

# Arquitecturas de Sistemas Embebidos

---

SISTEMAS EMBEBIDOS - GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA



# Contenidos

---

1. Introducción
2. Procesadores de Propósito General
3. Procesadores de Propósito Específico
4. Arquitecturas
5. Consideraciones de Diseño
6. Arquitecturas de Sistemas IoT



## Introducción

Procesadores de  
Propósito General

Procesadores de  
Propósito Específico

Arquitecturas

Consideraciones de  
Diseño

Arquitecturas de  
Sistemas IoT

# Introducción



# Introducción

---

La **arquitectura** del sistema embebido define la estructura del sistema, así como la funcionalidad que ofrece.

Diferentes tipos de distribución hardware

Microprocesador, microcontrolador, DSP o DSC

SoC - System On Chip

Computadores o PCs

FPGA - Field Programmable Gate Array

- Utilizados en el prototipado de circuitos integrados específicos.

Diferentes tipos de procesador

Broadcom - Raspberry Pi

ARM - Advanced RISC Machine (ARM Cortex-M0+ Arduino)

Xtensa - CPU de Spresiff (ESP32 Tensilica Xtensa LX6)



# Introducción

---

La **estructura** del sistema embebido describe los componentes que lo forman y las interrelaciones entre los mismos.

Capa de hardware (El dispositivo físico)

Capa de firmware (El código diseñado por el fabricante)

Capa de sistema operativo (FreeRTOS)

Capa de middleware (Herramientas de programación)

Capa de aplicación (Vuestro programa)



# Introducción

---

Evolución de las capacidades de Procesamiento y de Comunicación de los Sistemas Embebidos

Buscar un compromiso entre las prestaciones del dispositivo y sus requerimientos de funcionamiento: microcontroladores, procesadores.

Procesadores para Sistemas Embebidos:

- General Purpose Processor - Procesadores de Propósito General (GPP)
- Procesador Especializado - Application Specific Instruction Processor (ASIP)

Hechos a medida para un uso particular o específico.

Implementación:

- Application Specific Integrated Circuits (ASIC)
- Field Programmable Gate Arrays (FPGA)



Introducción

Procesadores de  
Propósito General

Procesadores de  
Propósito Específico

Arquitecturas

Consideraciones de  
Diseño

Arquitecturas de  
Sistemas IoT

# Procesadores de Propósito General



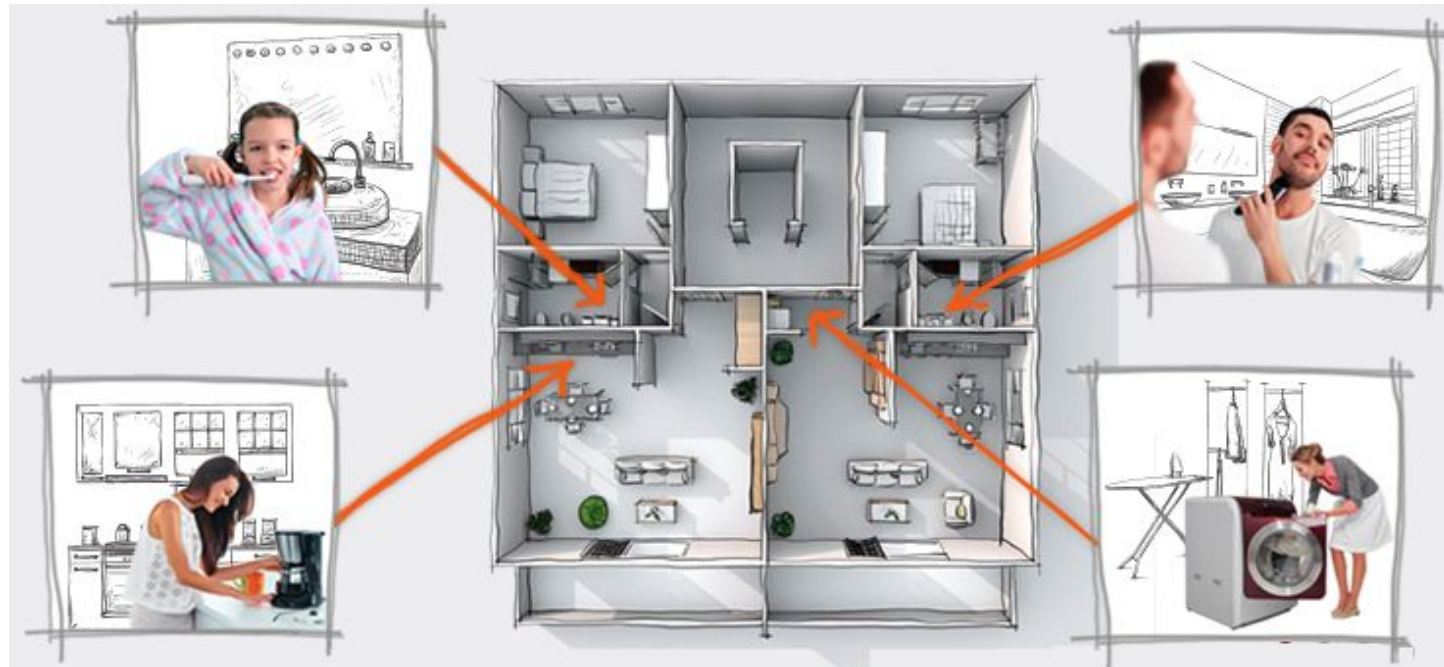
# Procesadores de propósito General

Un procesador de propósito general es un microprocesador que está diseñado para manejar una amplia variedad de tareas

Los procesadores de propósito general son muy versátiles y suelen ser utilizados para sistemas embebidos dirigidos a:

