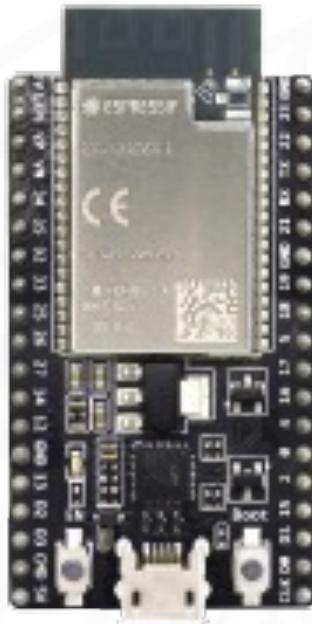




UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

# **ARQUITECTURA INTERNA DEL NODO IoT**

# Placas, módulos, SoCs, *cores*



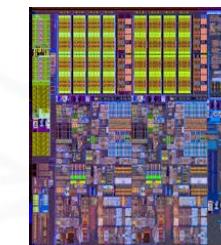
Placa de desarrollo



Módulo



System  
On Chip  
(SoC)



*cores*

# Placa de desarrollo (devKit)

## □ Placa de desarrollo (placa de prototipado, devKit....)

- Permite la conexión de diversos módulos o SoCs
- Puede exponer ciertas conexiones del SoC a través de pines
- Puede incluir botones, LEDs, puerto USB, memoria FLASH...
- Puede facilitar la programación y depuración del dispositivo



**ESP32 DevKitC**

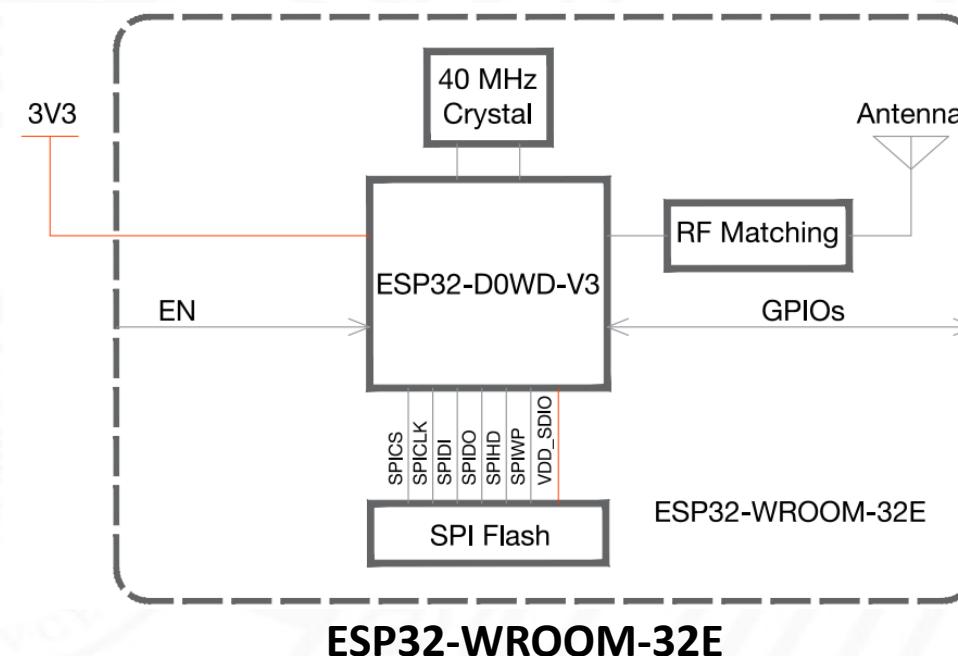
<https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp32-devkitc>

# Módulo

## ❑ Módulo

- Soporta varios modelos de SoC
- Puede incluir soporte para memoria FLASH, GPIO, antena
- Cristal de cuarzo para señal de reloj

