

TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Redes de Sensores Inalámbricos

Introducción y protocolos

Redes de Sensores Inalámbricos

Qué vamos a ver hoy...

- Conceptos generales
- Redes de Sensores Inalámbricos
- Protocolos y Sistemas Operativos
- Aplicaciones
- El estándar XBee

Concepto

- Wireless Sensor Network (WSN)
- Definición:
 - “A wireless sensor network (WSN) is a wireless network consisting of spatially distributed autonomous devices using sensors to cooperatively monitor physical or environmental conditions, such as temperature, sound, vibration, pressure, motion or pollutants, at different locations” (Wikipedia)

Redes de Sensores Inalámbricos

Una tecnología en fase emergente

El MIT identificó en Febrero de 2003 las 10 tecnologías emergentes que cambiarán el mundo: **WIRELESS SENSOR NETWORKS**, aparece la primera.

- El número de empresas que fabrican sensores en un país, está considerado como un indicador tecnológico.
- La ley de BELL:
 - “Aparecerá una nueva tecnología cada 10 años”
- Integración con otras tecnologías
 - Agricultura, biología, medicina, etc.
- Posibilita aplicaciones antes impensables
 - Interacción de los seres humanos con el medio
- Alrededor del mundo, científicos e investigadores de gran renombre se han subido al tren de las WSN

Redes de Sensores Inalámbricos

¿qué es una WSN?

Miles, millones de dispositivos pequeños, autónomos, distribuidos geográficamente, llamados *nodos sensores instalados alrededor de un fenómeno* objeto para monitorizarlo, con capacidad de cómputo (realizar mediciones), almacenamiento y comunicación en una red conectada sin cable.



Nodos

Nodos sensores:

- Integran sensores para realizar mediciones (luz, temperatura, presión, humedad,...)
- Restringidos en: energía, capacidad de cómputo, memoria
- Uso intensivo de:
 - Radio (para enviar/recibir)
 - CPU (para procesamiento)
- Sensores baratos (1\$ en el 2005)
- Alta probabilidad de fallo
- Redes desatendidas (sin intervención humana), con alta probabilidad de fallo (en los nodos, en la topología) , habitualmente construidas “ad-hoc” para resolver un problema muy concreto (es decir, para ejecutar una única aplicación).
- Recientemente, también se incorporan actuadores a los nodos.

Redes de Sensores Inalámbricos

Elementos que componen la red

- SENSORES:

- De distinta naturaleza y tecnología toman del medio la información y la convierten en señales eléctricas.

- NODOS SENSOR:

- Procesadores de radio: toman los datos del sensor a través de sus puertos de datos, y envían la información a la estación base.

- GATEWAY:

- Elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP.

