chip Performance TOP 10 September 2016

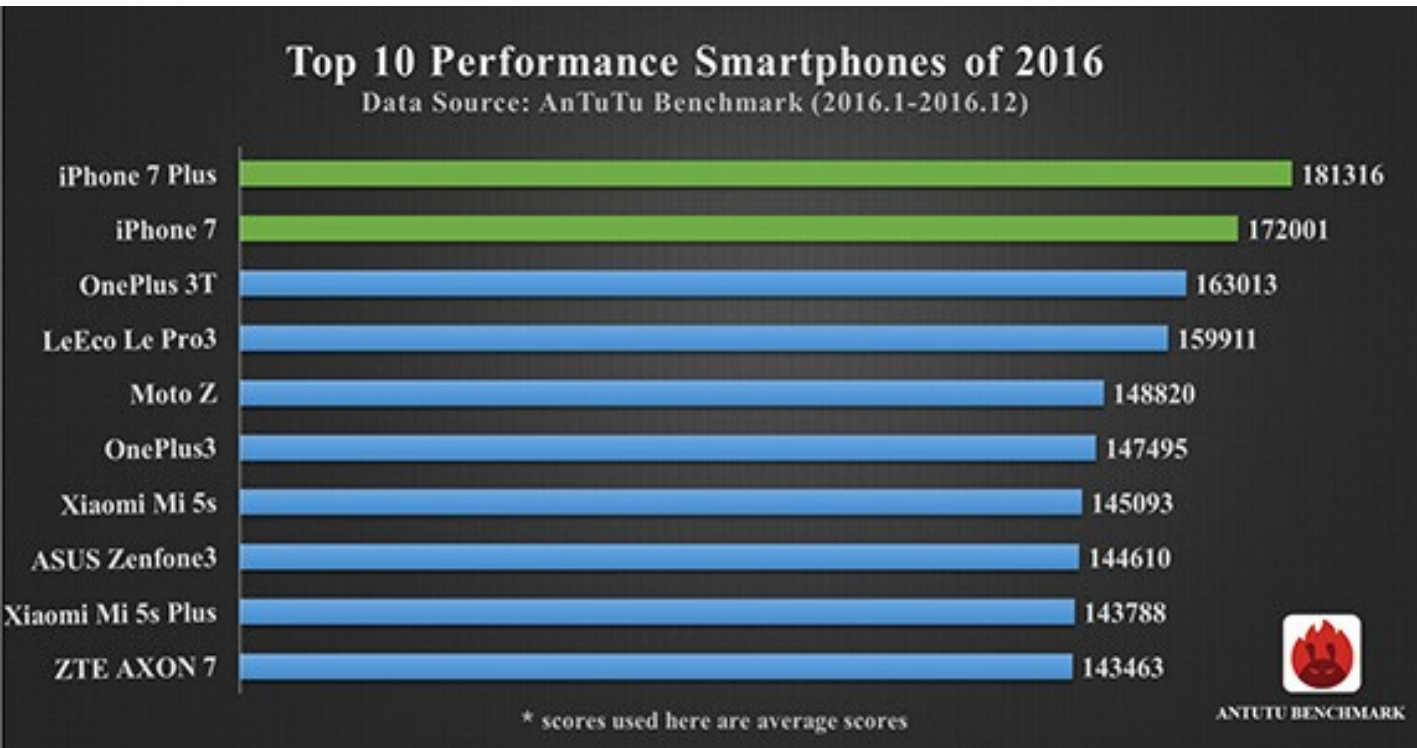
Data Source: AnTuTu Benchmark

■ average score





## ■ TOP-10 Performance Smartphone August 2016



A10

A10

Snap. 821

Snap. 821

Snap. 820

Snap. 820

Snap. 820

Snap. 820

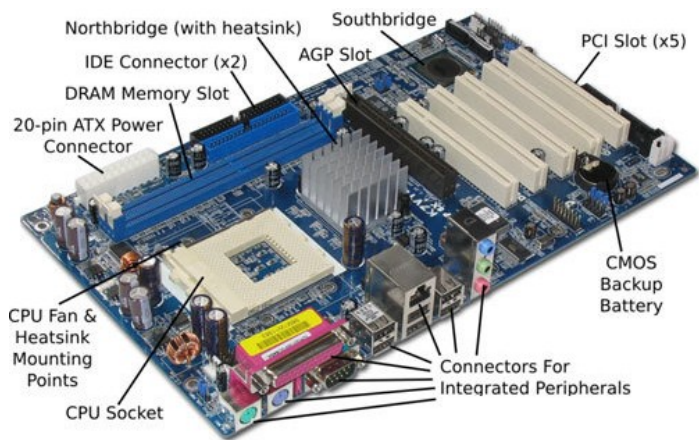
Snap. 820

Snap. 820

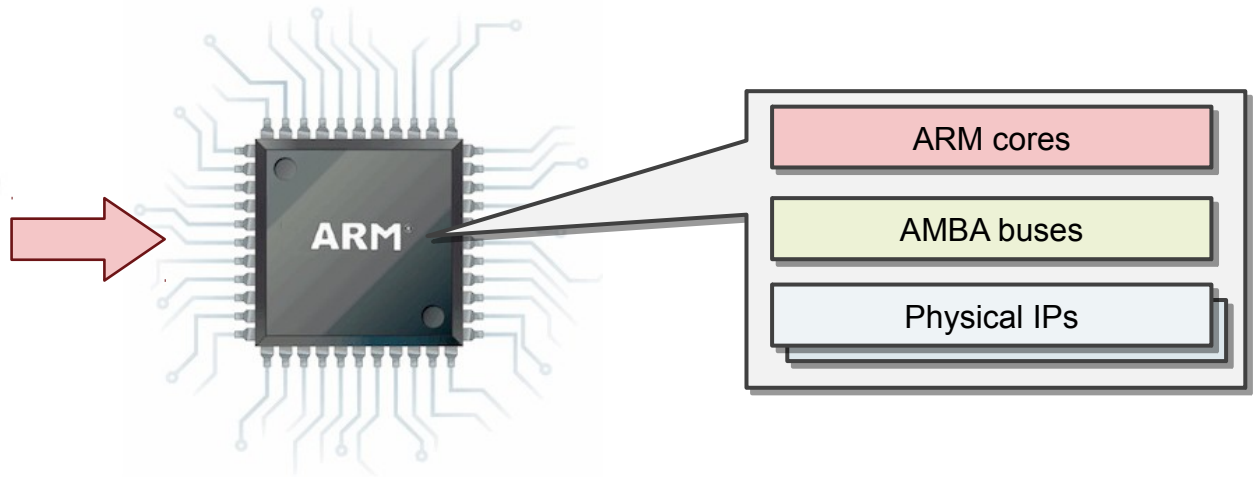


# What is a System-on-Chip

- A System-on-Chip (SoC) is an integrated circuit that packages basic computing components into a single chip.
- A SoC has most of the components to power a computer.



Mother board of a PC



System on a Chip

Picture source: <http://thecustomizewindows.com/>, <http://www.adafruit.com/>

# Advantages of SoC

---

- Higher performance benefiting from:
  - Less propagation delay since internal wires are shorter;
  - Less gate delay as internal transistors have lower electrical impedance;
- Power efficiency benefiting from:
  - Lower voltage required (typically < 2.0 volts) compared with external chip voltage (typically >3.0 volts);
  - Less capacitance;
- Lighter footprint:
  - Device size and weight is reduced;
- Higher reliability:
  - All encapsulated in a single chip package, less interference from the external world;
- Low cost:
  - The cost per unit is reduced since a single chip design can be fabricated in a large volumes.



# Limitations of SoC

---

- Less flexibility
  - Unlike a PC or a laptop, which allows you to upgrade a single component, such as RAM or graphic card, a SoC cannot be easily upgraded after manufacture;
- Application Specific
  - Most SoCs are specified to particular applications thus they are not easily adapted to other applications.
- Complexity
  - A SoC design usually requires advanced skills compared with board-level development.