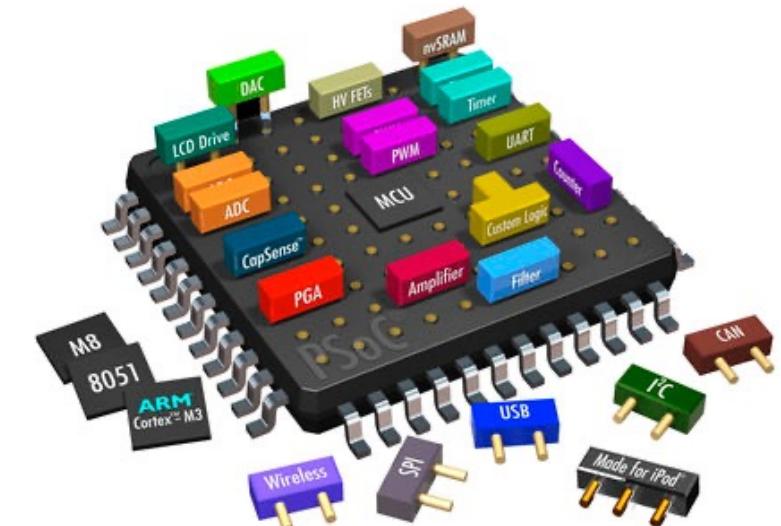
## ❑ En ocasiones, directamente se usa el término SoC para todo



# System-on-chip

□ *System-on-chip* (SoC) es un único chip que integra...

- Una o más CPUs y otros núcleos de cómputo
- Memoria, generalmente NAND / NOR Flash
  - En ocasiones, almacenamiento
- Múltiples dispositivos para E/S (entrada/salida)
  - ADC / DAC
  - Controladores para GPIO
  - Generadores de PWM
  - Interfaces con múltiples buses: I2C, SPI, USB, CAN...



## □ Arquitecturas

- Intel – AMD → x86 - x64 (CISC)
- ARM → ARMv8, ARMv9 (RISC)
- RISC-V → RV32I, RV32E, RV64I...

## □ Cores

- Intel
  - Skylake, Tremont, Golden Cove (core Alder Lake)
- ARM
  - ARMv8 → Cortex-A55, Cortex-X1, Cortex-M3....
  - ARMv9 → Cortex-A510...
- RISC-V
  - Avispado (SemiDynamics)
  - Freedom (SiFive)
  - CV32E40P (OpenHW Group)
  - SweRV EH2 (Western Digital)
  - .....

- Existe un gran número de compañías compitiendo en este sector
    - La inversión / infraestructura no es tan grande como para un diseñador (y fabricante) de *CPUs*
    - Generalmente, *combinan* piezas (CPUs, GPUs, interfaces...) que consideran *cajas negras*
    - Artículo sobre algunas de las compañías relevantes
      - <http://www.anandtech.com/show/8389/state-of-the-part-soc-manufacturers>
      - <https://www.bisinfotech.com/top-10-system-on-chip-soc-manufacturers-of-2020>
    - Los diseñadores de IP cores (ARM, Imagination) cada vez entran más en ese sector
    - Sin llegar a diseñar SoCs completos, ofrecen herramientas a sus clientes que facilitan el diseño de SoC *custom*
- <https://www.arm.com/develop/custom-system-on-chips>

## STMicroelectronics (Suiza)

- Una de las mayores empresas del sector, con una amplia gama de productos en múltiples sectores
- <http://www.st.com/en/secure-mcus.html>
- <http://www.st.com/en/microcontrollers.html> (con la muy usada familia STM32)

### Ultra-Low-Power

#### STM32L4 series – Ultra-Low-Power and Performance with DSP, FPU and ART Accelerator™

80 MHz Cortex-M4 CPU	Up to 1-Mbyte dual-bank Flash	Up to 320-Kbyte SRAM	USB 2.0 OTG FS	2x 16-bit advanced MC timer	DFSDM Op-amps comp.	Quad-SPI FSMC SDIO	SHA-256 AES-256 TRNG	2x SAI 2x CAN Up to LCD 8x40
----------------------------	--	----------------------------	----------------------	-----------------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	---------------------------------------



#### STM32L1 series – Ultra-Low-Power

32 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 512-Kbyte Flash	Up to 80-Kbyte SRAM	Up to 16-Kbyte EEPROM	USB 2.0 FS Device	Op-amps comp.	FSMC SDIO	AES-128	Up to LCD 8x40
----------------------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------	--------------	---------	-------------------