1. Sistemas de control
2. Procesamiento de datos
3. Domótica
4. Electrodoméstico
5. Robots domésticos

Basados en la arquitectura de Von Neumann o en RISC





# Procesadores de propósito General

---

Ventajas de los procesadores de propósito general en sistemas embebidos

1. Versatilidad
2. Disponibilidad en el mercado
3. Bajo costo
4. Facilidad de programación y configuración

Limitaciones y desventajas de los procesadores de propósito general en sistemas embebidos

1. Consumo de energía
2. Rendimiento limitado en comparación con los procesadores especializados
3. Incapacidad para manejar tareas específicas de manera eficiente



# Procesadores de propósito General

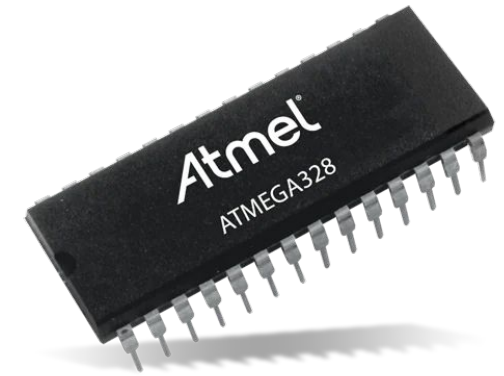
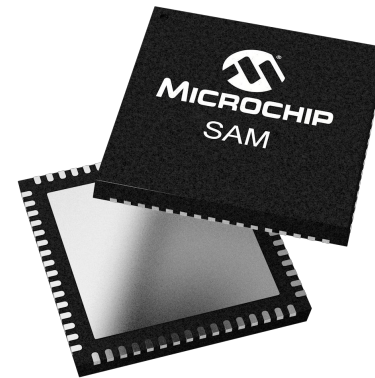
Algunos fabricantes de estos procesadores son:

ARM: serie Cortex-A y serie Cortex-M (Arduino)

Intel: Procesadores x86 en entornos industriales y médicos

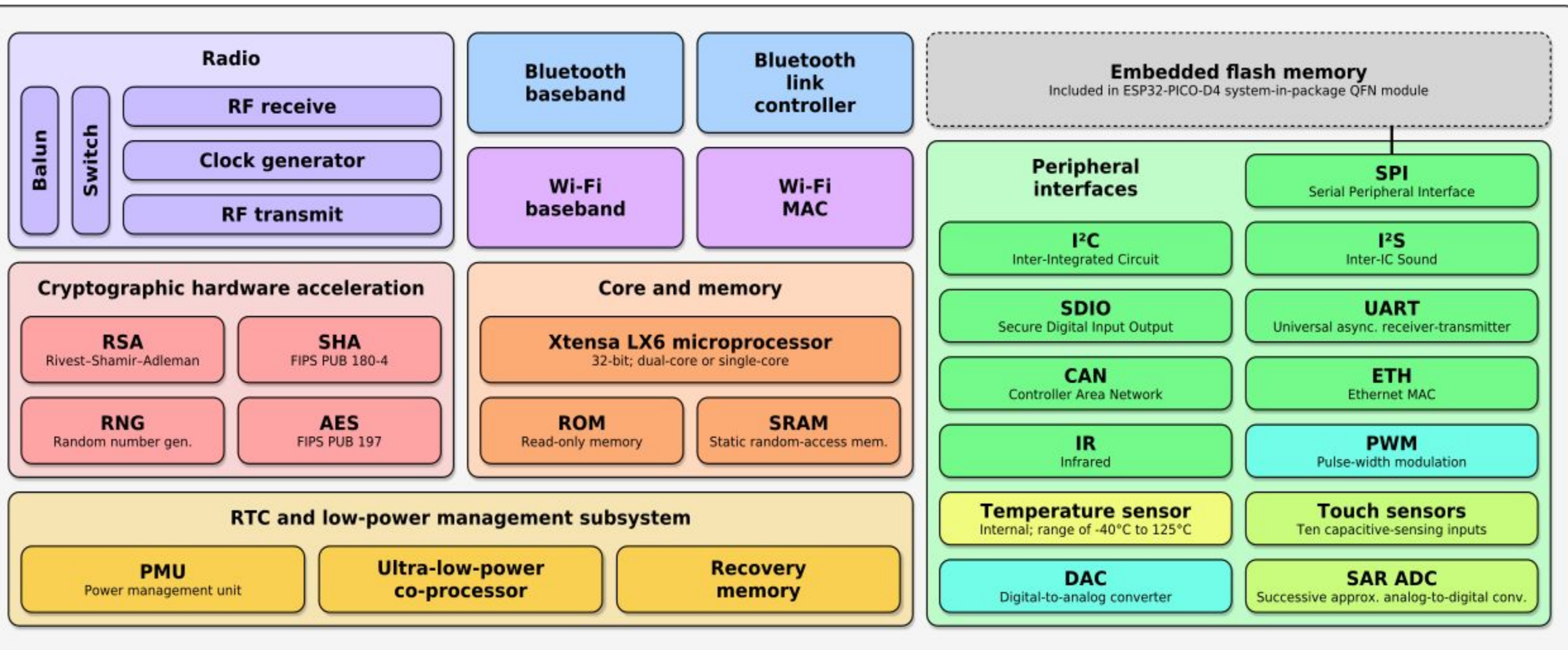
Atmel: AVR (RISC)

Microchip: serie PIC y serie SAM



# Procesadores de propósito General

Espressif ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Microcontroller — Function Block Diagram



