

Internet de las Cosas

Diego Dujovne

Introducción

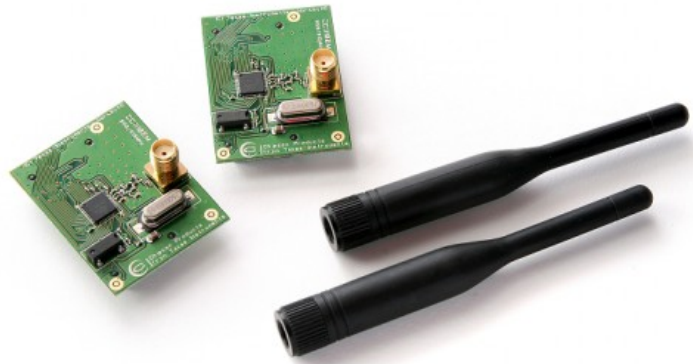
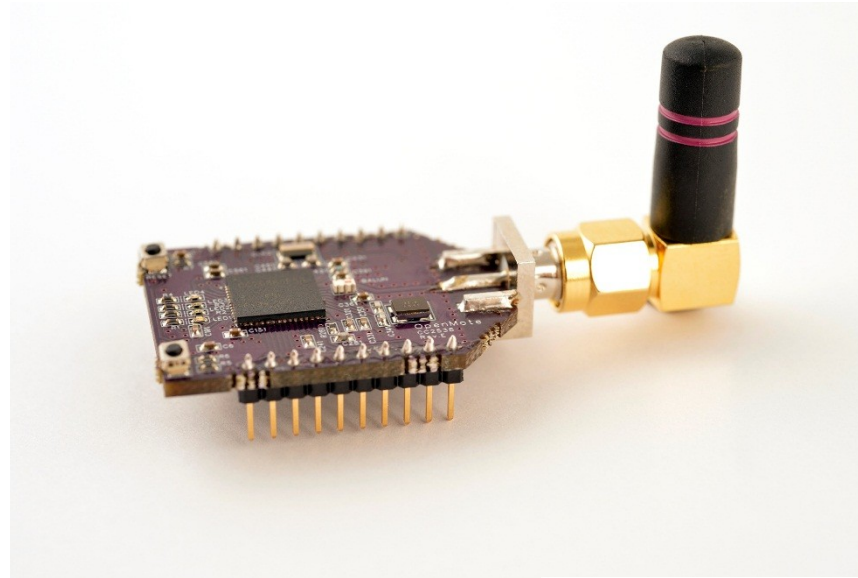


- El término fue inventado en 1999: Kevin Ashton:
 - “The global network connecting every smart object” (IoT-A EU Project)
- Un **Smart object** no implica inteligencia.
- Lo Smart de un object no solo está en el objeto sino en la **capacidad de interconexión**
- Y en el **intercambio de datos** que haga con los demás objetos

Introducción

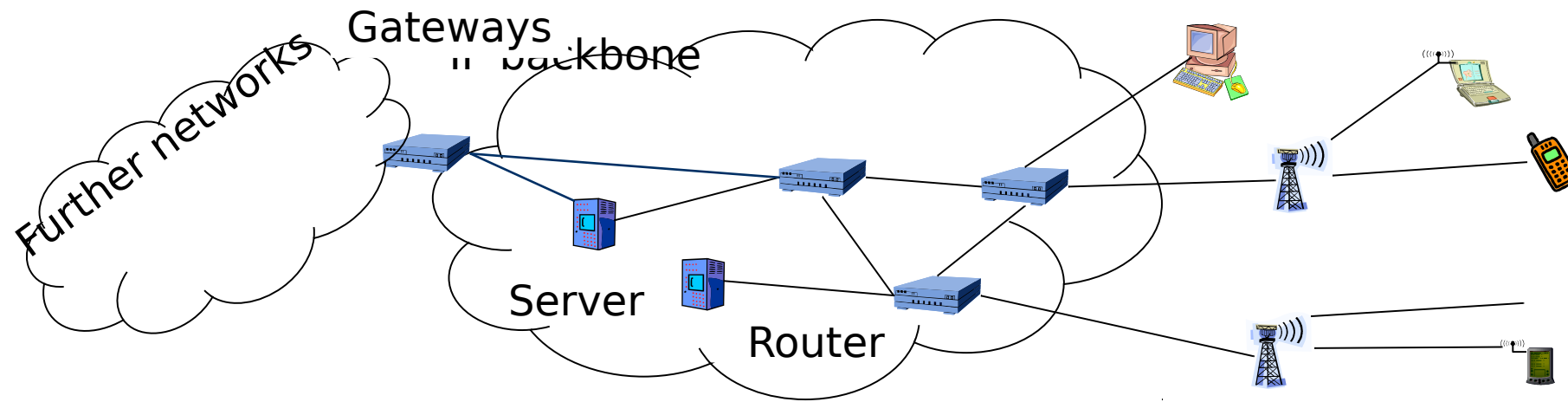
- Personalidad:
 - Los objetos pueden ser **fuentes de información**: sensores
 - **O destinos** y convertirse en actuadores.
- En un sistema orientado al cloud computing exclusivamente, las decisiones se toman **de manera jerárquica**.
 - Los nodos solo envían información o reciben órdenes.
- Pero un sistema donde **los nodos se conectan entre ellos y toman decisiones**, se denomina Fog computing
 - Parte del concepto de “Internet of Everything”

Introducción



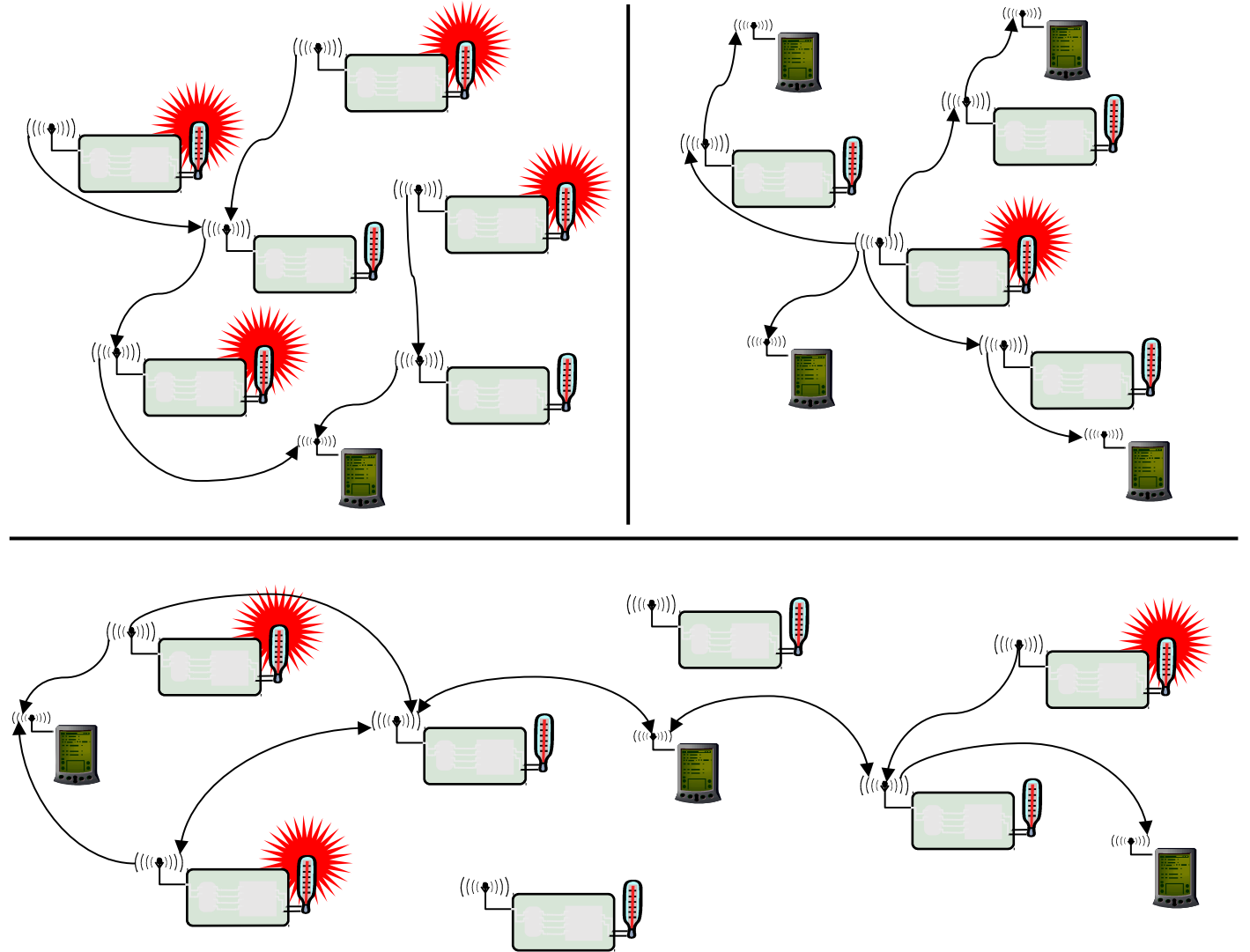
Introducción

- Redes tradicionales:
- **Estaciones** base conectadas a un **backbone**
- Elementos **móviles** conectados de manera **inalámbrica** a la estación base



Introducción

- Redes de Nodos Sensores
- Multisalto
- Solo un salto
- Puente para otras redes
- Gateways simples o múltiples
- Topologías Mesh / Estrella / Árbol...



Introducción: Características

- Nodos Inalámbricos con **corto alcance** (O largo alcance con otras limitaciones)
- **Poca** capacidad de procesamiento (Encriptación...)
- Alimentados a **Batería** (TX, RX, Sensor, Duty Cycle)
- **Poca** capacidad de almacenamiento (Tablas limitadas, Tamaño de programa, registro limitado en caso de incomunicación)
- Relojes de **baja** precisión (Sincronización, compensación)
- **Tamaño** (Acceso, Ubicación, Peso, Gabinetes estandarizados, Antena)
- **Interfaces** de programación y comunicación (Conectores, Estándares)
- Sistemas Operativos, Stacks, Lenguajes de programación (**Disponibilidad**)

Introducción: Características

- **Robustos** en términos físicos (Ambiente hostil: vibraciones, temperatura...)
- **Auto-organizarse** (Construcción de rutas, intercambio de claves, estabilidad)
- **Sincronizarse** (Sistemas TDMA o Híbridos CSMA/TDMA)
- Mantener **bajo consumo** (Duración de la batería, Duración de la red)
- Proveer **Redundancia** / Lograr recuperarse de fallas de nodos (Redundancia de caminos, reconstrucción de vías)
- Proveer **Seguridad** (Encriptación en distintas capas, Distribución de Claves)
- Incluir **Identificación, autenticación**
- Proveer **Localización** (Para georeferenciación / asignación de recursos)
- ...