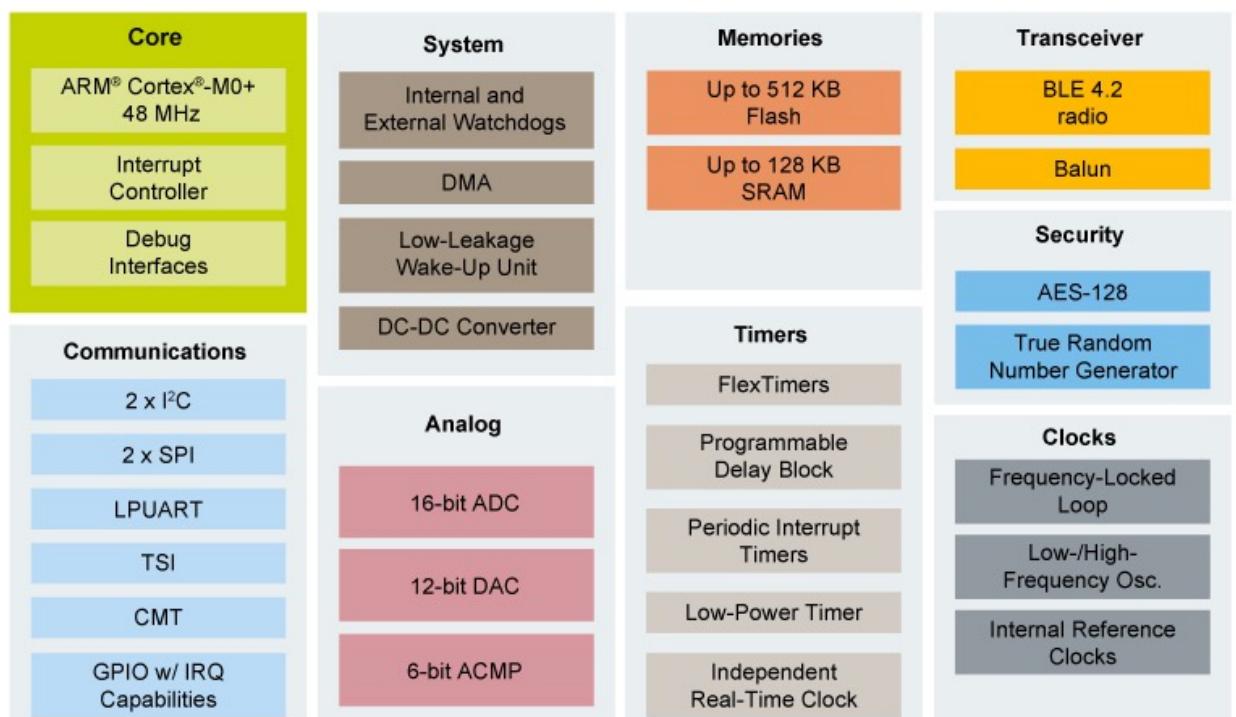
#### STM32L0 series – Ultra-Low-Power

32 MHZ Cortex-M0+ CPU	Up to 192-Kbyte SRAM	Up to 20-Kbyte SRAM	Up to 6-Kbyte EEPROM	USB 2.0 FS device Crystal less	DAC comp.	LP ADC 12-/16-bit	TRNG AES-128	LCD 8x48 / 4x52
-----------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	---	--------------	----------------------	-----------------	--------------------



## NXP (Holanda)

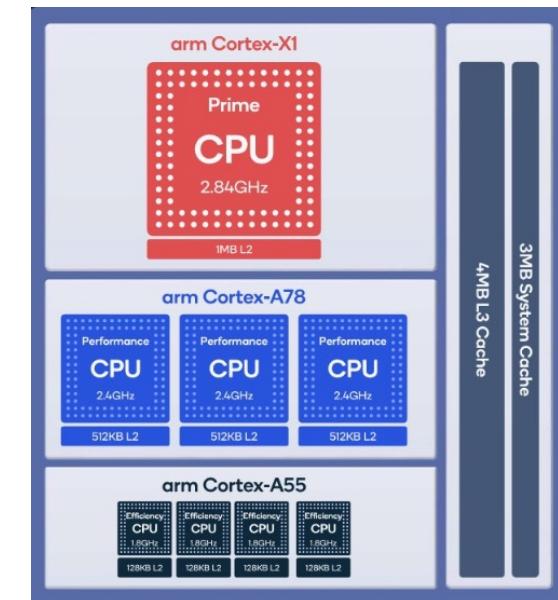
- Antes Philips, otro de los grandes en Europa
- <http://www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/arm-based-processors-and-mcus:ARM-ARCHITECTURE>
- <http://www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/power-architecture-processors:POWER-ARCHITECTURE> basados en cores Power



*Kinetis W series*

## Qualcomm

- Fabricante de Snapdragon, con cores ARM
  - Ahora también diseña sus propios cores (Krait) con ISA ARM
  - Ahora Kryo, semi-custom a partir de ARM Cortex
- <https://www.qualcomm.com/products/embedded-processors>