Introducción

Procesadores de  
Propósito General

Procesadores de  
Propósito Específico

Arquitecturas

Consideraciones de  
Diseño

Arquitecturas de  
Sistemas IoT

# Procesadores de Propósito Específico

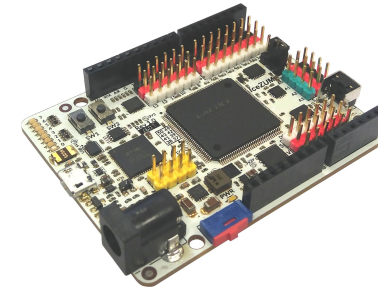


# Procesadores de Propósito Específico

Un procesador de propósito específico en un sistema embebido es un tipo de procesador diseñado para realizar tareas específicas de manera más eficiente que los procesadores de propósito general

Los procesadores de propósito específico se utilizan en sistemas embebidos donde se requiere un alto rendimiento

1. Sistemas de audio
2. Procesamiento de señales
3. Generación de patrones



Se pueden encontrar en hardware dedicado, circuitos integrados de aplicación específica(ASIC) o matrices de puertas programables en campo (FPGA)



# Procesadores de propósito Específico

---

Ventajas de los procesadores de propósito específico en sistemas embebidos

1. Rendimiento superior
2. Eficiencia energética
3. Costos reducidos

Limitaciones y desventajas de los procesadores de propósito específico en sistemas embebidos:

1. Rigidez
2. Costos de desarrollo
3. Limitaciones de actualización
4. No son adecuados para tareas múltiples

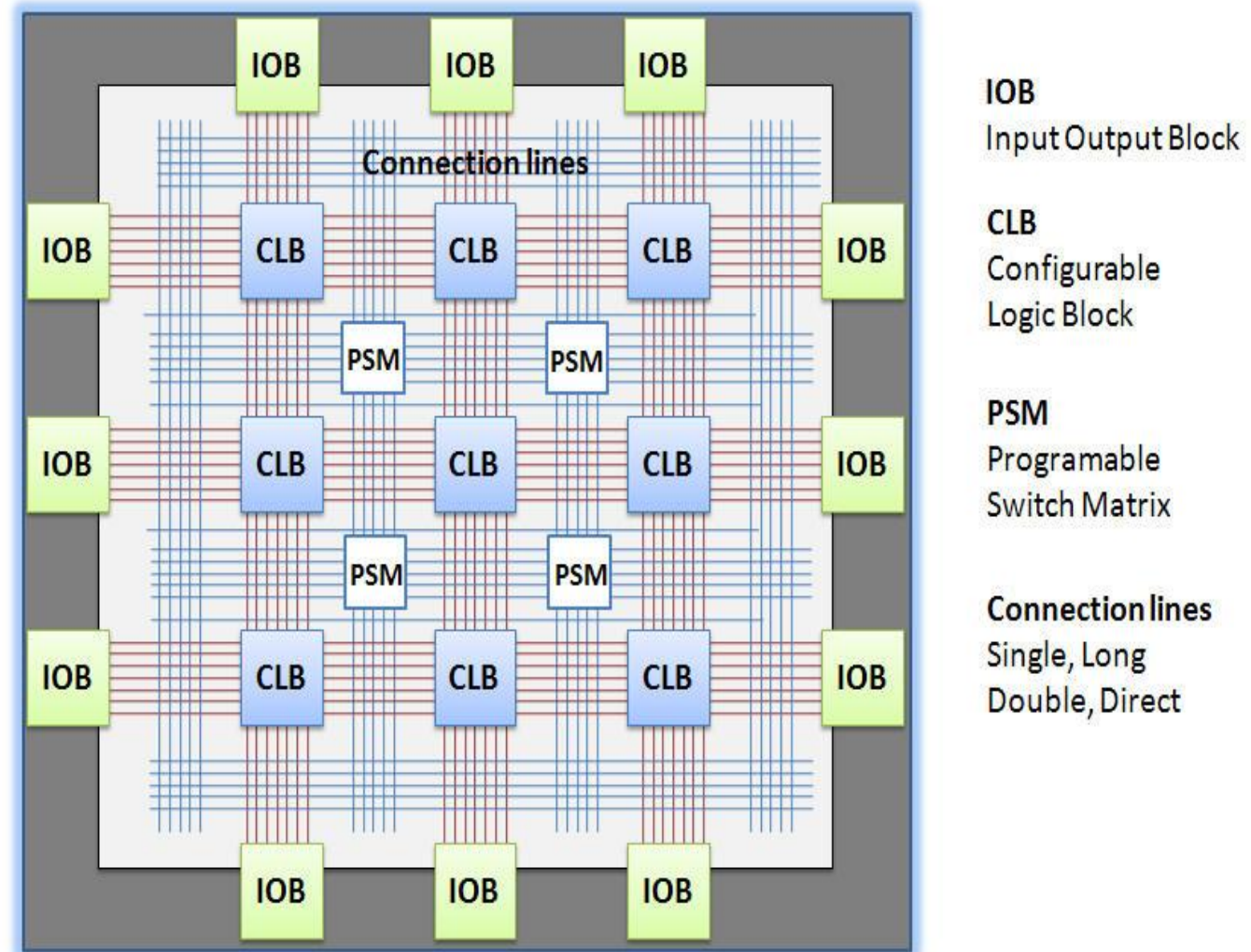




# Procesadores de Propósito Específico

Pasos a seguir para utilizar una FPGA

1. Selección de la FPGA
2. Creación del diseño
3. Simulación del diseño
4. Síntesis del diseño
5. Implementación del diseño
6. Generación de archivos de configuración
7. Programación de la FPGA



# Procesadores de Propósito Específico

Algunos fabricantes de estos procesadores son:

**IBM**

LSI Logic

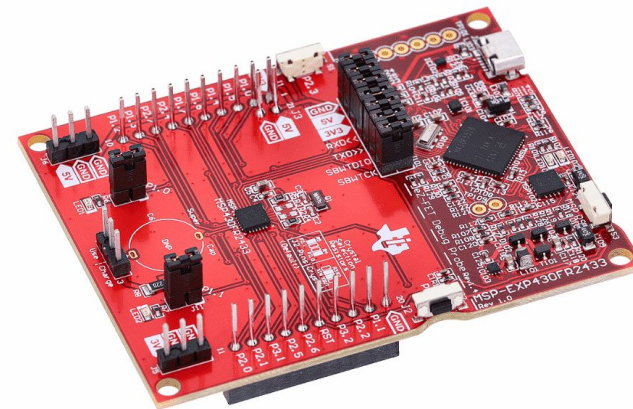
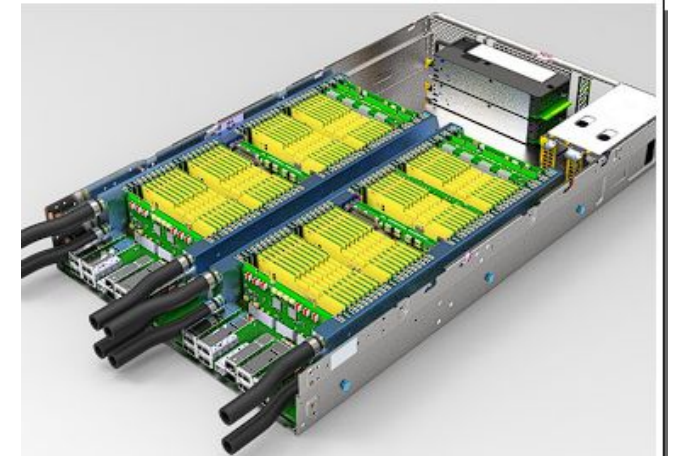
Microchip Technology

SMIC

**Texas Instruments MSP-EXP430FR2433**

**TSMC**

UMC





Introducción

Procesadores de  
Propósito General

Procesadores de  
Propósito Específico

**Arquitecturas**

Consideraciones de  
Diseño

Arquitecturas de  
Sistemas IoT

# Arquitecturas



# Arquitecturas

---

## Arquitectura ARM: **A**dvanced **R**ISC **M**achine

- Procesador sencillo de propósito general
- Requerimientos de funcionamiento poco exigentes: bajo consumo, bajo coste y reducido tamaño.
- Procesador dominante en el mercado de la electrónica móvil de consumo: dispositivos móviles, consolas, reproductores digitales, etc.
- ARM Holdings (<https://www.arm.com/>) diseña la arquitectura.



### □ Fabricantes:

- Intel
- Apple
- Atmel
- Nvidia
- Samsung
- Etc

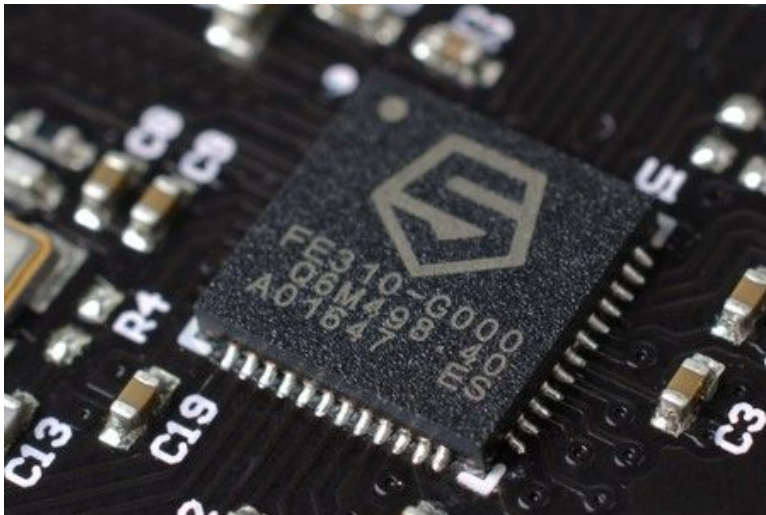


# Arquitecturas

## Arquitectura RISC-V

RISC-V es una arquitectura de conjunto de instrucciones (ISA) de hardware libre basado en un diseño de tipo RISC (conjunto de instrucciones reducido).

- De uso libre y abierto, sin necesidad de pagar royalties.
- Originado en 2010 en la Universidad de California en Berkeley
- El conjunto de instrucciones se ha diseñado pensando en implementaciones pequeñas, rápidas y de bajo consumo para el mundo real



- Empresas que están incorporando:
  - Snapdragon
  - Espressif
  - NXP
  - NORDIC semiconductor



# Arquitecturas

---

## □ CISC x86

- La arquitectura CISC (Complex Instruction Set Computing) es un tipo de arquitectura de procesadores en la que las instrucciones que puede ejecutar el procesador son muy complejas y pueden realizar múltiples operaciones en una sola instrucción.
- Gran número de instrucciones; Instrucciones de longitud variable

## □ RISC

- RISC (del inglés "Reduced Instruction Set Computing") es una arquitectura de conjunto de instrucciones que se caracteriza por:
- Un conjunto de instrucciones reducido
- Ejecución en un solo ciclo
- Modo de direccionamiento simple
- Uso de compiladores optimizadores



# Arquitecturas

- Diferentes formatos de forma disponibles
- Cada formato es utilizado para una función concreta:
  - SoC: Alta integración, utilizado en productos finales donde se quiere optimizar espacio.
  - Módulo: Usado en prototipos intermedios o productos en los que se quiere reducir el tiempo de lanzamiento.
  - Placa de desarrollo: A modo de introducción al desarrollo con la plataforma, prototipos iniciales.