Introducción: Problemas

- Problemas de:
 - **Control de acceso** (MAC: TDMA, CSMA, Radios simples/Múltiples)
 - **Enrutamiento** (Protocolos basados en métricas distintas)
 - **Mantenimiento de Topología** (Lista de vecinos)
 - **Asignación de Recursos** (Centralizado, Distribuido, Híbrido)
 - **Consumo** (Integral en el dispositivo)
 - **Gestión** (Actualización, Mantenimiento, Reemplazo, Cambio de Aplicación)
 - **Transporte de Datos** (Verificación, Flujos, Capas de aplicación, restricciones de tamaño de paquetes)
 - **Movilidad** (Handover, Reconexiones, Identificación)
 - **Regulación** (Ancho de Banda, Potencia, Canalización, Zonas)
 - ...

Introducción: Datos

- Patrones de funcionamiento:
 - Envío **periódico** de datos
 - Detección de **Eventos** (umbrales, situaciones específicas, mayoría de votos con vecinos)
 - Aproximación de **funciones** (agregación de datos según valores de los vecinos)
 - Detección de **bordes** (cambio de una zona a otra)
 - Seguimiento de **objetos**
 - **Consultas** a la red
 - **Pre-procesamiento** en la red
 - Redes **orientadas a contenidos**
 - Tiempo Real? -> **Garantías de Máximo Retardo y Pérdida de Datos**

Introducción: Distribución

- Distribución de nodos:
 - **Al azar** (lanzados desde un dron, avión)
 - **Regularmente** (Matricial)
 - De acuerdo a la **representatividad de la variable** a medir (densidad variable)
 - **Móviles** (Patrones regulares o irregulares de movimiento, movidos por una fuente externa, por ejemplo, flujo de agua)
 - ...

Introducción: Mantenimiento y Escalabilidad

- Mantenimiento

- Reemplazo de Baterías posible?
- Alimentación a partir de fuentes externas (sol, movimiento, vibraciones...)
- Duración esperada (cambio de baterías en todos los nodos a la vez)
- Detección de fallas (algoritmos de verificación de funcionamiento correcto)
- Incorporación de nuevos nodos durante el funcionamiento de la red

- Escalabilidad

- Limitaciones en direccionamiento/enrutamiento?
- Limitaciones en recursos disponible: reuso de recursos?
- Convivencia con otras redes en el mismo espectro / protocolo
- Sistema de captura asociado a un proveedor

Arquitectura de la Internet de las Cosas

Arquitectura de la Internet de las Cosas

- Distintos interesados/participantes (stakeholders?) tienen distintas visiones de la arquitectura de la IoT
- Proveedores de Sistemas basados en Cloud Computing (almacenamiento, procesamiento, conectividad)
- Proveedores de Redes
- Proveedores de Sistemas de nodos/actuadores
- Entes de Estandarización
- Consultoras
- Inversores en Tecnología
- Desarrolladores de Middleware y Sistemas Operativos
- Proveedores de Soluciones basados en IoT

Internet of Things Landscape 2018

APPLICATIONS (VERTICALS)

[illegible]

PLATFORMS (HORIZONTALS)

SOFTWARE		SECURITY	CONNECTIVITY	ANALYTICS	DEVELOPER	PAYMENTS & MONEY	INTERFACES	3D		
FULL STACK 	MIDDLEWARE 	 	 	 	DEVELOPMENT PLATFORMS 	OPEN SOURCE 	 	VIRTUAL REALITY AUGMENTED REALITY BRAIN / MACHINE INTERFACES & OTHER 	PRINTING / SCANNING 	CONTENT / DESIGN

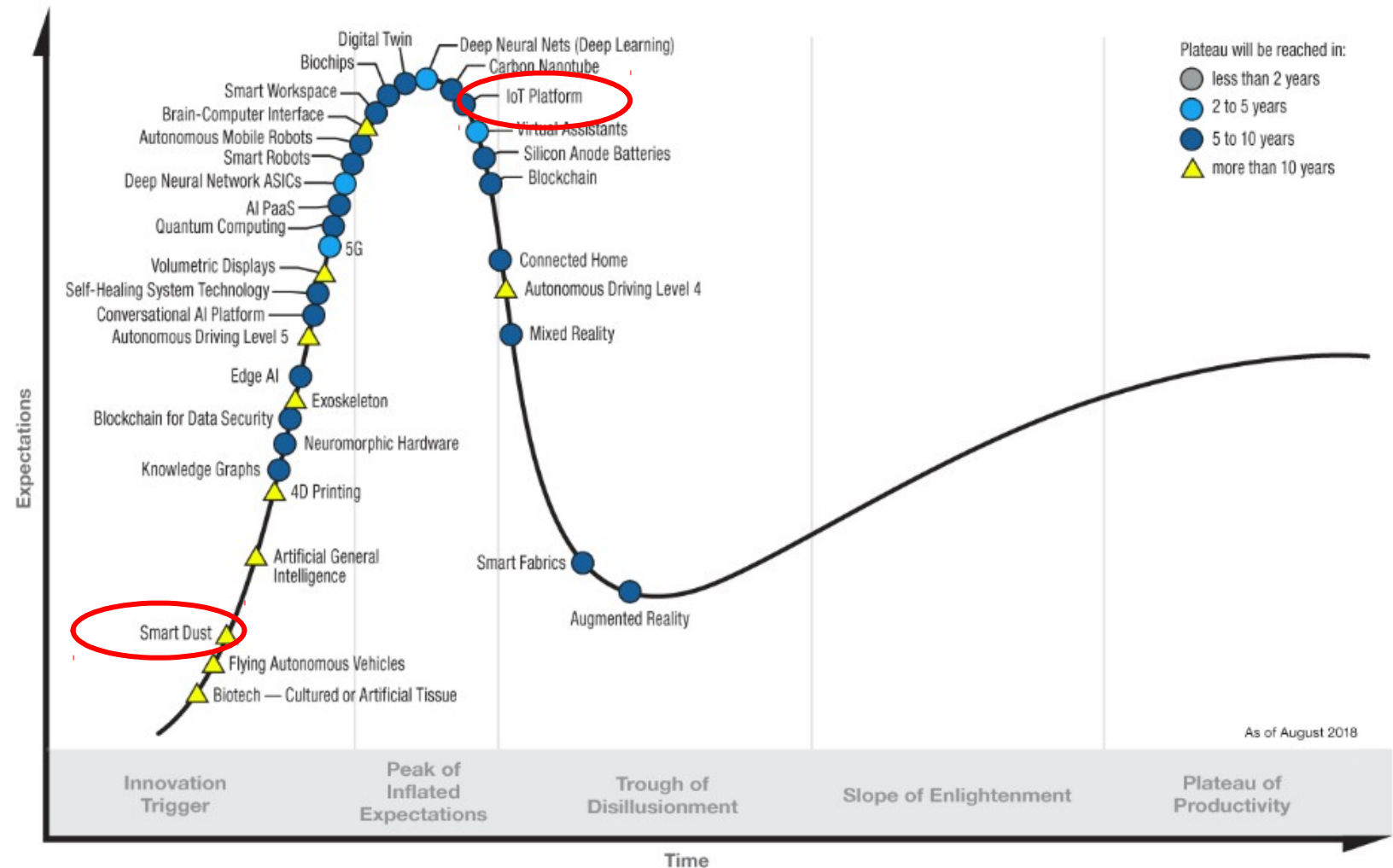
BUILDING BLOCKS

HARDWARE										INFRASTRUCTURE										CONNECTIVITY										PARTNERS																																							
PROCESSORS / CHIPS 										CLOUD 										PROTOCOLS 										TELECOM 										CONSULTANTS / SERVICES 										RETAIL 										INCUBATORS 									
SENSORS 										EDGE COMPUTING 										2G 3G 4G 5G LTE 6LoWPAN LPWAN LWM2M LTE-M V2X 										WIFI 										ALLIANCES 										MANUFACTURING 										FUNDING 									
PARTS / KITS 										EDGE X FOUNDRY 										M2M 										WIFI 										ALLIANCES 										MANUFACTURING 										FUNDING 									
CHARGING 										MOBILE OS 										Satfyfy Qair OneOcean reobots.it 										WIFI 										ALLIANCES 										MANUFACTURING 										FUNDING 									