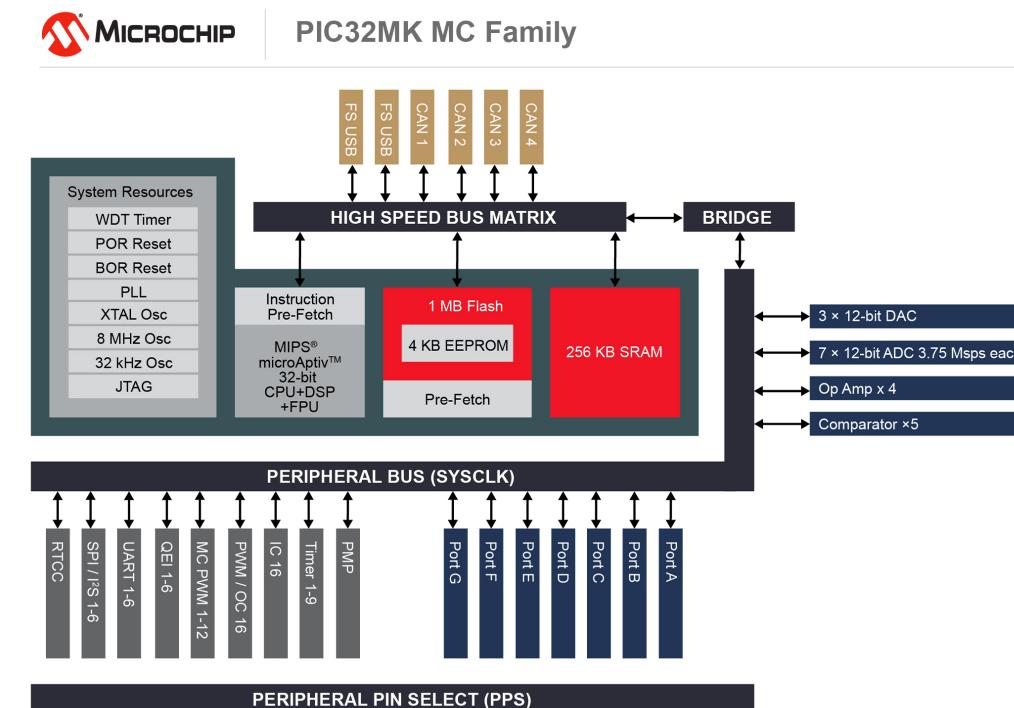


Qualcomm Kryo 680 CPU

## Microchip

- Comercializa cores de ARM y también MIPS32
- ATMEL fue absorbida por Microchip en 2016
  - ATMEL → familia AVR → Atmega (Arduino)

<http://www.microchip.com/design-centers/32-bit/architecture/pic32mk-family>



## Samsung

- Diseña SoCs basados en ARM y también sus propios cores (*Exynos M1-5*) con ISA ARM
  - Aunque ha vuelto a usar diseños ARM...
- Como Intel, fabrica sus propios chips
- <https://semiconductor.samsung.com/processor/>