# SoC Vs. Microcontroller Vs. Processor

---

- All implemented on a single chip package, differences include:
- Processor (CPU)
  - Is a single processor core;
  - Normally can be used for general purpose, but needs to be supported with Memories and IOs;
- Microcontroller (MCU)
  - Typically has a single processor core;
  - Has Memory blocks, basic IOs and other basic peripherals;
  - Mainly used for basic control purpose, such as embedded applications;

# SoC Vs. Microcontroller Vs. Processor

---

- SoC – System on Chip
  - Can have a single or multiple powerful processor cores;
  - Has larger Memory blocks, a variety of IOs, and other peripherals;
  - Normally integrated with more powerful blocks, e.g. GPU, DSP, video/ audio encoder/ decoder;
  - Usually capable of running operating systems, e.g. Windows, Linux, iOS and Android;
  - Mainly used for advanced applications, such as the main chip of a digital device (smart phones, tablets).

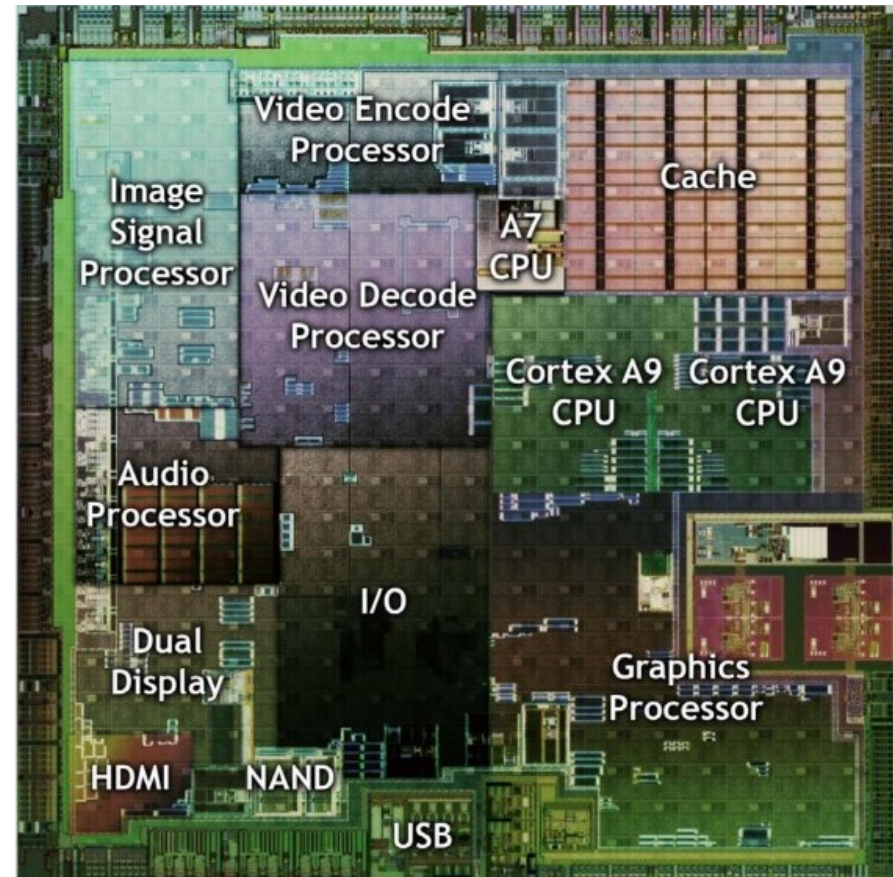
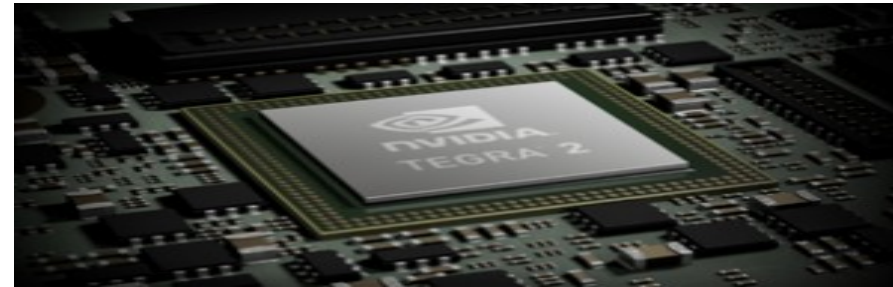
# Commercialized SoCs

---

- Benefiting from its power efficiency, SoCs have been widely used in mobile devices, such as smartphones, tablets and digital cameras.
- A number of SoCs have been developed by a large eco-system of design companies, eg-, Snapdragon™ by Qualcomm®, Tegra® by Nvidia®, Ax by Apple®, OMAP™ by Texas Instruments, etc...
- Most mobile SoCs use ARM-based microprocessors since they deliver high performance with less power consumption.