El Mercado y la Tecnología IoT

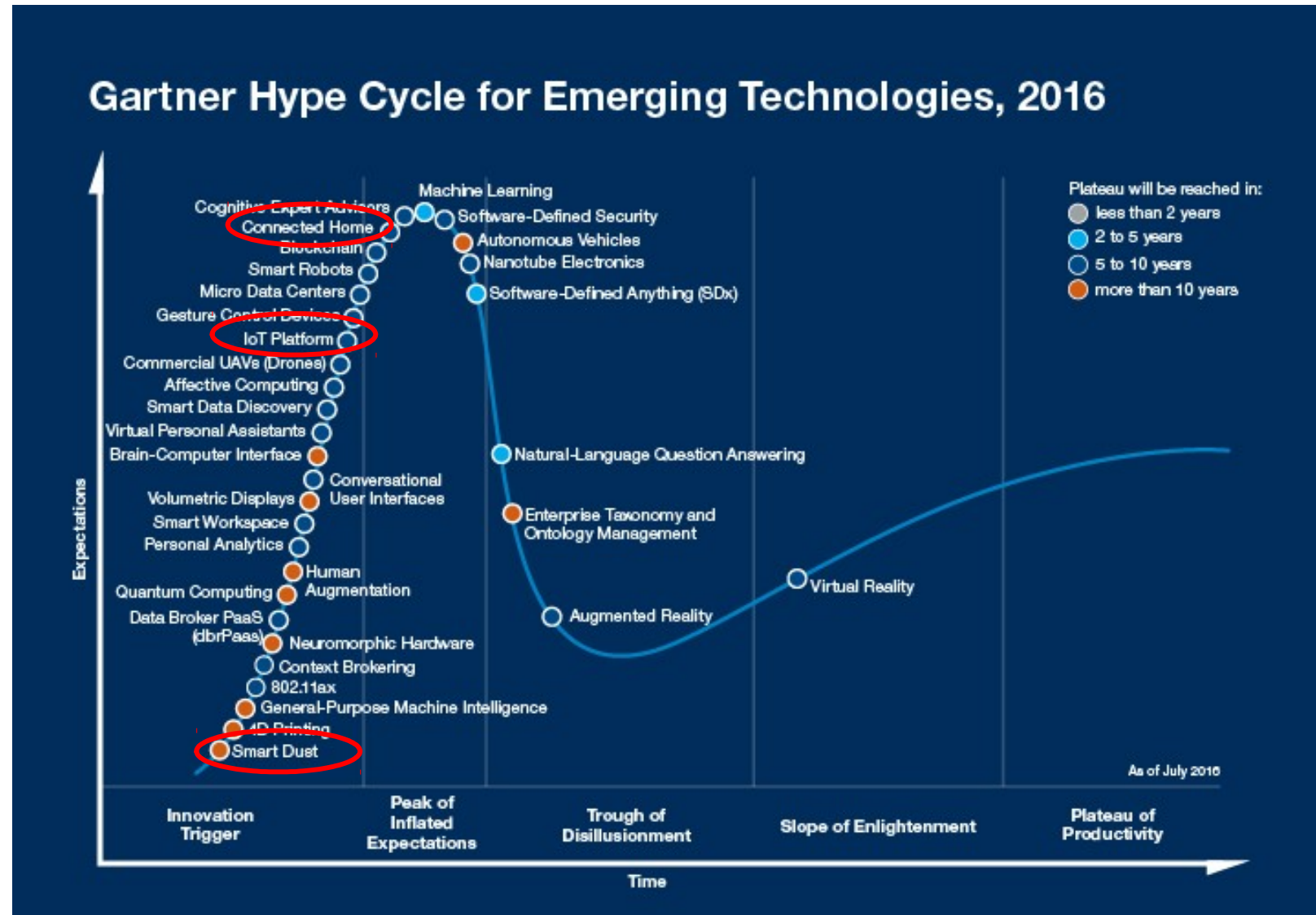
- Evolución: Gartner
- 2018

Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018



El Mercado y la Tecnología IoT

- Evolución: Gartner
- 2016



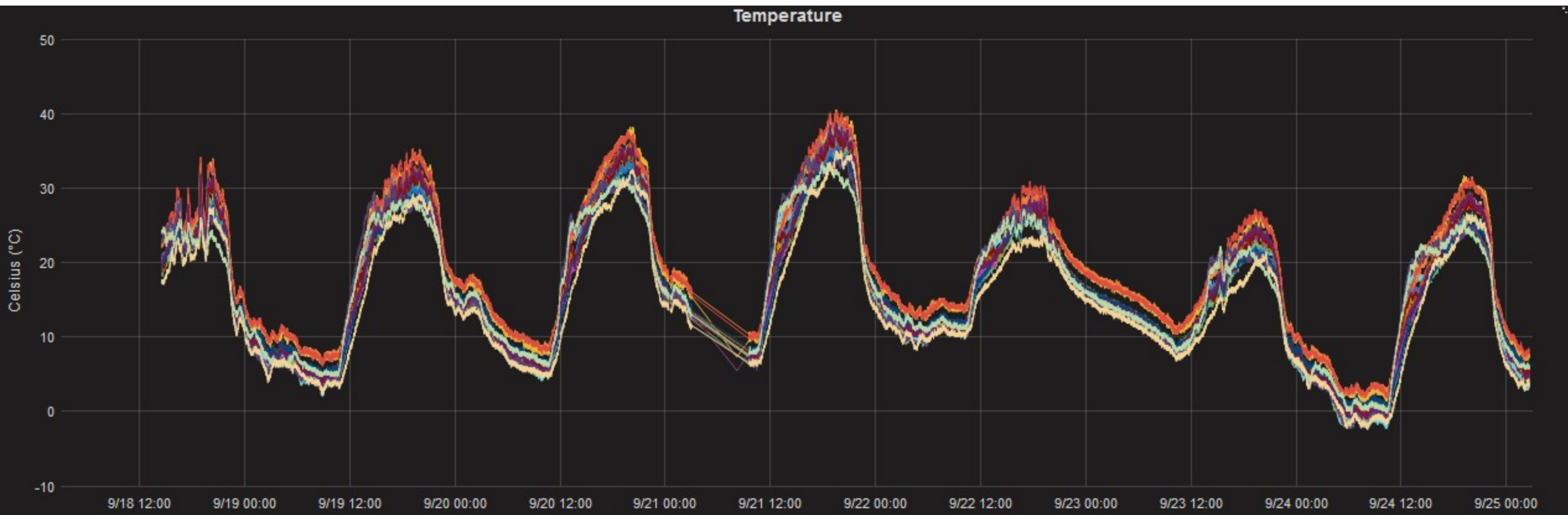
Aplicaciones

Aplicaciones

- Agricultura
- Salud
- Industria (Procesos Industriales)
- Seguridad
- Hogar
- Ambiente
- Transporte
- Militar
- Instrumentación

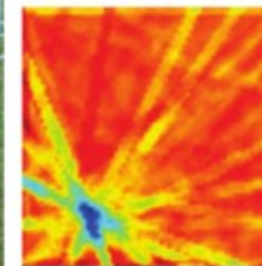
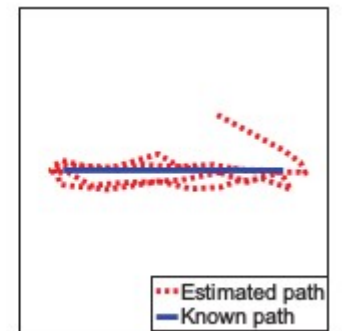
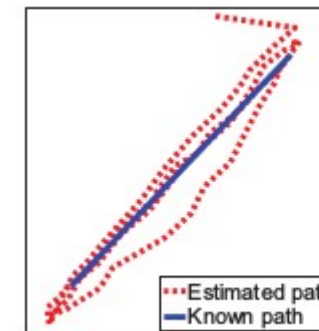
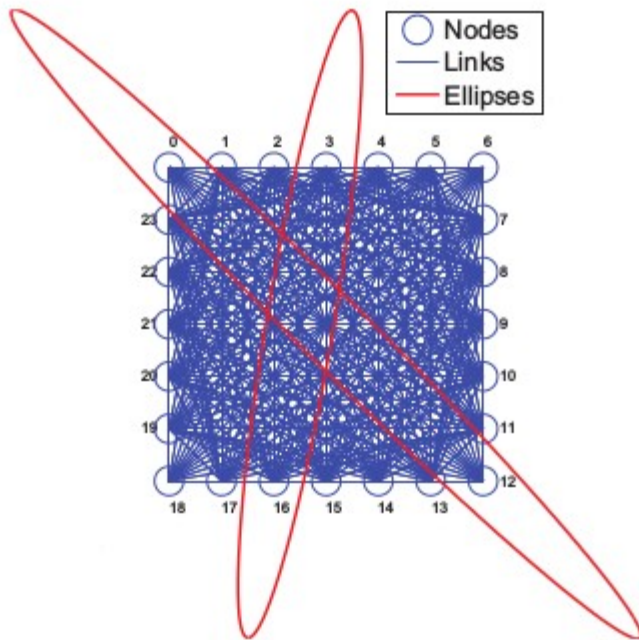
Aplicaciones

- PEACH Project: Predicción de condición de helada a través de medición de microclima con una Red de Sensores Inalámbricos

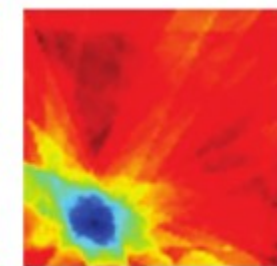


Aplicaciones

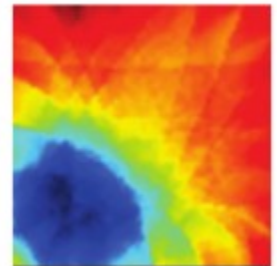
- Radio Tomographic Imaging using Thikonov Regularization: Medición experimental de la precisión de la localización de una persona en una superficie.



(a) $\lambda=0.1$ m



(b) $\lambda=0.3$ m



(c) $\lambda=1$ m

Aplicaciones

- Transporte y Movilidad:
 - Monitoreo y Seguimiento de Vehículos / Flotas
 - Monitoreo de estado de vías férreas
 - Monitoreo de estructuras viales (puentes, túneles)
 - Seguimiento de nivel de uso de transporte público
 - Monitoreo de movimiento de usuarios / fuerza de venta
 - Monitoreo de cadenas de frío y seguridad de contenedores
 - Trazabilidad
 - Monitoreo de consumos de servicios (electricidad) en puertos
 - Monitoreo y seguimiento en competencias y deportes

Aplicaciones

- Entretenimiento / Retail / Comercio
 - Controles inalámbricos de juegos
 - Control de acceso
 - Monitoreo de fallas de juegos mecánicos
 - Sistemas de cobro en juegos electrónicos
 - Interfaces de usuario interactivas
 - Juguetes conectados
 - Jugadores conectados
 - Seguimiento de movimiento de usuarios
 - Paneles de información (según usuario? Ofertas)
 - Indicadores de precios
 - Localización de usuarios

Aplicaciones

- Industria
 - Monitoreo de refinerías
 - Monitoreo de vibraciones en túneles de minería
 - Monitoreo y seguimiento de máquinas en minas a cielo abierto
 - Monitoreo de fallas en rodillos de cintas transportadoras
 - Monitoreo y accionamiento en sistemas de transmisión eléctrica
 - Smart Meters (electricidad, gas, agua)
 - Calidad eléctrica, consumos individuales de dispositivos
 - Monitoreo de basura (logística)
 - Hoteles: uso de recursos: detección de fallos, requerimientos remotos de usuarios, monitoreo de estado de servicios, aplicaciones interactivas, sensado de presencia, iluminación en pasillos, seguimiento de logística de limpieza de habitaciones y provisión de insumos

Aplicaciones

- Ambiente
 - Monitoreo de glaciares (movimiento, contaminación)
 - Monitoreo de nivel de nieve para provisión de agua
 - Monitoreo de flujo de agua en cuencas
 - Monitoreo de avance de sedimentos y sólidos
 - Seguimiento de Sismos
 - Monitoreo de incendios e inundaciones
 - Monitoreo de desplazamientos de tierra y aludes
 - Monitoreo de niveles de ríos y mareas
 - Estudios para instalación de plantas solares y eólicas