□ SoC- System on chip



□ Modulo



□ Placa de desarrollo

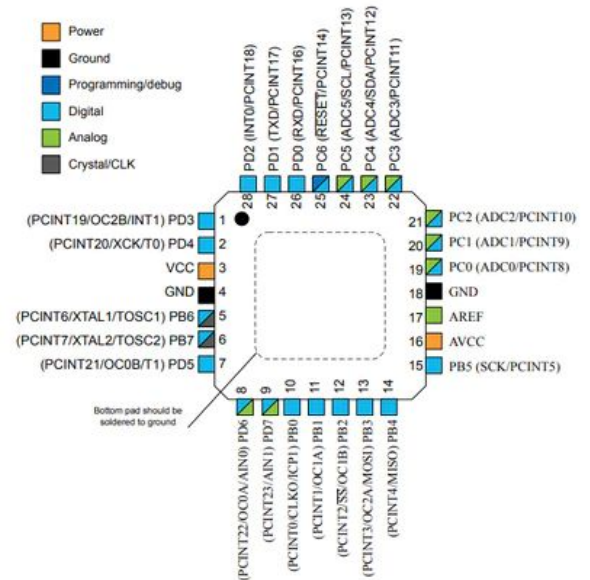
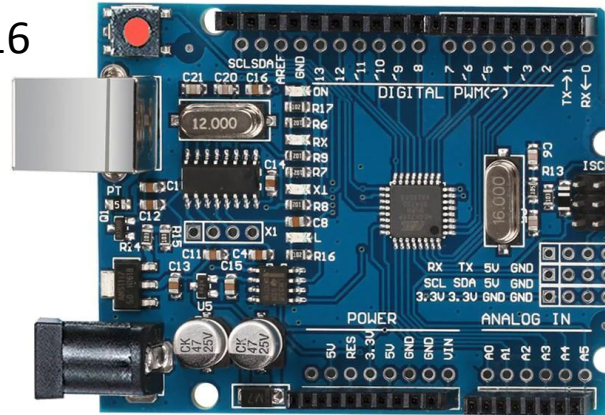
# Arquitecturas

## Arduino

- Plataforma Open Source (<https://www.arduino.cc/>) para desarrollo de sistemas IoT.
- Computador de placa reducida de bajo costo.

## Especificaciones (Arduino UNO):

- Microcontrolador Atmel Atmega 328P 8bit 16 MHz
- 32 KB Memoria Flash
- 2KB Memoria SRAM
- Sin conectividad externa
- Precio: ~14€



Funciona a 5 voltios





# Arquitecturas

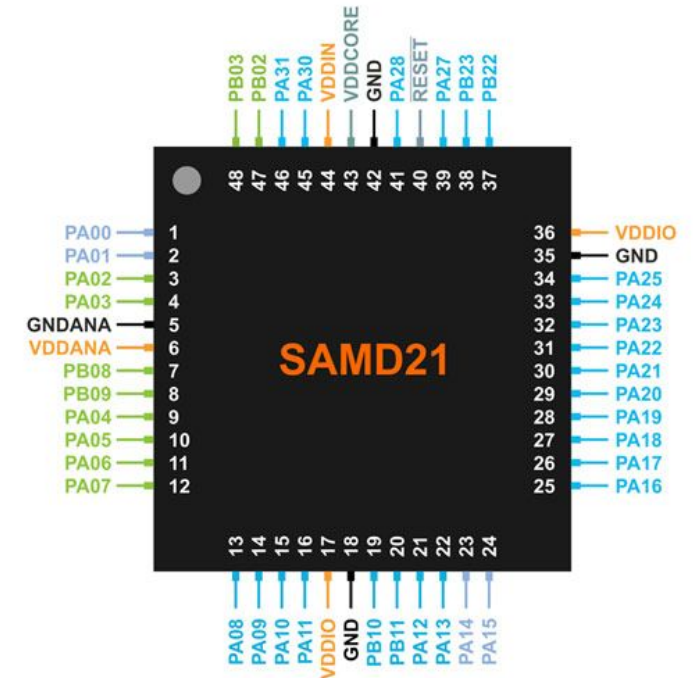
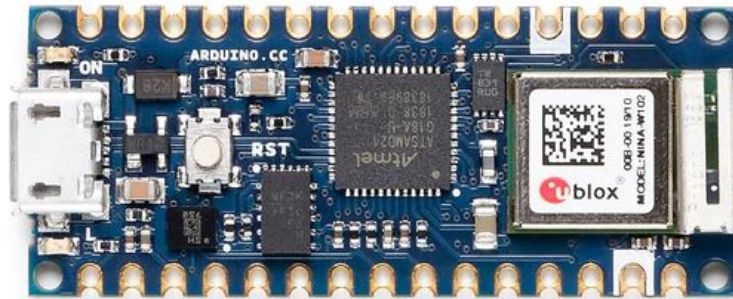
## Arduino

- Plataforma Open Source (<https://www.arduino.cc/>) para desarrollo de sistemas IoT.
- Computador de placa reducida de bajo costo.