# SoC Example: NVIDIA Tegra 2

Designer	NVIDIA
Year	2010
Processor	ARM Cortex-A9 (dual-core)
Frequency	Up to 1.2 GHz
Memory	1 GB 667 MHz LP-DDR2
Graphics	ULP GeForce
Process	40 nm
Package	12 x12 mm (Package on Package)
Used in tablets	Acer Iconia Tab A500 Asus Eee Pad Transformer Motorola Xoom Motorola Xoom Family Edition Samsung Galaxy Tab 10.1 Toshiba Thrive



Picture source: <http://www.anandtech.com/>, <http://www.nvidia.com/>

# SoC Example: Apple SoC Families

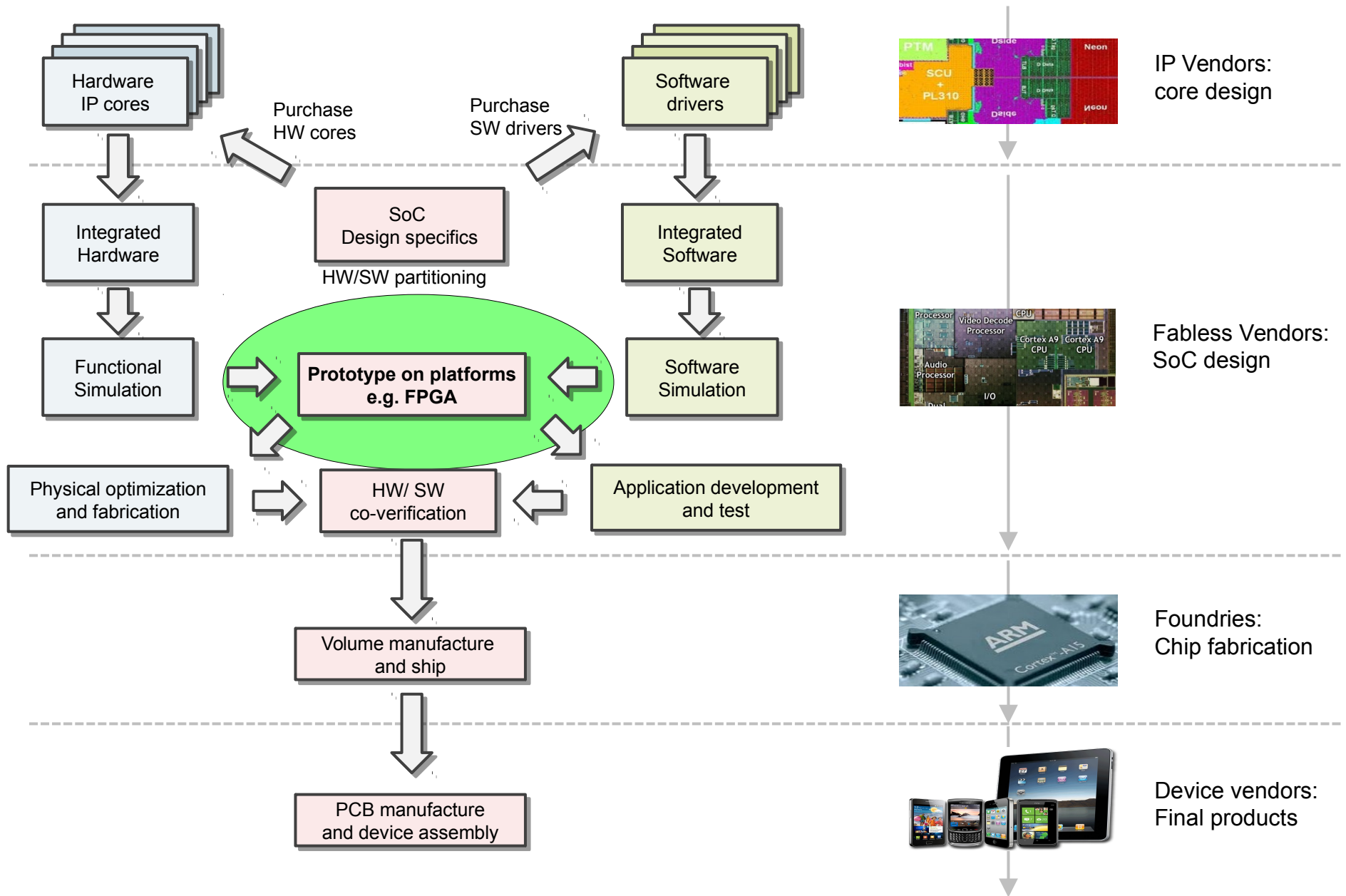
SoC	Model No.	CPU	CPU ISA	Technology	Die size	Date	Devices
N/A	APL0098	ARM11	ARMv6	90 nm	N/A	6/2007	iPhone iPod Touch (1st gen.)
A4	APL0398	ARM Cortex-A8	ARMv7	45 nm	53.29 mm <sup>2</sup>	3/2010	iPad, iPhone 4, Apple TV (2nd gen.)
A5	APL0498	ARM Cortex-A9	ARMv7	45 nm	122.6 mm <sup>2</sup>	3/2011	iPad 2, iPhone 4S
	APL2498	ARM Cortex-A9	ARMv7	32 nm	71.1 mm <sup>2</sup>	3/2012	Apple TV (3rd gen.)
	APL7498	ARM Cortex-A9	ARMv7	32 nm	37.8 mm <sup>2</sup>	3/2013	AppleTV 3
A5X	APL5498	ARM Cortex-A9	ARMv7	45 nm	162.94 mm <sup>2</sup>	3/2012	iPad (3rd gen.)
A6	APL0598	Swift	ARMv7s	32 nm	96.71 mm <sup>2</sup>	9/2012	iPhone 5
A6X	APL5598	Swift	ARMv7s	32 nm	123 mm <sup>2</sup>	10/2012	iPad (4th gen)
A7 (64-bit)	APL0698	Cyclone	ARMv8-A	28 nm	102 mm <sup>2</sup>	9/2013	iPhone 5S, iPad mini (2nd gen)
	APL5698	Cyclone	ARMv8-A	28 nm	102 mm <sup>2</sup>	10/2013	iPad Air



Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/Apple\\_\(system\\_on\\_chip\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Apple_(system_on_chip)), as of 10/2013



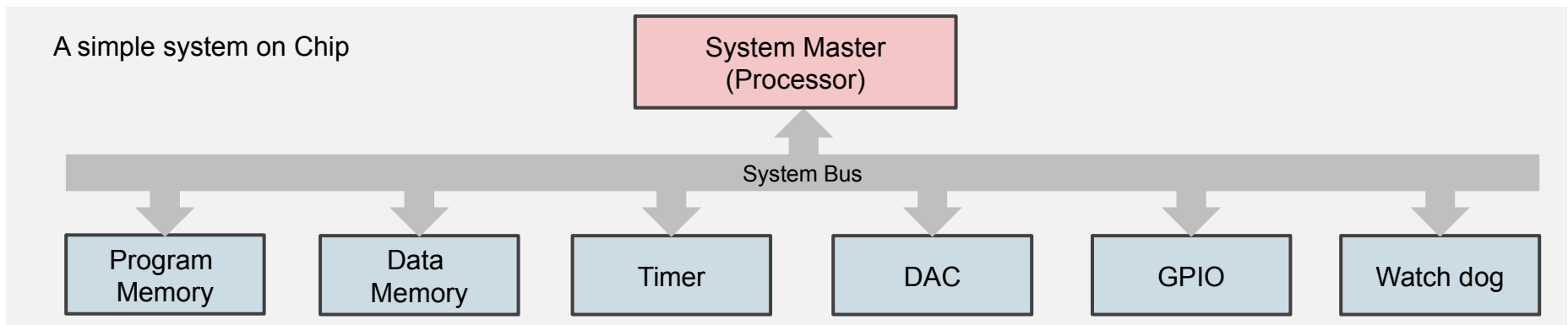
# SoC Design Flow

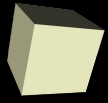




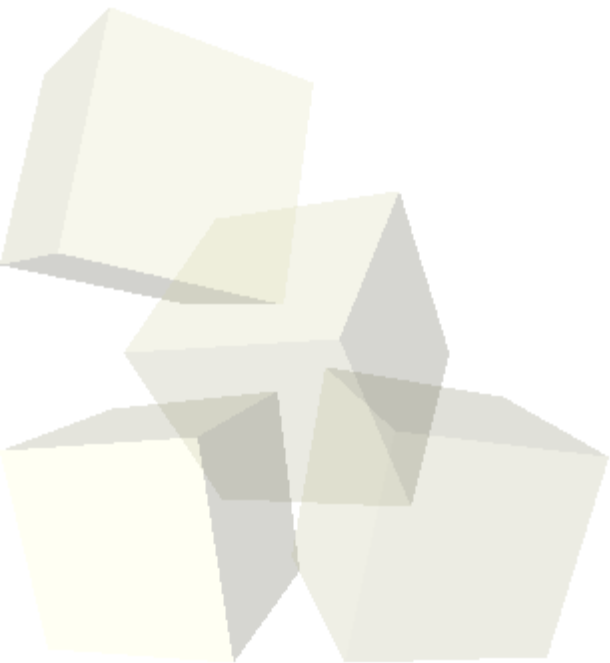
# What is inside of a SoC

- The basic components of a SoC include:
  - A system master, such as a microprocessor or DSP;
  - System peripherals, such as Memory block, timer, external digital/ analog interfaces;
  - A system bus that connects master and peripherals together using a specific bus protocol.
- More sophisticated modules are integrated in modern SoCs, such as multicores, DSPs, GPUs, and multiple buses connected by bus bridges.





- Introducción a los SoCs
  - ◆ (Tomado del Curso “*SoC Design/Microprocessors in FPGAs*” del programa Universitario de ARM)
- **SoC sobre FPGAs**
- Contenidos de la Asignatura SoCBASA





- Para prototipado y verificación del diseño de SoCs:
  - ♦ [http://www.eetimes.com/author.asp?doc\\_id=1326289](http://www.eetimes.com/author.asp?doc_id=1326289)
- Para aplicaciones que no requieran de una gran tirada de SoCs
  - ♦ <https://www.prl.res.in/~rajiv/planexnews/newarticles/Volume%20-6,%20Issue-1.17-21.pdf>
- Para el entorno académico:
  - ♦ Permite realizar ejemplos de diseño de SoC y testarlos on-chip
  - ♦ [https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece5760/FinalProjects/f2008/djd36\\_fac24\\_wy47/djd36\\_fac24\\_wy47/](https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece5760/FinalProjects/f2008/djd36_fac24_wy47/djd36_fac24_wy47/)