Aplicaciones

- Agricultura
 - Monitoreo de humedad y temperatura para riego
 - Monitoreo de niveles de fertilizantes
 - Monitoreo de plagas
 - Monitoreo de temperatura en silos
 - Monitoreo de estado de animales (movilidad, temperatura)
 - Seguridad perimetral
 - Seguimiento de alimento/líquidos
 - Seguimiento en tambos
 - Monitoreo de cámaras frigoríficas
 - Seguimiento de cosechas manuales

Aplicaciones

- Salud
 - Monitoreo de parámetros en pacientes ambulatorios
 - Seguimiento de equipos
 - Localización de personal en hospitales
 - Medición de calidad de medio ambiente
 - Monitoreo de gases medicinales
 - Control de acceso
 - Trazabilidad de exámenes
 - Paneles de información / turneros
 - Seguimiento de acciones en hogares de tercera edad
 - Seguridad en hogares de tercera edad
 - Medición de performance en equipos de rehabilitación y entrenamiento

Aplicaciones

- Hogar/Oficinas
 - Cámaras
 - Control de acceso
 - Control de aire acondicionado / iluminación
 - Control de riego
 - Botones para compra automática
 - Monitoreo de consumo de servicios (gas, luz, electricidad)
 - Monitoreo de mascotas (seguimiento, temperatura)
 - Reporte de finalización de ciclos (edificios) (lavado, secado, microondas)
 - Control de Temperatura de agua para baño
 - Reposición de insumos (máquinas de autoservicio, seguimiento de vencimientos, logística)

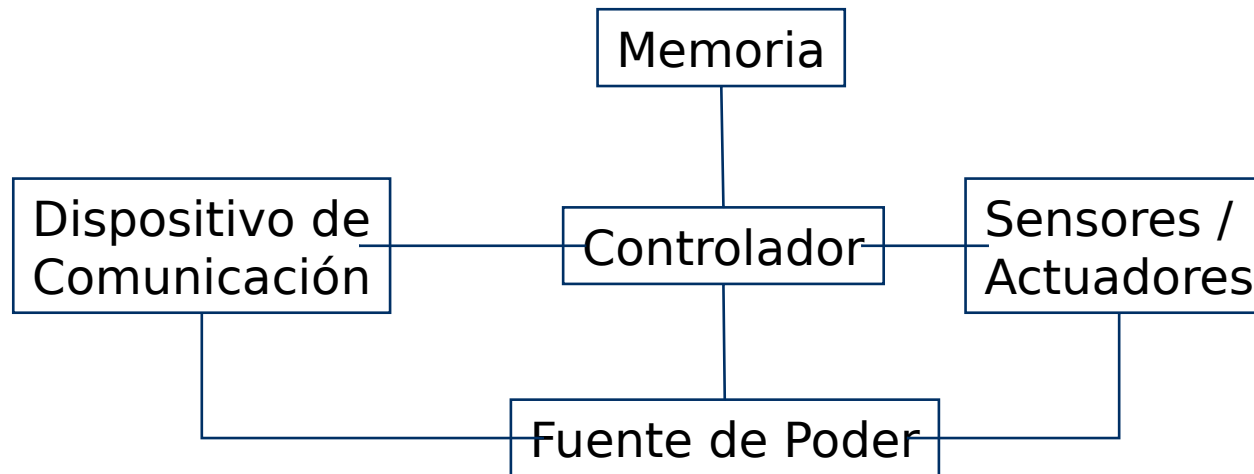
Áreas de estudio

- Sensores
- Nodos
- Redes
 - PHY
 - MAC
 - Enrutamiento
 - Aplicación
- Topología
- Sincronización
- Energía
- Localización
- Movilidad
- Plataformas
- Interfaces de usuario
- Almacenamiento / Bases de datos
- Gestión
- Estandarización

Nodo - Hardware

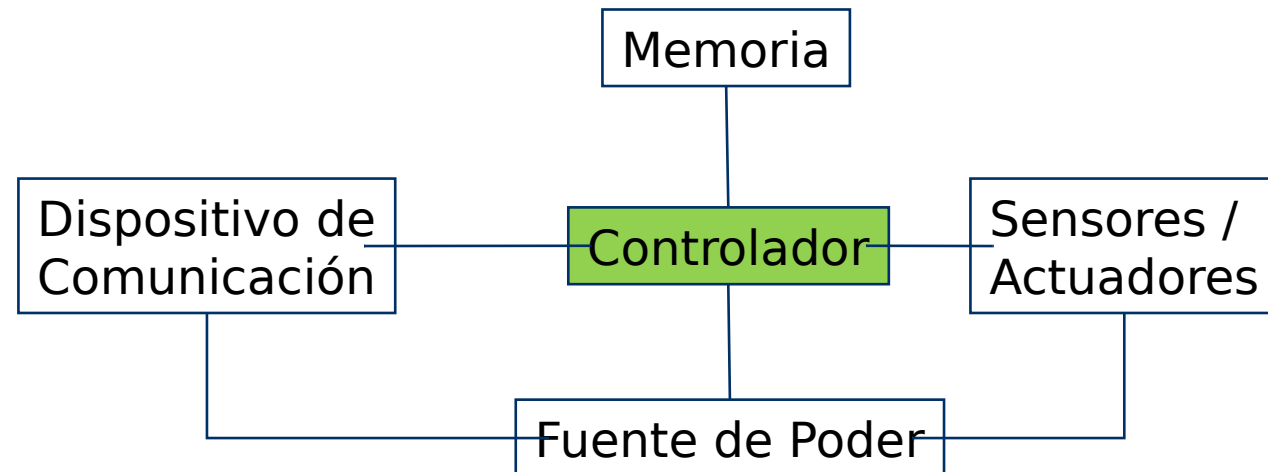
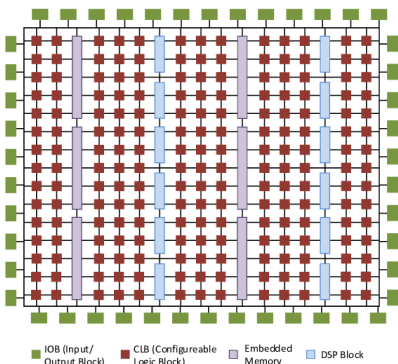
Nodo - Hardware

- Los Nodos, de manera estándar tienen estos componentes
- Un mismo nodo puede tener **múltiples sensores**
- Las configuraciones dependen del **fabricante** y de la **tecnología** a utilizar



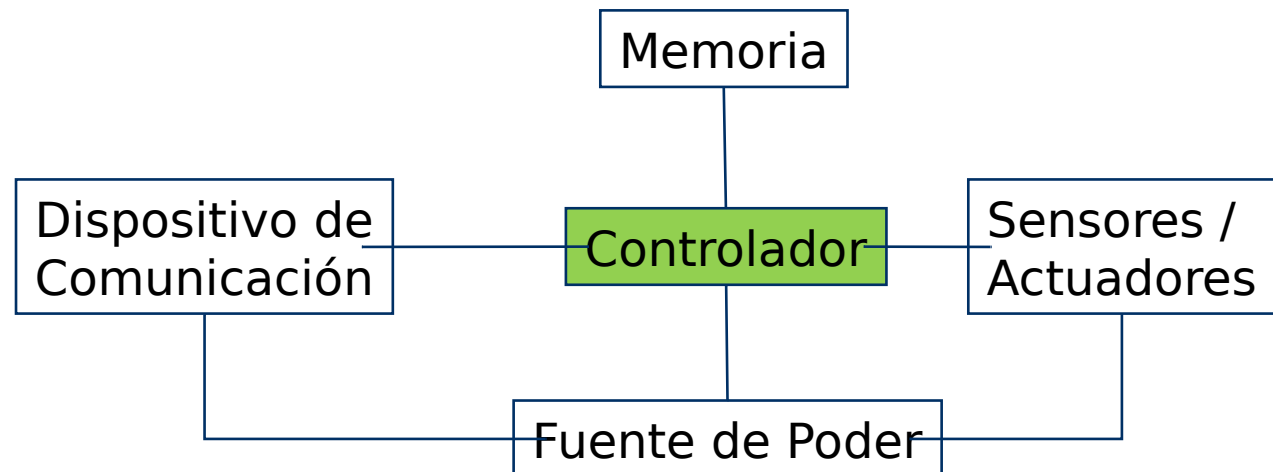
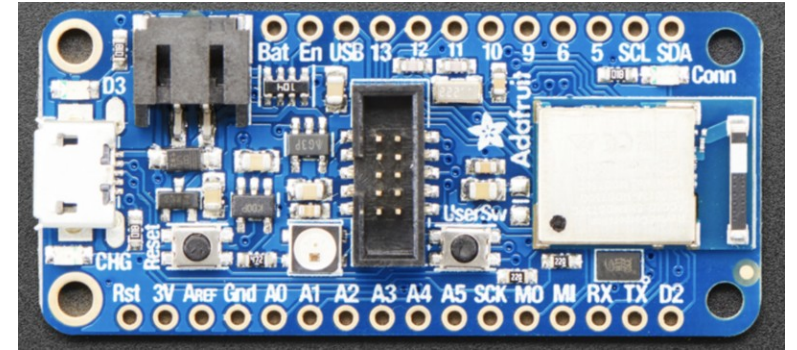
Nodo - Hardware

- El controlador puede ser un **CISC** o **RISC**
- Un **DSP** (para preprocesar información de señales de alto ancho de banda, por ejemplo)
- Una **FPGA** (para desarrollo)
- Un **ASIC** para productos masivos y de alta performance