Exynos 2100 5G SoC



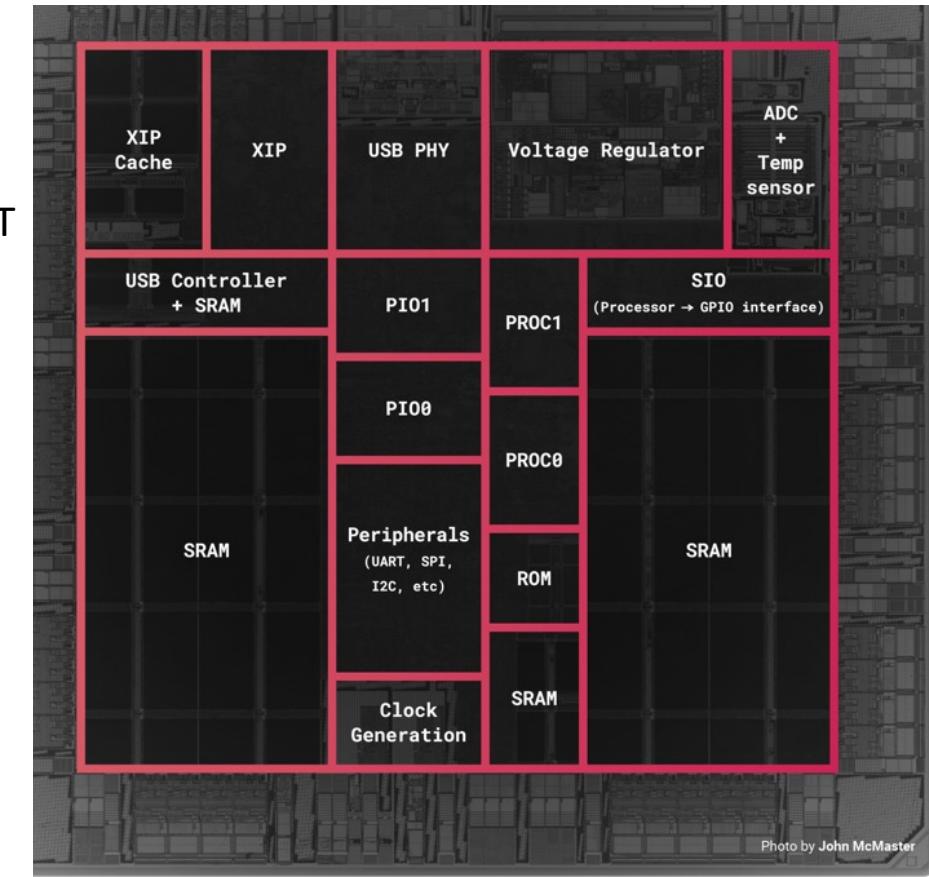
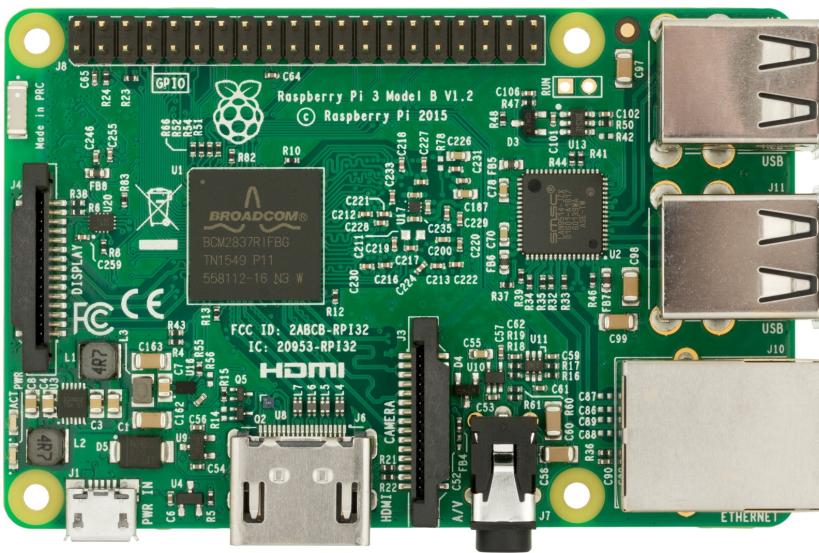
- Broadcom
  - Usado en Raspberry Pi
  - <https://www.broadcom.com/>
- Marvell
  - <https://www.marvell.com/>
- Mediatek
  - <https://www MEDIATEK.com/>
- Allwinner
  - Comercializan la Banana Pi
  - <http://www.allwinnertech.com/>
- Espressif
  - Más orientado a IoT que los anteriores (p.e. su famoso ESP32)
  - <http://espressif.com/>
- Silicon Labs
  - <https://www.silabs.com/>
- Infineon
  - <https://www.infineon.com/>

- Finalmente, los SoC se integran en una placa (PCB) que incluye más componentes: memoria flash, sensores, puertos con conectores estándar...
- Muchos de los fabricantes de SoC también comercializan placas de desarrollo
  - Son placas cuyo diseño y componentes nos vienen dados, pero (en general) con soporte del fabricante
  - Son muy útiles para el desarrollo de prototipos iniciales
  - Si finalmente, ninguna placa de desarrollo del mercado se adapta del todo a nuestras necesidades, se deberá diseñar y fabricar nuestro propio PCB reutilizando el SoC y otros componentes