- Evolución de la tecnología en la implementación de FPGAs y FPGAs + ASIC



- A grandes rasgos:
  - ♦ Diseño de la arquitectura del sistema: microprocesador y periféricos
  - ♦ Desarrollo del software de aplicación específica que va a ejecutarse (sobre SO o modo stand-alone)
  - ♦ Diseño de periféricos de propósito específico para la aplicación. Incorporar el periférico al Sistema global
  - ♦ Si hay S.O.: Desarrollo del driver para el nuevo periférico.
  - ♦ Síntesis e implementación sobre FPGA
  - ♦ Testado del sistema sobre placas de desarrollo
  - ♦ Diseño e implementación del PCB final del SE



- Dos metodologías diferentes para el diseño de SoC en FPGAs:
  - ♦ Con soporte del fabricante de la FPGA
  - ♦ SoC desarrollados por otros que no son el fabricante
- Con soporte del Fabricante:
  - ♦ Para facilitar el proceso de diseño, el fabricante pone a disposición de los diseñadores entornos de desarrollo tanto hardware como software (ej. XILINX: EDK (VIVADO), SDK)
  - ♦ Basada en microprocesadores propios del fabricante o licenciados para su uso en las FPGAs
  - ♦ Los Microprocesadores pueden ser soft-core o hard-core
    - Soft-core: Se implementan empleando la lógica programable del dispositivo, codificados en HDLs
    - Hard-core: están implementados en la pastilla de silicio en la FPGA
  - ♦ Soft-Core: XILINX: MicroBlaze; ALTERA: Nios; LATTICE: mico32
  - ♦ Hard-Core: Power-PC , ARM (Xilinx, Altera)