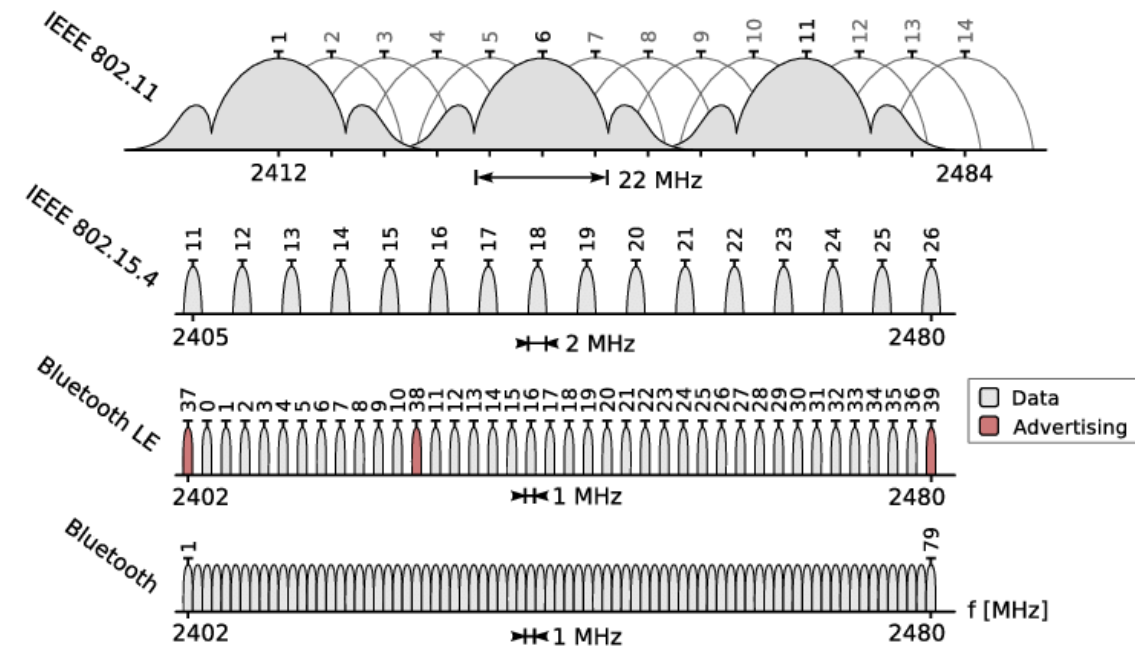
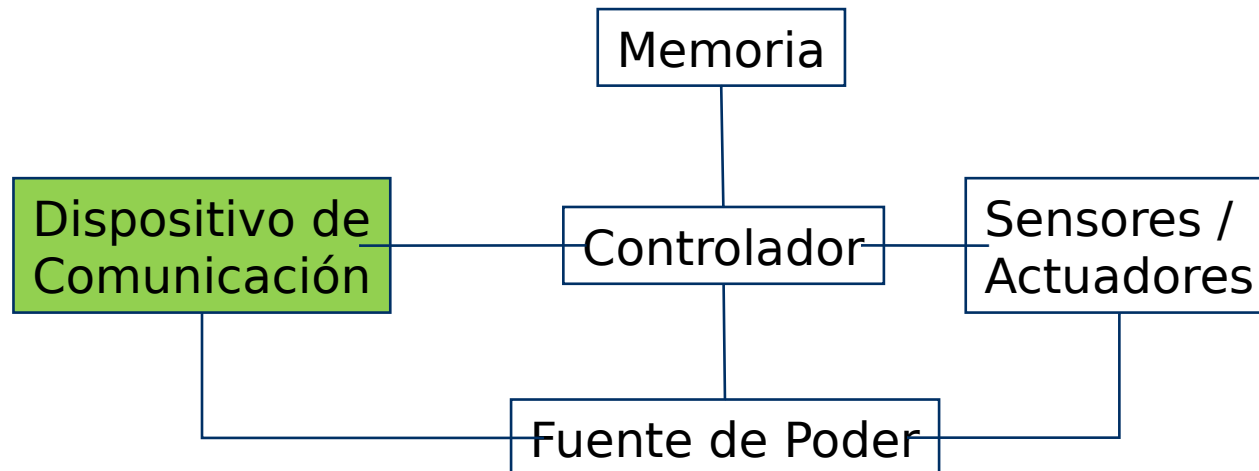
Nodo - Hardware

- Algunos ejemplos:
 - ATMEL AVR (Atmel RAVEN)
 - ESP32 (Pycom)
 - ARM Cortex M3 (OpenMote, TI), Cortex A8 (IoTLab A8, ST)
 - ATMEL ATMEGA (IRIS Mote) (deRFMega)
 - Nordic - NRF52840 (Adafruit Feather)



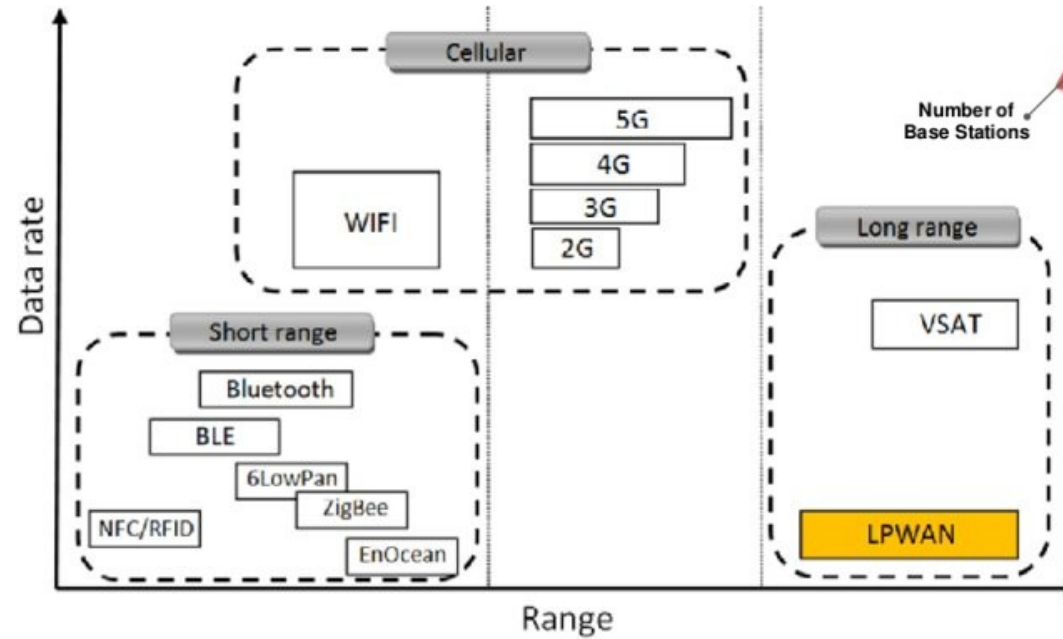
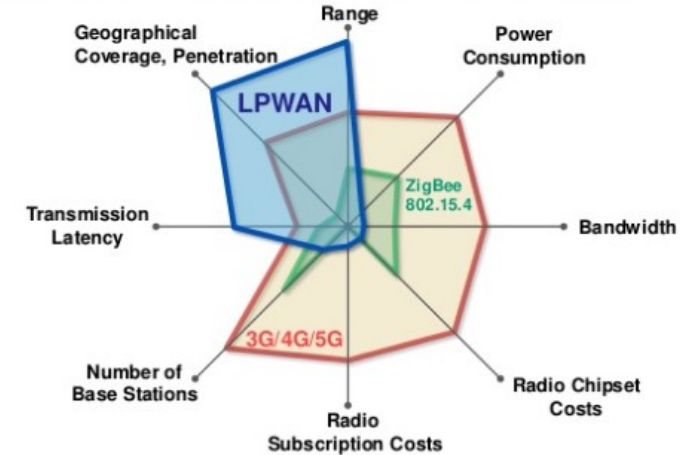
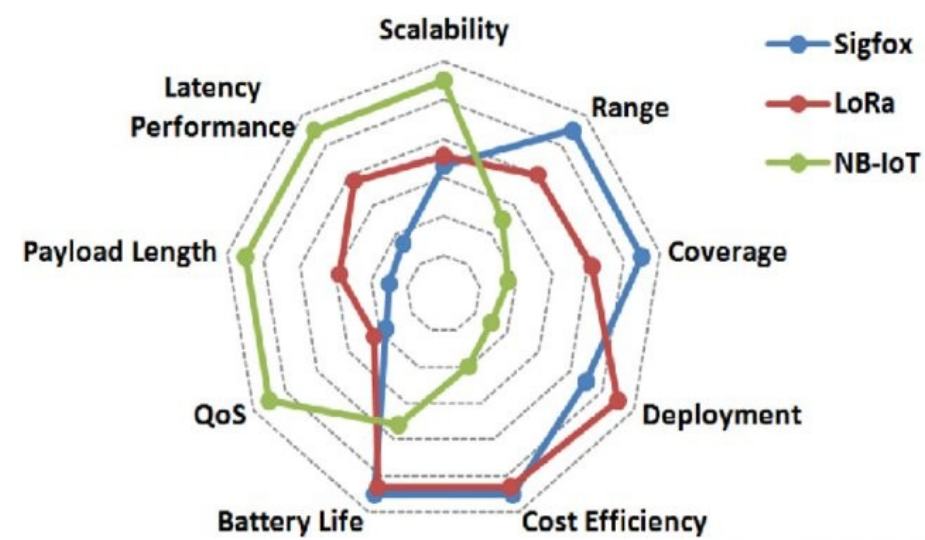
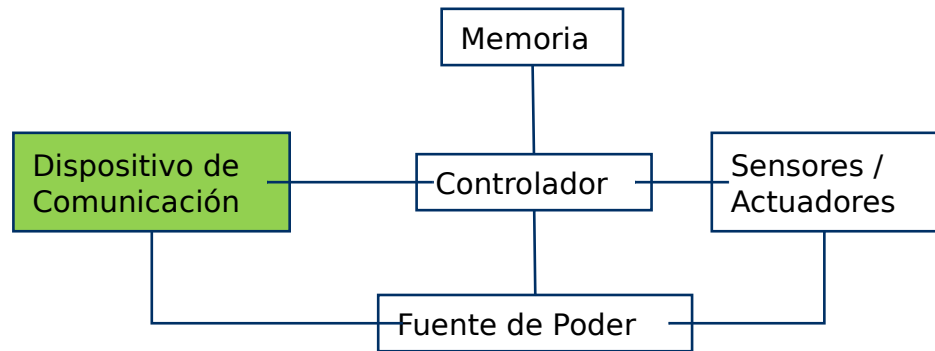
Nodo - Hardware

- La Radio tiene determinadas capacidades:
 - Interfaz: Bit, Byte, Paquetes?
 - Banda de **Frecuencias**? 433MHz, 868MHz, 915MHz, 2.4GHz...
 - Múltiples canales?
 - Velocidades de datos?
 - Rango?