# Raspberry Pi

- Actualmente en su versión 4B
    - SoC de Broadcom BCM2711
    - Quad core ARMv8 Cortex A7264-bit SoC @ 1.5 GHz
    - 1 GiB - 8 GiB de memoria
    - Consumos por encima de los 4W
  - Existe la versión Raspberry Pi Pico, más adecuada para IoT
    - SoC RP2040
    - Dual core ARM Cortex-M0+
    - Hasta 16MB de flash
    - Consumos menores de 300mW
  - Es posible instalar sistemas operativos *clásicos*



Fuente: <https://www.raspberrypi.com/products/rp2040/>

## Arduino

- No hay sólo una placa, sino toda una familia de diversos fabricantes
- Comparten un entorno de desarrollo basado en *Processing* y un zócalo que permite instalar más placas (*shields*)
- *Se programa en Wiring* (sintaxis C/C++)
- Algunos modelos se basan en micros de Atmel y otros en cores de ARM
- Gran comunidad de *makers* con numerosos ejemplos



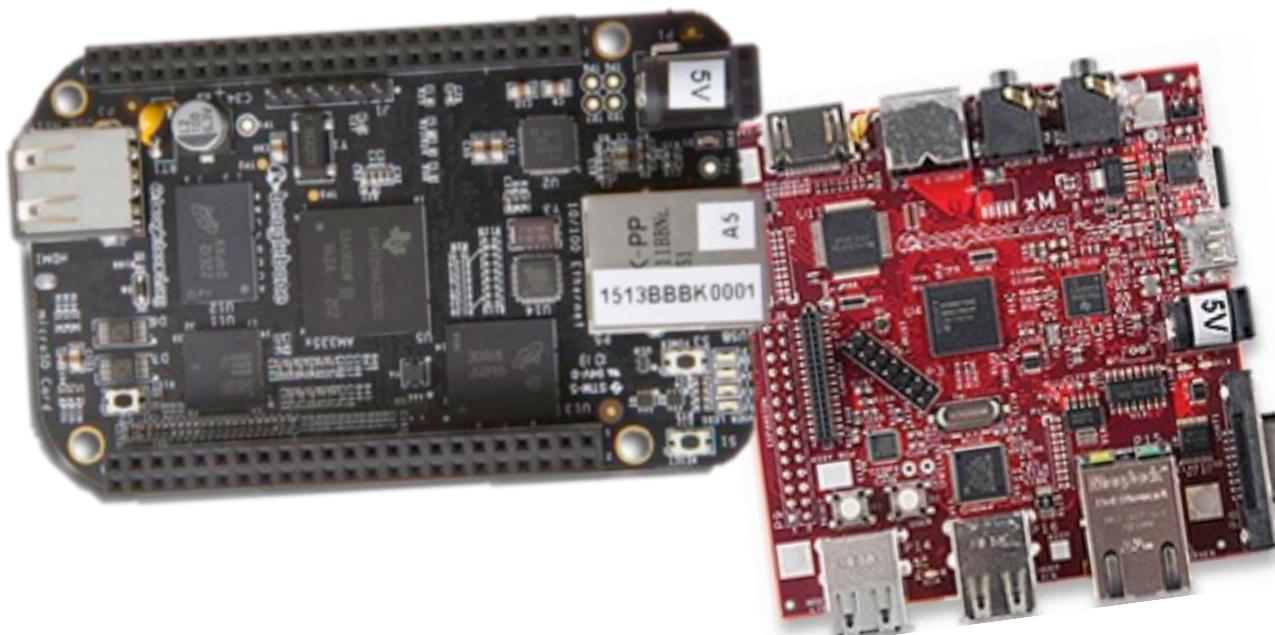
## Beagleboard

### – Beaglobone Black

- Similar a Raspberry Pi, pero con mayor conectividad
- SoC de Texas Instruments (Sitara AM335x)
- Core ARM Cortex-A8 1 GHz
- 2x 46 pines para conectividad externa