### Especificaciones (Arduino nano 33 IoT):

- Microcontrolador de bajo consumo ARM Cortex®-M0+ 32bit 48 MHz
- 256 KB Memoria Flash
- 32KB Memoria SRAM
- 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE Wi-Fi 802.11 b / g / n wireless, Bluetooth y BLE
- Precio: ~20€

Funciona a 5 voltios



# Arquitecturas

## Raspberry Pi

- ❑ Computador de placa reducida de bajo costo.
- ❑ Desarrollado por la **Fundación Raspberry Pi**  
<https://www.raspberrypi.org/>

### Especificaciones (Pi Zero):

- ❑ Single-core ARM 11 Broadcom BCM2835 @ 1 GHz.
- ❑ 512MB RAM
- ❑ 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE Wi-Fi 802.11 b / g / n wireless, Bluetooth 4.1, BLE
- ❑ Micro-SD card slot for loading operating system and data storage
- ❑ Precio: ~15€





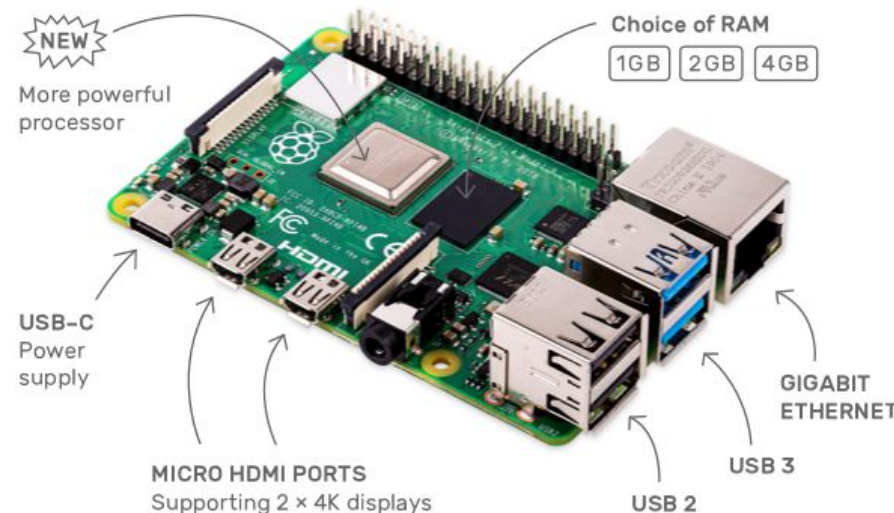
# Arquitecturas

## Raspberry Pi

- Computador de placa reducida de bajo costo.
- Desarrollado por la **Fundación Raspberry Pi**  
<https://www.raspberrypi.org/>

### Especificaciones (Pi 4 Model B):

- Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
- 1GB, 2GB or 4GB LPDDR4-3200 SDRAM
- 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE
- Gigabit Ethernet
- Micro-SD card slot for loading operating system and data storage
- Precio: ~50€



# Arquitecturas

---

## ESP32

- Disponible en version placa de desarrollo o chip (SOC).
- Desarrollado por **Espressif Systems**  
<https://www.espressif.com/>

### Especificaciones (ESP32):

- Microprocesador de 32-bit Xtensa LX6 de doble núcleo a 160 o 240 MHz
- 448 KB Memoria Flash
- 520 KB Memoria SRAM
- 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE Wi-Fi 802.11 b / g / n wireless, Bluetooth y BLE
- Precio: ~5€



# Arquitecturas

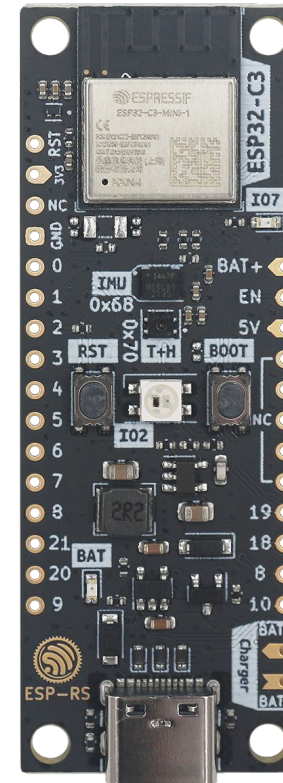
## ESP32-C3 Series

- Disponible en versión placa de desarrollo, módulo o chip (SOC).
- Desarrollado por **Espressif Systems**  
<https://www.espressif.com/>

Apto para aplicaciones criptográficas

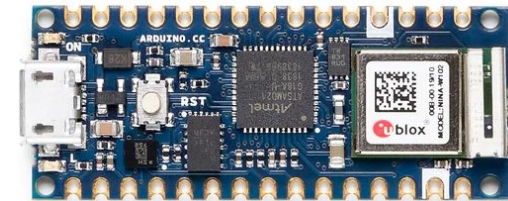
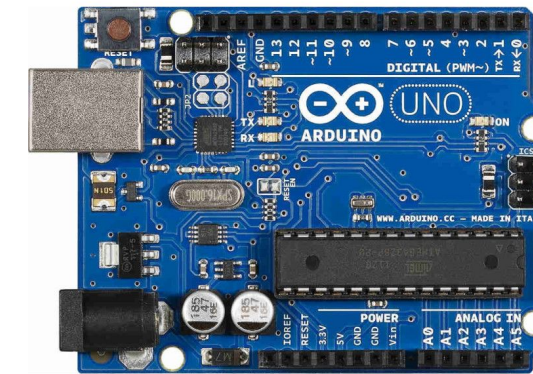
### Especificaciones (ESP32-C3):

- Microprocesador de 32-bit RISC-V de hasta 160 MHz
- 384 KB Memoria Flash
- 400 KB Memoria SRAM
- 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE Wi-Fi 802.11 b / g / n wireless, Bluetooth y BLE
- Precio: ~5€



# Arquitecturas

SPECS/BOARD	ESP32	ESP8266	ARDUINO UNO
Number of Cores	2	1	1
Architecture	32 Bit	32 Bit	8 Bit
CPU Frequency	160 MHz	80 MHz	16 MHz
WiFi	YES	YES	NO
BLUETOOTH	YES	NO	NO
RAM	512 KB	160 KB	2 KB
FLASH	16 MB	16 MB	32 KB
GPIO PINS	36	17	14
Busses	SPI, I2C, UART, I2S, CAN	SPI, I2C, UART, I2S	SPI, I2C, UART
ADC Pins	18	1	6
DAC Pins	2	0	0