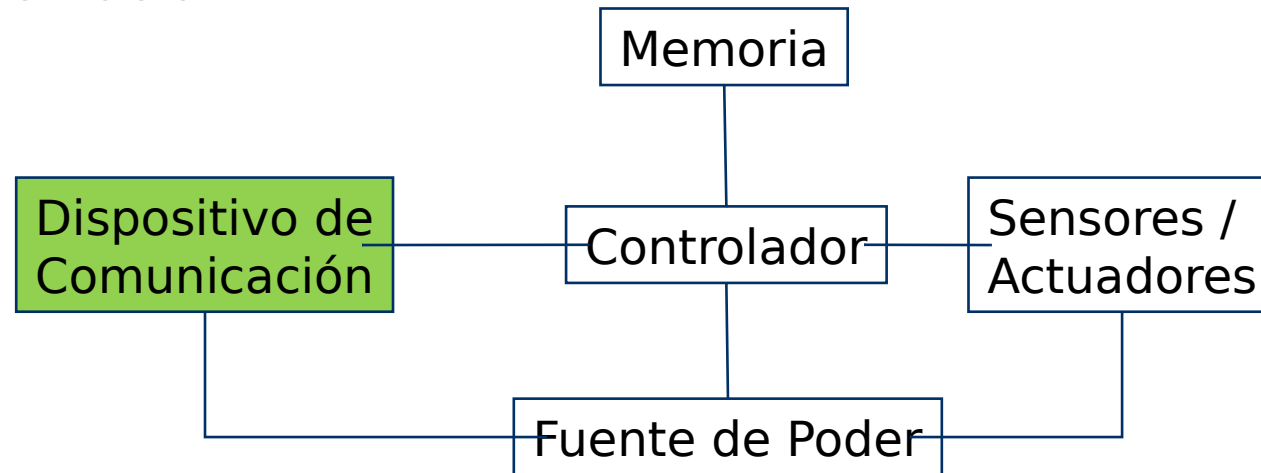
Nodo - Hardware

- La Energía en la Radio:
 - Potencia en **Tx y RX**?
 - Tiempo y Energía de **encendido y apagado**?
 - Control de **Potencia de Transmisión**?
 - **Eficiencia** de consumo? (Potencia consumida vs. Potencia transmitida)



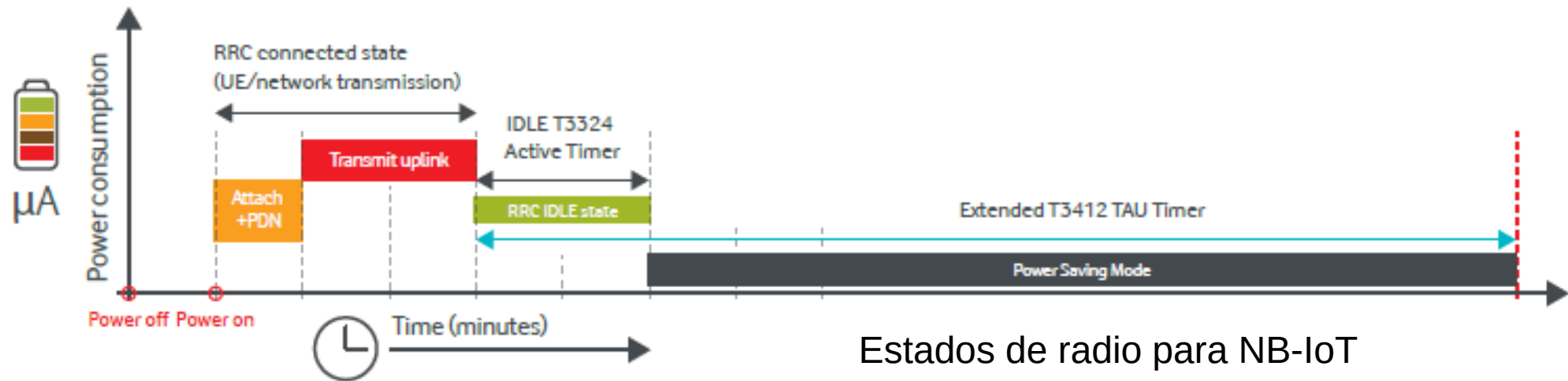
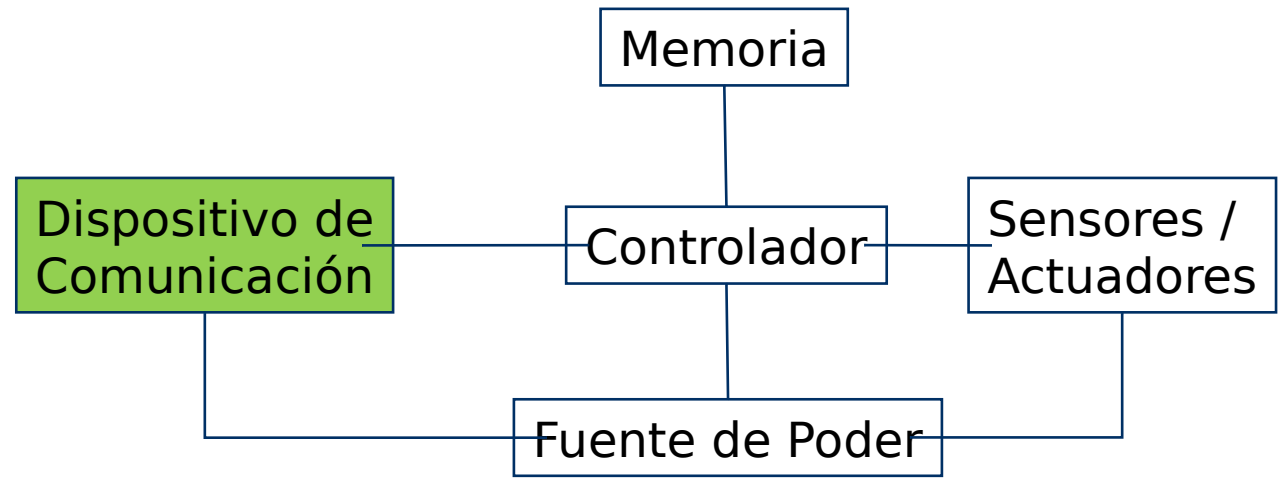
Nodo - Hardware

- La Performance de la Radio:
 - Modulación
 - Figura de Ruido?
 - Ganancia?
 - Sensibilidad?
 - Sensado de Portadora?
 - Rango de voltaje de alimentación?
- Generación de Interrupción en recepción?
- Integrada con uP?
- Standards que soporta?
- Estabilidad en Frecuencia?



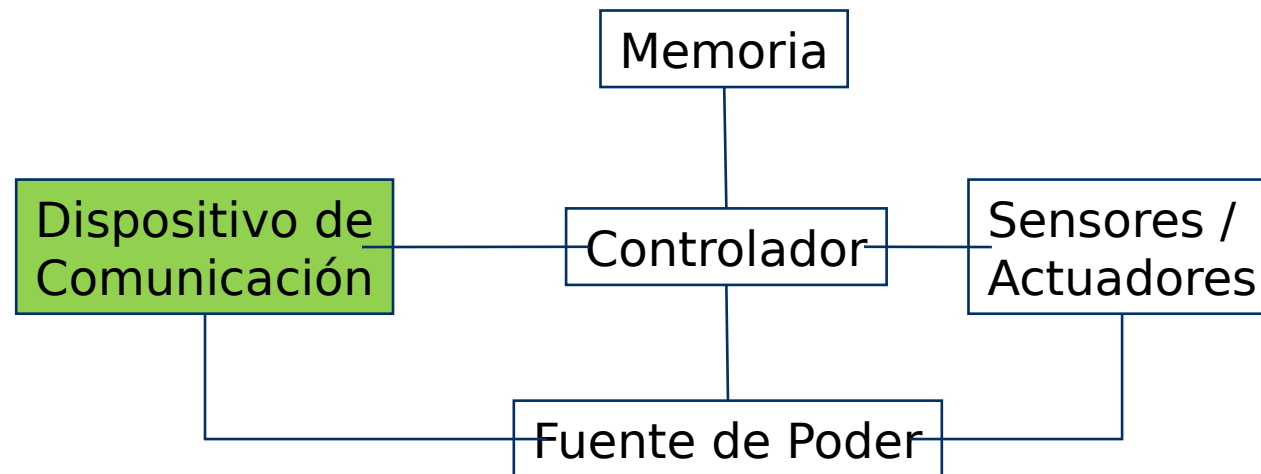
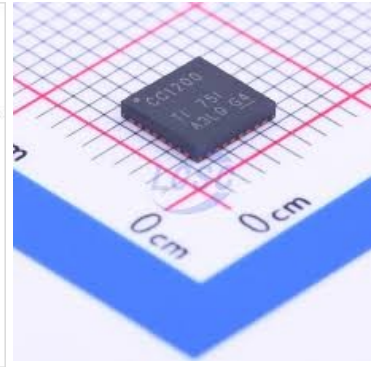
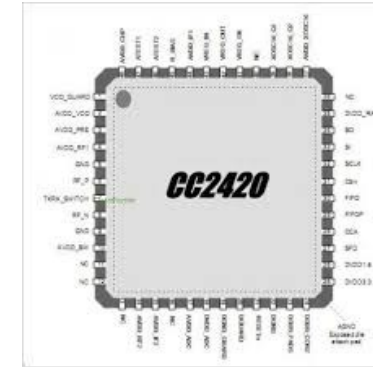
Nodo - Hardware

- La **Estados** de una Radio:
 - Transmisión
 - Recepción
 - Idle (Lista para recibir, sin hacerlo)
 - Sleep (Toma un tiempo para despertar)

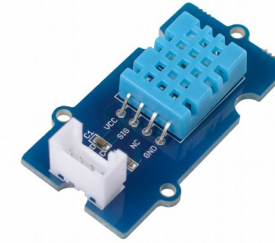


Nodo - Hardware

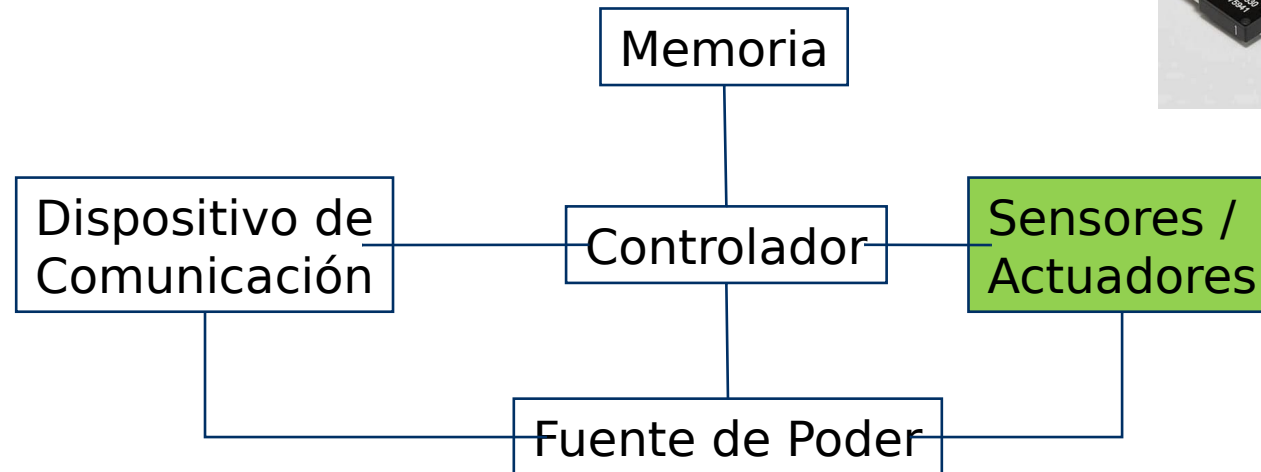
- Ejemplos de Radios:
 - Atmel RF230 (Atmel Raven)
 - Texas Instruments CC1200 (integrada en el CC2538)
 - Texas Instruments CC2420 (Zolertia Z1)
 - LoRaWAN Semtech SX1302 (Gateway) SX1262 (Nodo)
 - Nordic NRF9160 (NB-IoT / LTE-M), con uP ARM Cortex-M33