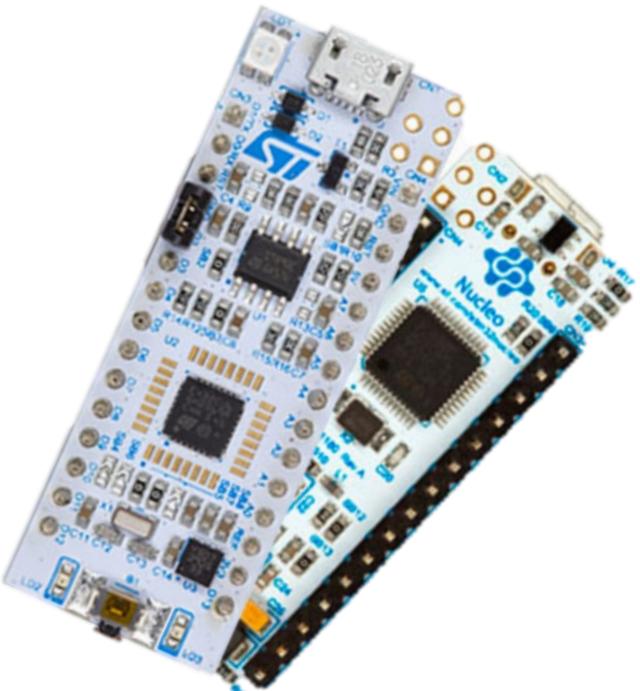
### – Serie Beagleboard

- Originalmente SoC OMAP3530 de Texas Instruments
- Actualmente también SoC de la serie Sitara, pero más potente



## STMicroelectronics

- Importante compañía europea en el sector de semiconductores
- Amplia gama de productos (sensores, analógica...)
- En el área de microcontroladores, enfocada a IoT y automoción
- Como vimos, también tienen sus SoCs basados en cores ARM



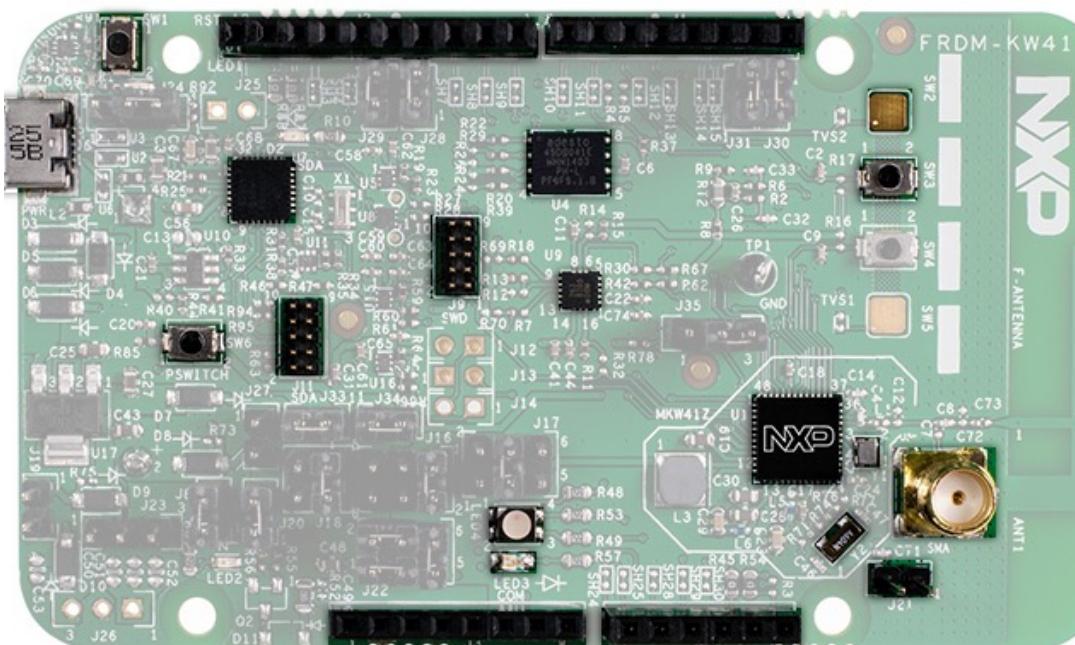
**STM32 Nucleo Dev. Board**



**STM32 Discovery Kit**

## NXP

- Antigua división de Philips dedicada a microelectrónica
- Mercado similar al de ST
- SoCs basado en ARM y Power



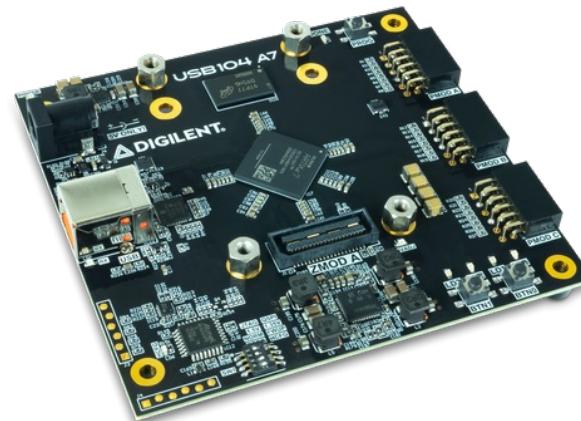
**Freedom Development Kit**

## Digilent

- Compañía de ingeniería electrónica que forma parte de National Instruments
- Empezó como un proyecto de 2 profesores para impartir sus clases
- OEM de Xilinx, Analog Devices,..