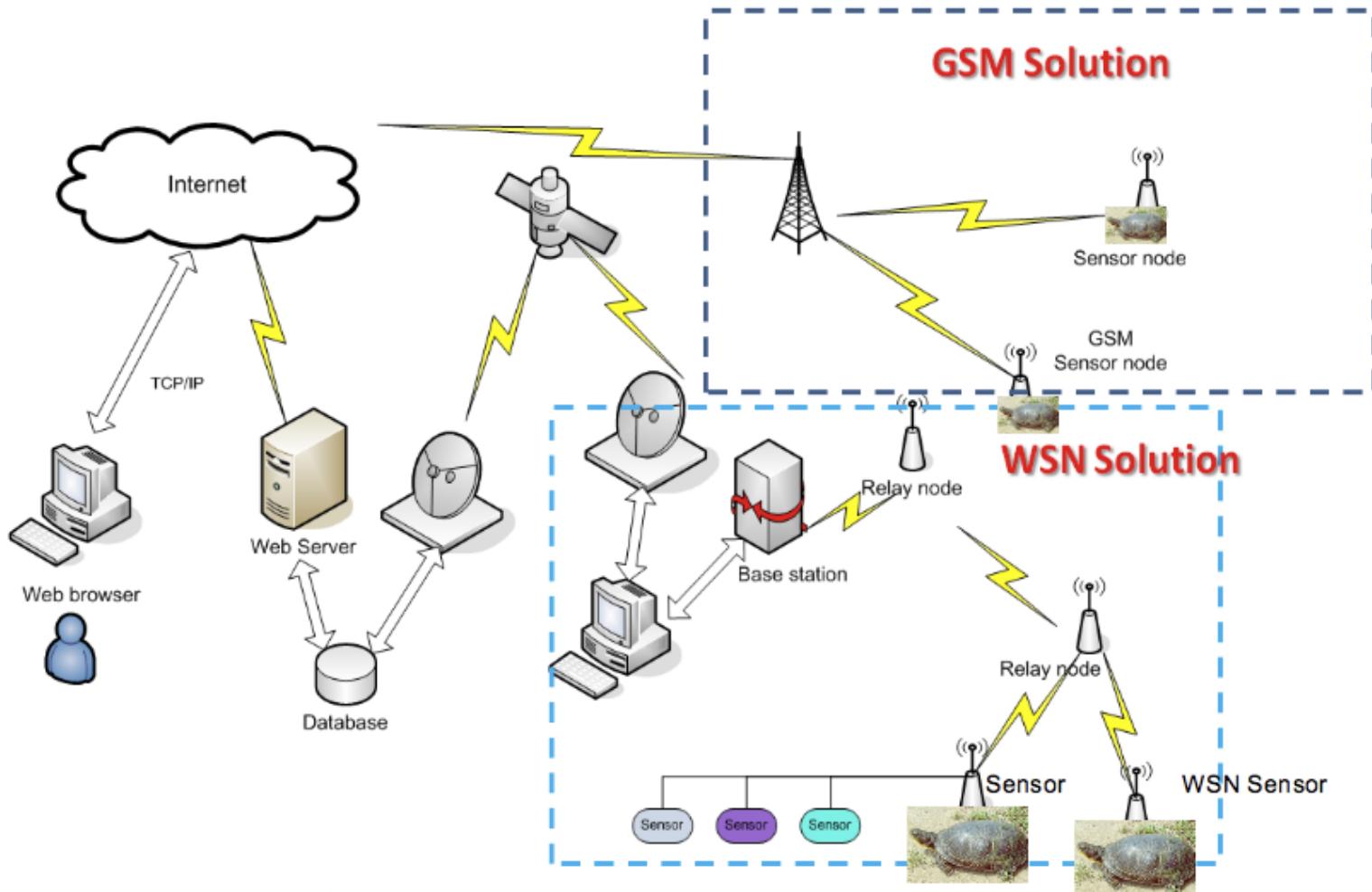
- ESTACIÓN BASE:

- Recolector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido.

- RED INALÁMBRICA:

- Típicamente basada en el estándar 802.15.4 ZigBee.

Diferencia con sensores basados en telefonía



Características de una WSN

WSN

- Tiempo de vida
- Cobertura
- Coste y facilidad de despliegue (“deployment”)
- Tiempo de respuesta
- Precisión y frecuencia de las mediciones
- Seguridad

Nodos

- Energía
- Flexibilidad
- Robustez
- Seguridad
- Comunicación
- Computación
- Sincronización
- Tamaño
- Coste

Redes de Sensores Inalámbricos

Algunas aplicaciones

- Monitorización ambiental

- Aplicación donde un científico quiere recoger lecturas de un entorno inaccesible y hostil en un período de tiempo para detectar cambios, tendencias, etc.
- Gran número de nodos sincronizados midiendo y transmitiendo periódicamente.
- Tiempo de vida alto de la WSN.
- Sincronización precisa en WSN.
- Topología física relativamente estable.
- Sin requerimientos de latencia estrictos (datos para análisis futuro no para tiempo real).
- Reconfiguración de la red infrecuente
- Ej: control de agricultura, microclimas, etc.