Nodo - Hardware



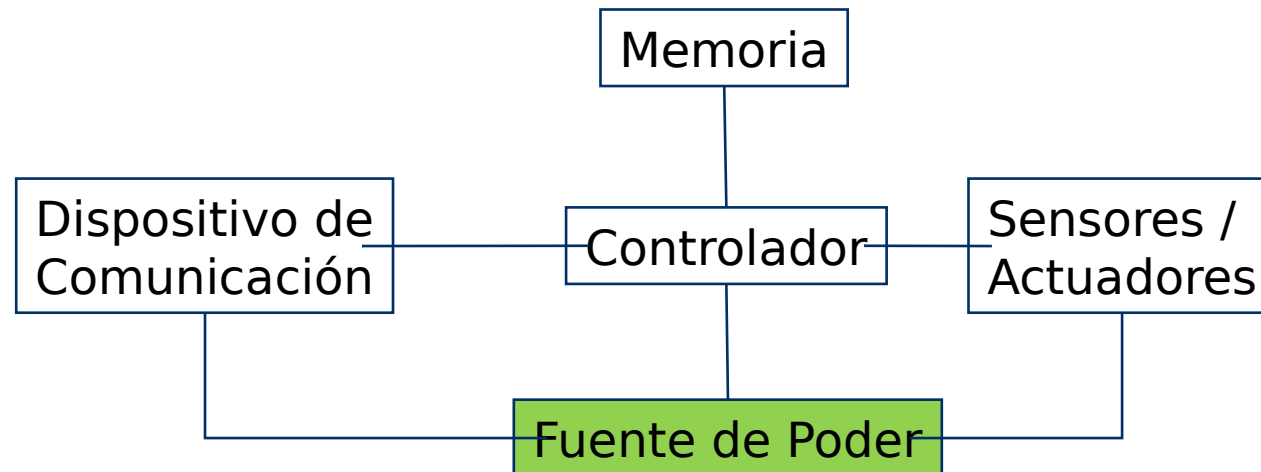
- Sensores:
 - Parámetro a medir: Temperatura, Humedad, Presión, Desplazamiento, Aceleración, Vibración, Radiación, Flujo, Luz, Gas, PH, Químicos, Sonido, Nivel, Distancia...
 - Directividad: Omnidireccional?
 - Activos o Pasivos (Ultrasonido=Activo)
 - Cobertura?



Nodo - Hardware

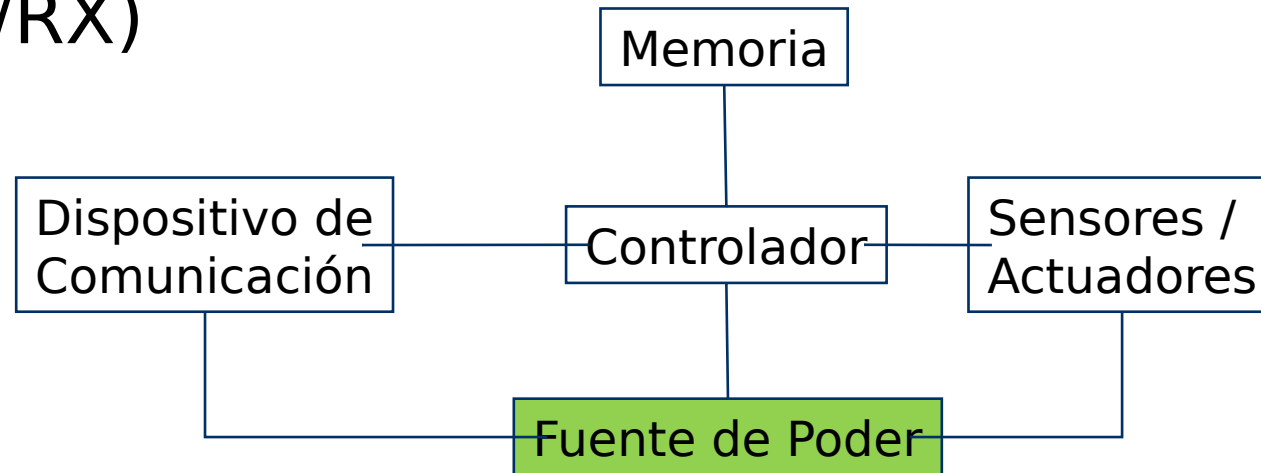


- Fuente de poder:
 - Proveer la máxima energía posible respecto del costo, volumen, peso, tiempo de recarga y longevidad. (si es que se puede recargar)
 - Baterías primarias – no recargables, Secundarias, con recarga, ej. Solar.
 - Baja auto-descarga, larga vida almacenada, capacidad bajo carga, recarga eficiente con baja corriente, estabilidad de voltaje



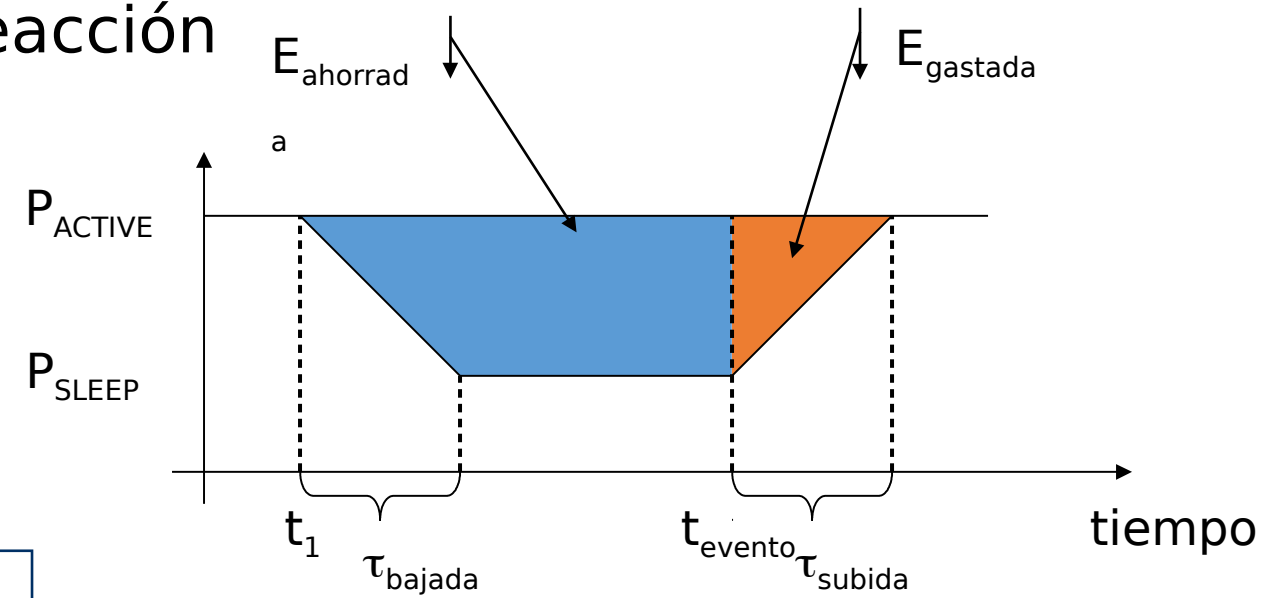
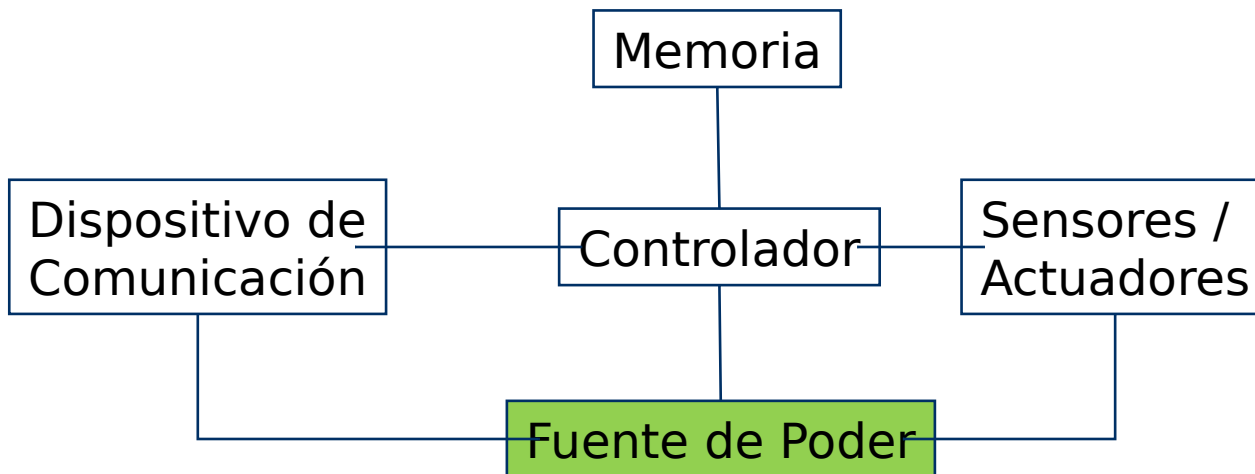
Nodo - Hardware

- **Consumo de energía:** Si el procesador consume $1nJ$ por instrucción, y una batería provee $1J$, entonces si sólo alimenta al procesador, da para 10^9 instrucciones, a una potencia promedio de $11,5 \mu W$ (suponiendo consumir toda la energía en un día).
- Solución: **Duty cycle**. (Active/Idle/Sleep alternados en uP y TX/RX)