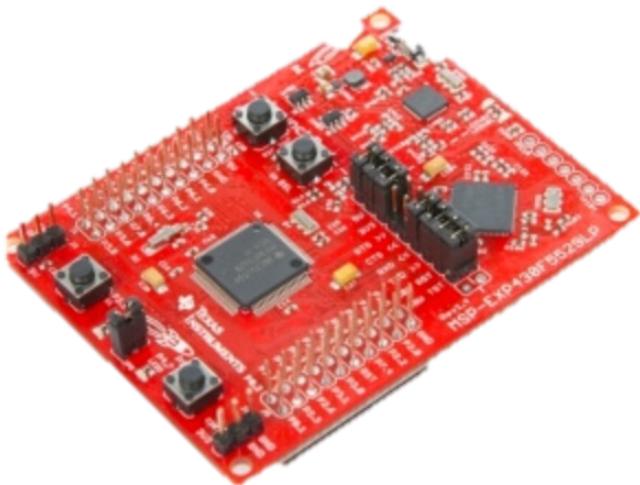
**Zybo Zynq ARM/FPGA**



**Artix-7 FPGA Dev Board.**

## Texas Instruments

- Un gigante de la industria de los semiconductores
- Domina el mercado de los DSP, pero hace años comenzó a integrar cores ARM en sus SoC
  - Sus compiladores para DSP son una referencia
- La familia TI OMAP se ha usado en los móviles de alta gama hasta el paso de Apple y Samsung al mundo SoC
- Su incursión en el mundo IoT comenzó con el SensorTag



**MSP Launchpad Dev. Kit**

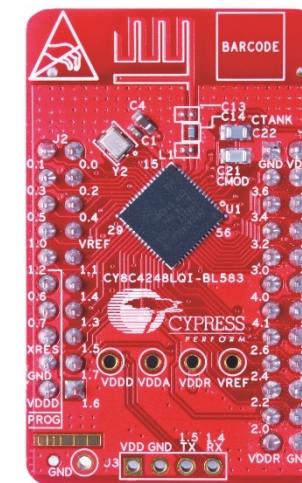


**SensorTag**

- Nordic
  - Fabricante de SoC de bajo consumo y conectividad
  - Basados en ARM; compatible con entorno mbed



- Cypress → ahora Microchip
  - Cores de ARM junto con tecnología programable propia
  - Línea PSoC con HW programable (*analog blocks*, enrutado...)



- PyCom
  - Comercializa placas basadas en el ESP32 de Espressif
  - Placas con conectividad WiFi, Lora y Sigfox (WiPy, LoPy, SiPy)
  - Entorno de programación en uPython



- Algunos enlaces útiles para comparar/buscar placas (no necesariamente para IoT)
  - [Postscapes \(específica para IoT\)](#)
  - <http://www.eurotech.com/>
  - [Arrow](#)
  - <https://www.board-db.org/>
  - [Adafruit](#)
  - [Wikipedia](#)
  - [Allaboutcircuits](#)

- Como hemos visto, hay una enorme variedad de placas y SoCs en el mercado, que puede dificultar la elección para nuestro proyecto concreto
- Algunos aspectos que conviene tener en cuenta:
  - Conectividad del sistema (SoC – Placa).
    - ¿Qué buses hay para conectar sensores u otros dispositivos?
    - ¿Qué interfaces de red? (WiFi, Bluetooth...)
  - Potencia y energía consumida. Modos de bajo consumo disponibles.
    - ¿Corrientes máximas que circulan? ¿Autonomía?
  - Modos de alimentación permitidos (batería, supercap, paneles solares)
    - ¿Cómo serán las condiciones del entorno del nodo?
    - *Energy harvesting*
  - Funcionalidad del módulo Clock/RTC para mantener la temporización
  - Sistemas operativos disponibles (con BSP portado para SoC – placa)
  - Entornos de desarrollo disponibles
  - Analizar la aplicación/dominio objetivo: ¿qué potencia de cálculo es necesaria? ¿Cuánta memoria? ¿Almacenamiento?
- He aquí una buena guía al respecto