Redes de Sensores Inalámbricos

Algunas aplicaciones

- Seguridad y vigilancia
 - Aplicación para detección de anomalías u ataques en entornos monitorizados continuamente por sensores
 - Los nodos no están continuamente enviando datos: “*Report by exception*”
 - Menor consumo de energía.
 - Importancia del “status” de un nodo.
 - Requisitos de tiempo real: importancia de la latencia de las comunicaciones.
 - Ejemplos: control de edificios inteligentes, detención de incendios, aplicaciones militares, etc

Redes de Sensores Inalámbricos

Algunas aplicaciones

- Seguimiento:
 - Aplicación para controlar objetos que están etiquetados con nodos sensores en una región determinada.
 - A diferencia del resto , la topología de la red es muy dinámica, debido al continuo movimiento de los nodos sensores:
 - La WSN debe ser capaz de descubrir nuevos nodos y formar nuevas topologías.
- Redes híbridas:
 - En general, los escenarios de aplicación contienen aspectos de las tres categorías anteriores.



Redes de Sensores Inalámbricos

Retos principales

- Optimización del consumo de energía en los nodos para lograr el máximo tiempo de vida de la red:
 - La comunicación es el primer consumidor de energía.
 - CPU es capaz quedar en estado “sleep” mientras “no tenga nada que hacer”
 - Economizar la distancia de las comunicaciones.
 - Técnicas de software: programación eficiente de líneas de código
- Ancho de banda y cobertura de la red limitados
- Recursos de computación limitados:
 - Memoria
 - CPU

Redes de Sensores Inalámbricos

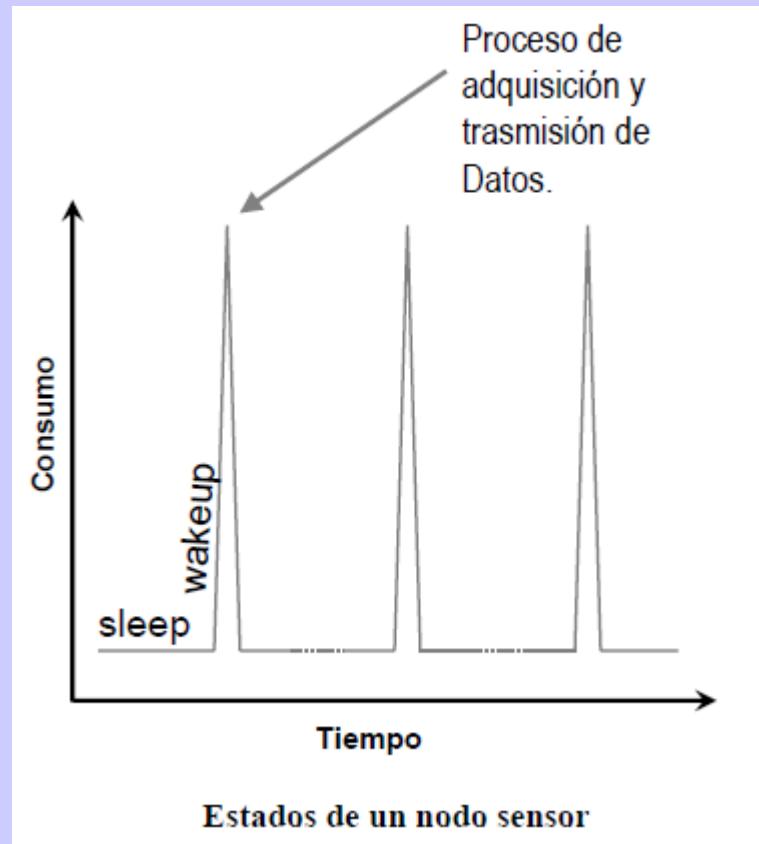
Retos principales

- Soluciones ad-hoc para redes ad-hoc
- Topología muy dinámica de la red:
 - Elementos móviles
 - Nodos con alta probabilidad de fallo
 - Nodos que entran en el sistema
 - Cuantos más nodos en la red mayor será el rendimiento.

Redes de Sensores Inalámbricos

Estados para el ahorro de energía

- Varios estados para un nodo.
- Sleep:
 - La mayor parte del tiempo.
- Wakeup:
 - minimizar este tiempo para pasar rápidamente al estado de trabajo
- Active:
 - mínimo periodo de tiempo de trabajo y retorno inmediato al estado sleep.