- Evolución en la alternativa Hard-core:
  - ◆ Diseño mixtos SoC - FPGA: Chips que incluyen un SoC generalmente basado en ARM
    - XILINX: Familia Zynq
      - <http://www.xilinx.com/products/silicon-devices/epp/zynq-7000/index.htm>
    - ALTERA: SoC FPGA
      - <http://www.altera.com/devices/processor/soc-fpga/proc-soc-fpga.html>
  - ◆ Cambio en el concepto de diseño del SOC por parte de los fabricantes de FPGAS:
    - Estos chips son realmente SoCs operativos (implementa uno o dos cores de ARM) con toda una funcionalidad completa. Pero añaden un espacio de lógica programable conectado al SoC a través del bus del sistema.
    - <http://www.intel.es/content/www/es/es/fpga/devices.html>
    - <http://searchdatacenter.techtarget.com/es/foto-articulo/450304062/IDF-2016-se-enfoca-en-conectarlo-todo-y-hacerlo-inteligente/4/IoT-tomara-impulso-con-FPGA>



- SoC desarrollados por otros que no son el fabricante
  - ♦ Son soft-cores, basados en microprocesadores abiertos, o cerrados
  - ♦ Generalmente estos SoCs están preparados para que puedan implementarse en cualquier tecnología: ASIC o FPGA
  - ♦ La plataforma FPGA es utilizada generalmente por los desarrolladores de estos SoC para realizar pruebas, modificaciones ejemplos de diseño y buen funcionamiento a un coste relativamente bajo comparado con el coste de fabricación de ASIC.
  - ♦ Ejemplo de SoC cerrado:
    - ARM University Program:  
<http://www.arm.com/support/university/educators/soc-fpga/index.php>





- SoC desarrollados por otros que no son el fabricante
  - ♦ **SoCs abiertos:**
    - Basados en microprocesador **OPENRISC**:
      - <http://openrisc.io/>
      - Información antigua: <http://opencores.org/or1k/ORPSoC>
      - Repositorios actuales: <https://www.github.com/openrisc>
    - Basados en microprocesador **LEON (ARQUITECTURA SPARC V8)**:  
<http://www.gaisler.com/index.php/products/processors>
      - **GRLIB**: <http://www.gaisler.com/index.php/downloads/leongrplib>
    - Basado en procesador **ZPU**: <http://opensource.zylin.com/zpu.htm>
      - **ZPUino**,  
<http://papilio.cc/index.php?n=Papilio.ZPUinoIntroduction>  
<http://www.alvie.com/zpuino/>
  - ♦ **Ventajas:** se podrían implementar en cualquier plataforma
  - ♦ **Inconveniente:** las herramientas de desarrollo no están bien preparadas (alguna excepción en el caso de procesadores soportados por alguna empresa)

# Contenidos de la Asignatura SoCBASA

## ■ SoC Basados en Sistemas Abiertos

- ♦ Ejemplo de implementación de plataformas abiertas para SoC:

- **Plataforma abierta lowRISC:**

<http://www.lowrisc.org/>

*“lowRISC is creating a fully open-sourced, Linux-capable, RISC-V-based SoC, that can be used either directly or as the basis for a custom design. We aim to tape out our first volume chip this year.”*

- **RISC-V:** <http://riscv.org/>

*“(pronounced “risk-five”) is a new instruction set architecture (ISA) that was originally designed to support computer architecture research and education and is now set become a standard open architecture for industry implementations under the governance of the RISC-V Foundation. RISC-V was originally developed in the Computer Science Division of the EECS Department at the University of California, Berkeley.”*

# Organización de la Asignatura SoCBASA

- Metodología docente principal: Laboratorio.
  - ♦ Desarrollo de ejemplos prácticos de diseño e implementación
  - ♦ Utilización de plataformas hardware basadas en FPGAs:
- Evaluación de la asignatura:
  - ♦ Asistencia a las clases
    - Comprobación del desarrollo del trabajo propuesto en las sesiones
  - ♦ Se podrá valorar trabajos desarrollados fuera de las sesiones de clases
  - ♦ Test la ultima sesión de clases
  - ♦ Los dos últimos aspectos servirán para graduar la nota
- Documentación y seguimiento de la asignatura:
  - ♦ [www.dte.us.es](http://www.dte.us.es) --> Docencia → Máster Universitario en Ingeniería de Computadores y Redes → SoC Basados en Sistemas abiertos (SOCBASA)