Introducción

Procesadores de  
Propósito General

Procesadores de  
Propósito Específico

Arquitecturas

Consideraciones de  
Diseño

Arquitecturas de  
Sistemas IoT

# Consideraciones de Diseño



# Consideraciones de Diseño

---

## Determinación de los requisitos globales del sistema

1. Definición de los interfaces de control
  - Tipos de dispositivos que habrá que controlar o con los que se habrá de comunicar.
  - Definición general de los requisitos de tipo de almacenamiento.
  - Definición de cómo el sistema interactuará con los usuarios (monitor, teclado, lector de códigos de barras, etc.).
2. Definición de la aplicación software.
  - Características de la aplicación software.
  - Posibilidad y método de actualización del software.
  - Previsión de controladores (drivers) para el funcionamiento del hardware externo.
3. Requisitos de alimentación
  - Previsiones generales de consumo del sistema.
  - Posibilidad de alimentación mediante batería o pilas.
  - Alimentación de seguridad para condiciones de caída de la alimentación principal.





# Consideraciones de Diseño

---

## **Concepción global del sistema**

1. Especificación de los requisitos globales del sistema.
2. Determinación de las entradas-salidas y la tecnología de comunicación necesaria.
3. Selección del microprocesador, microcontrolador o procesador de propósito específico más adecuado.
4. Elección del sistema operativo, si procede.
5. Determinación de las necesidades de homologación en función de la aplicación y del sector al que va dirigido.



# Consideraciones de Diseño

---

## **Determinación de los requisitos globales del sistema**

4. **Requisitos ambientales de funcionamiento**
  - Restricciones en cuanto a peso, tamaño y forma.
  - Protección antivandálica.
5. **Requisitos térmicos del sistema**
  - Margen de temperatura nominal.
  - Condiciones ambientales de funcionamiento.
  - Refrigeración por convección libre o forzada (ventilador).
6. **Requisitos de rendimiento y almacenamiento**
  - Previsiones generales de rendimiento.
  - Necesidades de almacenamiento.
7. **Requisitos de coste**
  - Previsión de coste de dispositivo.
  - Previsión de escalado de la aplicación.





# Consideraciones de Diseño

---

## **Sistema operativo embebido**

- ❑ Necesario en sistemas complejos para crear abstracción del hardware.
- ❑ Permite una gestión eficiente de los recursos.
- ❑ Ejemplos:
  - ❑ Windows embedded
  - ❑ Linux embebido.
  - ❑ BlackBerry OS.
  - ❑ Google Android
  - ❑ FreeRTOS
  - ❑ Windows 10 IoT
  - ❑ RaspberryPi OS



Introducción

Procesadores de  
Propósito General

Procesadores de  
Propósito Específico

Arquitecturas

Consideraciones de  
Diseño

Arquitecturas de  
Sistemas IoT

# Arquitecturas de Sistemas IoT



# Arquitecturas de Sistemas IoT

- Los sistemas IoT pueden interconectar varios elementos interconectados. Clasificados en:
  - Redes de sensores Inteligentes
  - Sistemas directos
- Redes de sensores inteligentes (WSN - Wireless Sensor Network): conjunto de dispositivos IoT homogéneos conectados en una determinada área con un propósito común.
- Sistemas directos: Una estructura de red similar a una red local, puede ser bajo WiFi, BLE, Lora o otros formas de comunicación... Todos se conectan y pueden alcanzar el nodo gateway.