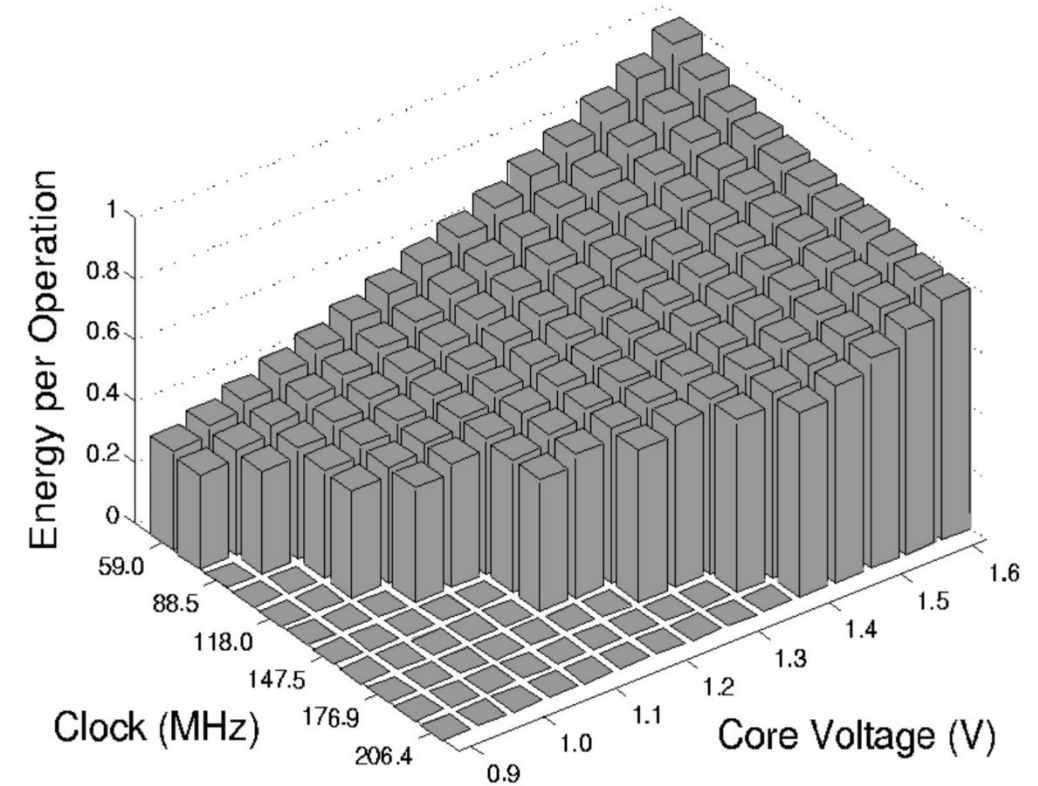
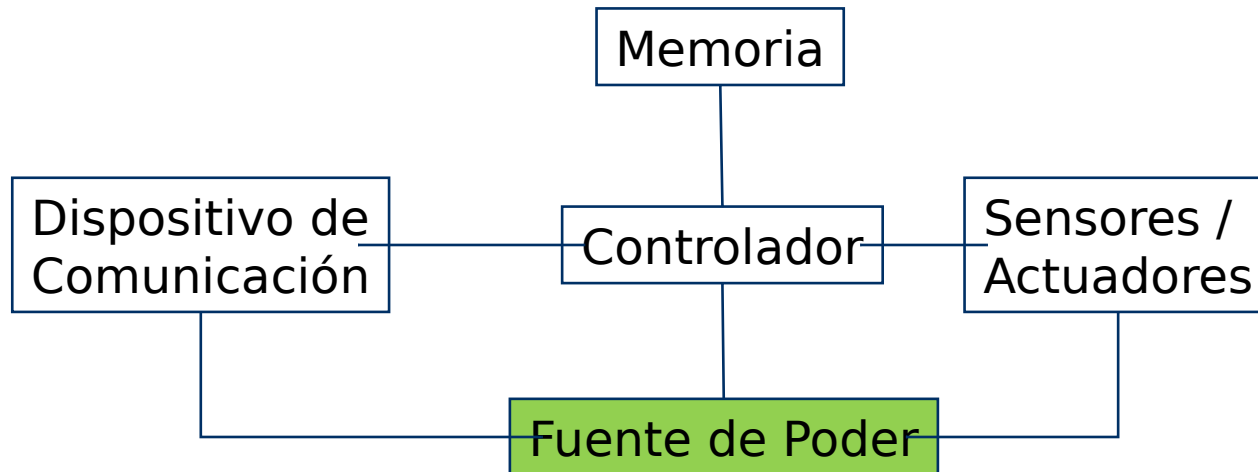
Nodo - Hardware

- Solo tiene sentido si la energía ahorrada es mayor a la energía gastada para despertar al sistema:
- Además, agrega tiempo de reacción



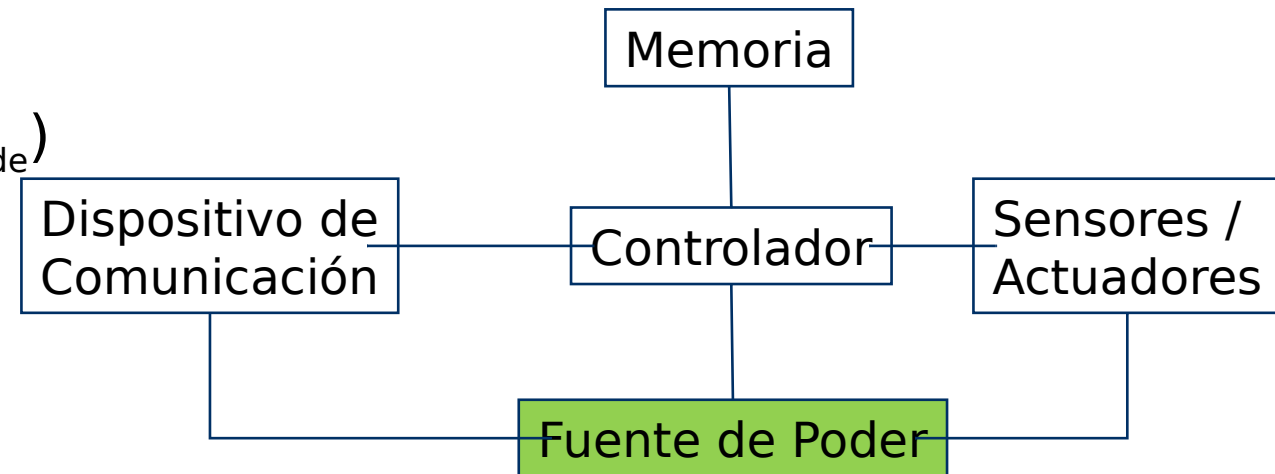
Nodo - Hardware

- Escalamiento Dinámico de Voltaje
- La potencia depende de la frecuencia y del cuadrado del voltaje: $P=fV^2$
- Menor voltaje, menor consumo pero menor velocidad de ejecución.



Nodo - Hardware

- Potencia del amplificador: $P_{\text{amp}} = \alpha_{\text{amp}} + \beta_{\text{amp}} P_{\text{tx}}$
 - P_{tx} **potencia radiada**
 - α_{amp} , β_{amp} constantes que dependen del modelo
 - Más alta eficiencia ($\eta = P_{\text{tx}} / P_{\text{amp}}$) a la máxima potencia de salida
- El transmisor requiere además P_{txElec}
- Tiempo para transmitir n bits: $n / (R \cdot R_{\text{code}})$
 - R vel. bits nominal, R_{code} vel. codificación
- Para dejar el modo SLEEP
 - Tiempo T_{start} , potencia promedio P_{start}

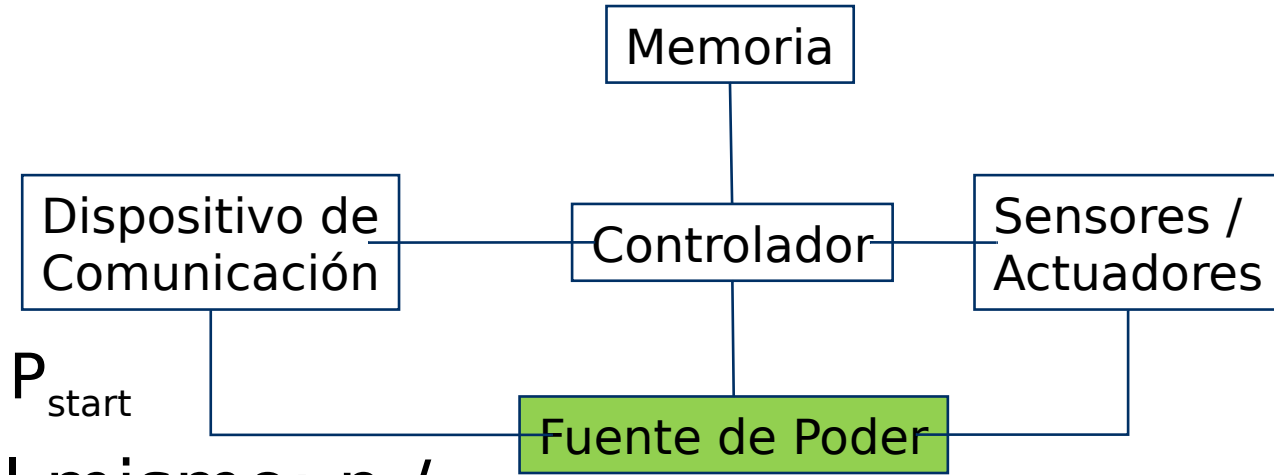


$$E_{\text{tx}} = T_{\text{start}} P_{\text{start}} + n / (R \cdot R_{\text{code}}) (P_{\text{txElec}} + \alpha_{\text{amp}} + \beta_{\text{amp}} P_{\text{tx}})$$

- Simplificación: No se considera modulación

Nodo - Hardware

- Costo de inicio en el Receptor
 - Tiempo T_{start} , potencia promedio P_{start}
- Tiempo para recibir n bits es el mismo: $n / (R \cdot R_{\text{code}})$
- La electrónica de recepción **requiere** P_{rxElec}
- Más la energía para decodificar n bits E_{decBits}



$$E_{\text{rx}} = T_{\text{start}} P_{\text{start}} + n / (R \cdot R_{\text{code}}) P_{\text{rxElec}} + E_{\text{decBits}} (R)$$

Nodo - Hardware

- Relación entre **enviar un bit** y **ejecutar una instrucción**
- Entre 220 y 2900 veces.
- Enviar y recibir 1Kbyte equivale a 3 millones de instrucciones.
- Moraleja: **procesar en lugar de transmitir cuando sea posible.**
- Aprovechar técnicas descompresión de datos.