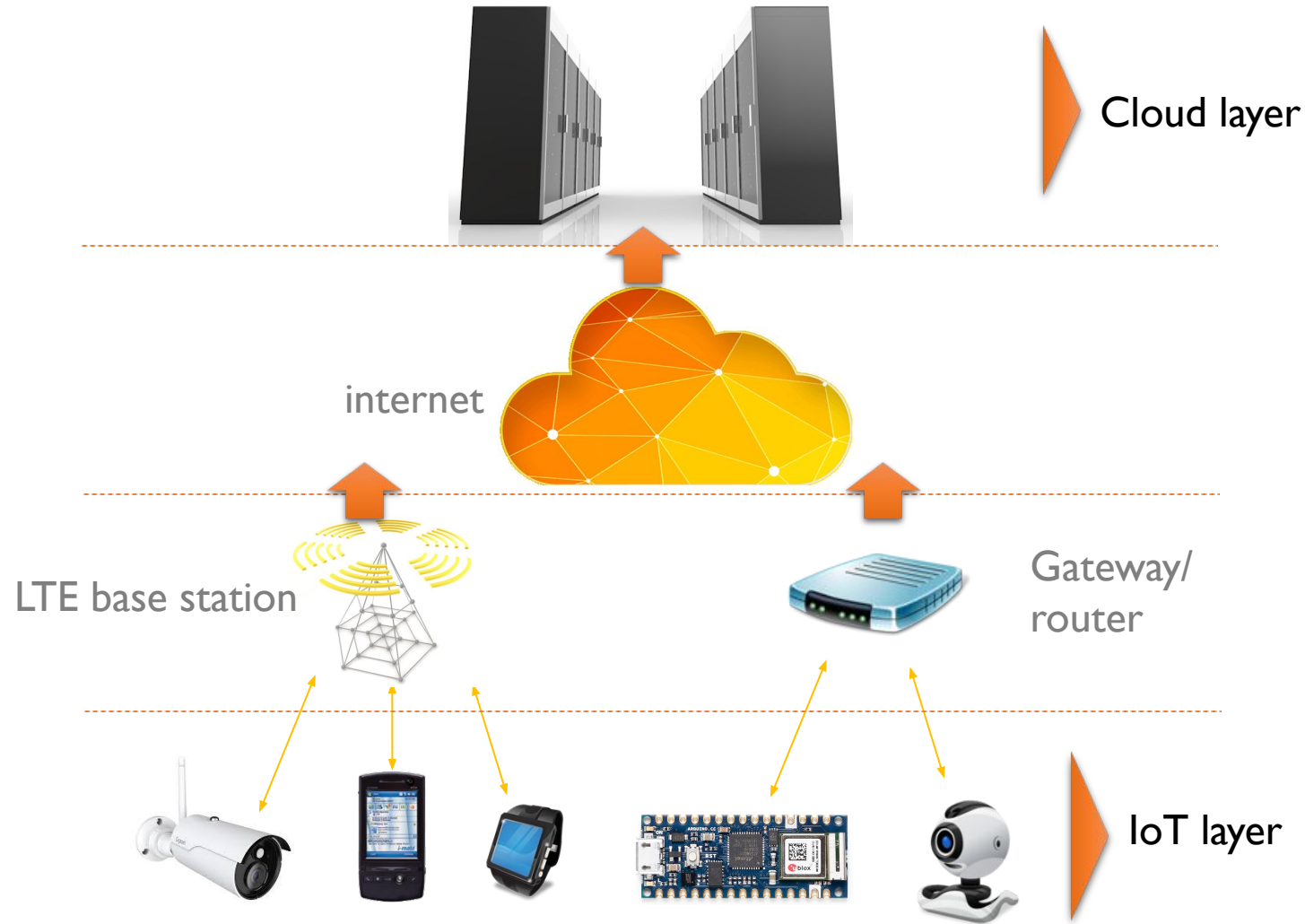
# Arquitecturas de Sistemas IoT

---

- Los elementos que forman un **sistema IoT** son los siguientes:
  - Dispositivos IoT
  - Dispositivo Puerta de enlace/Gateway
  - Servidor remoto/Cloud
- Los **dispositivos IoT** corresponden con los elementos sensores y/o actuadores del sistema.
- El dispositivo **Puerta de Enlace** o Gateway corresponde con el elemento que conecta los dispositivos IoT con la red de comunicaciones. Puede realizar funciones adicionales de gestión. Este elemento puede ser opcional si los dispositivos IoT tienen la capacidad de comunicación con la red de comunicaciones por sí mismos.
- El **servidor remoto**, generalmente alojado en la nube se encarga de la gestión remota de los dispositivos IoT, almacenar y procesar la información recopilada por los mismos.



# Arquitecturas de Sistemas IoT



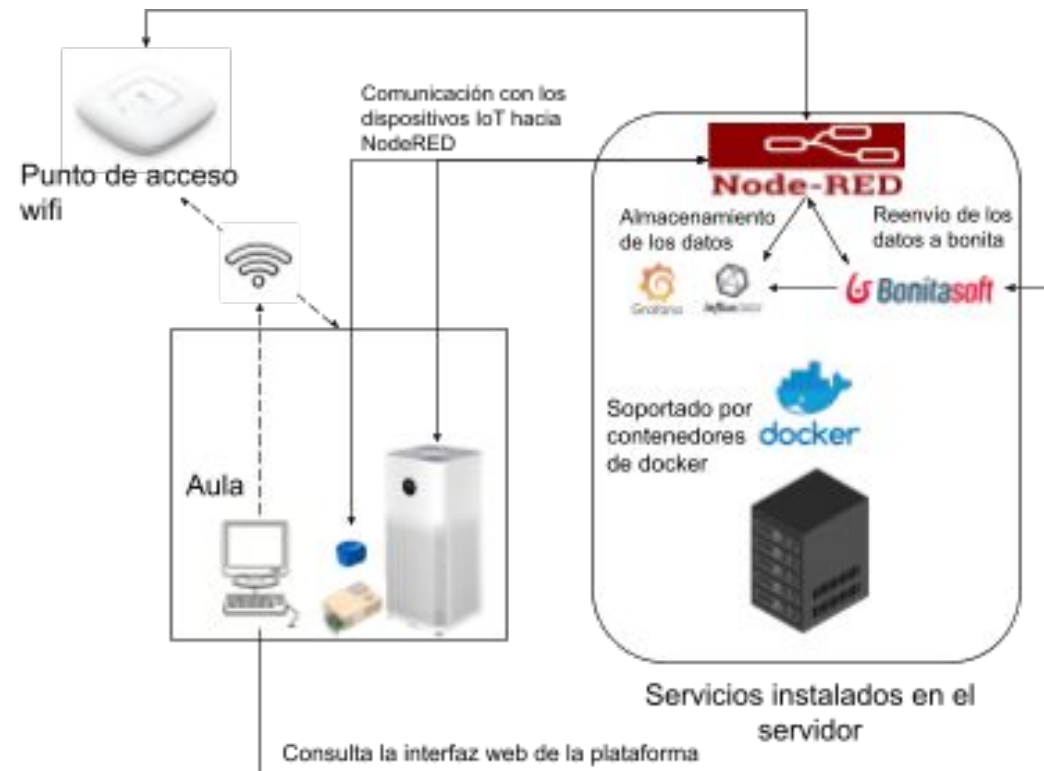
# Arquitecturas de Sistemas IoT

## Arquitectura del proyecto Aula Inteligente

Diferentes sensores y actuadores conectados a una gateway

Gateway permite acceso a servidor cloud, en este caso se trata de uno interno

El servidor cloud ejecuta las funciones de gestión y emite los mensajes básicos a los sensores y actuadores.



# Arquitecturas de Sistemas IoT

## Arquitectura del proyecto HoldenIA

Funda sensorizada para evitar caídas y úlceras por presión en personas hospitalizadas.

Los sensores obtienen los valores de presión y envían esta información

Una raspberryPi hace la función de servidor cloud interno, donde transforma los valores y da servicio a una aplicación.

Una tablet hace las funciones de pantalla de usuario y muestra la aplicación.