Redes de Sensores Inalámbricos

Consumo energético en recepción y envío

Recepción

Components	Packet reception work breakdown	Percent CPU utilization	Energy (nJ/bit)
AM	0.05%	0.02%	0.33
Packet	1.12%	0.51%	4.58
Radio Handler	26.87%	12.16%	182.38
Radio decode thread	5.48%	2.48%	37.2
RFM	66.48%	30.08%	451.17
Radio Reception	-	-	1350
Idle	-	54.75%	-
Total	100.00%	100.00%	2028.66

Transmisión

Components	Packet transmission work breakdown	Percent CPU utilization	Energy (nJ/bit)
AM	0.03%	0.01%	0.18
Packet	3.33%	1.59%	23.89
Radio Handler	35.32%	16.90%	253.55
Radio decode thread	4.53%	2.17%	32.52
RFM	56.80%	27.18%	407.17
Radio Transmission	-	-	1800
Idle	-	52.14%	-
Total	100.00%	100.00%	4317.89

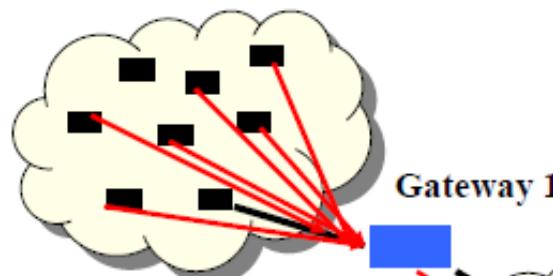
Comparativa entre distintas plataformas (desde un PC al smart dust)

	Wins NG 2.0	iPAQ	Berkeley MICA Mote	Smart Dust
Parts cost	\$100s	\$100s	\$10s	<\$1
SIZE (cm^3)	5300	600	40	.002
Weight (g) including battery	5400	350	70	.002
Battery Capacity (Kj)	300	35	15	(Less)
Sensors	Off-board	Microphone & light sensors	Integrated on PCB: acceleration, temperature, light, sound	MEMS sensors to be integrated
Memory	32 MB RAM 32 MB flash	64 MB RAM 32 MB flash	4 KB RAM 128 KB flash	(Less)
CPU	Hitachi SH4	StrongARM or Xscale	Atmega 103L	(Less powerful)
Operating System	Linux	WinCE or Linux	TinyOS	(smaller)
Processing capability	400 MIPS/1.4 GFLOPS	240 MIPS	4 MIPS	(Less)
Radio Range	100 m.	100 m.	30 m.	(Shorter)

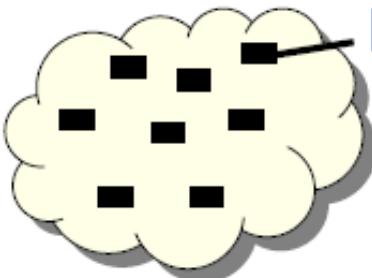
Redes de Sensores Inalámbricos

Tipos de Arquitecturas de WSN: centralizada

WSN1 instalada en el fenómeno 1



Gateway 1



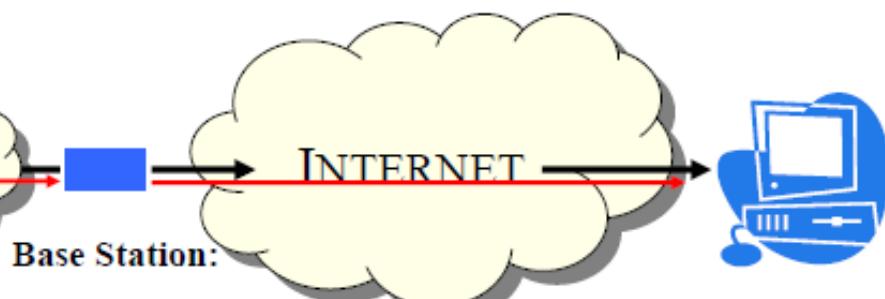
WSN2 instalada en el fenómeno 2

1) Durante toda la vida de un nodo en una WSN:

- DESPERTAR-MEDIR-TRANSMITIR-DORMIR

2) Problemas:

- CUELLO de BOTELLA en los Gateway
- GRAN CONSUMO DE ENERGÍA: comunicaciones
 - TIEMPO DE VIDA de la red corto



Base Station:

- Almacenamiento y envío de los resultados al Servidor Central
- Conectividad a Internet

Servidor Central:

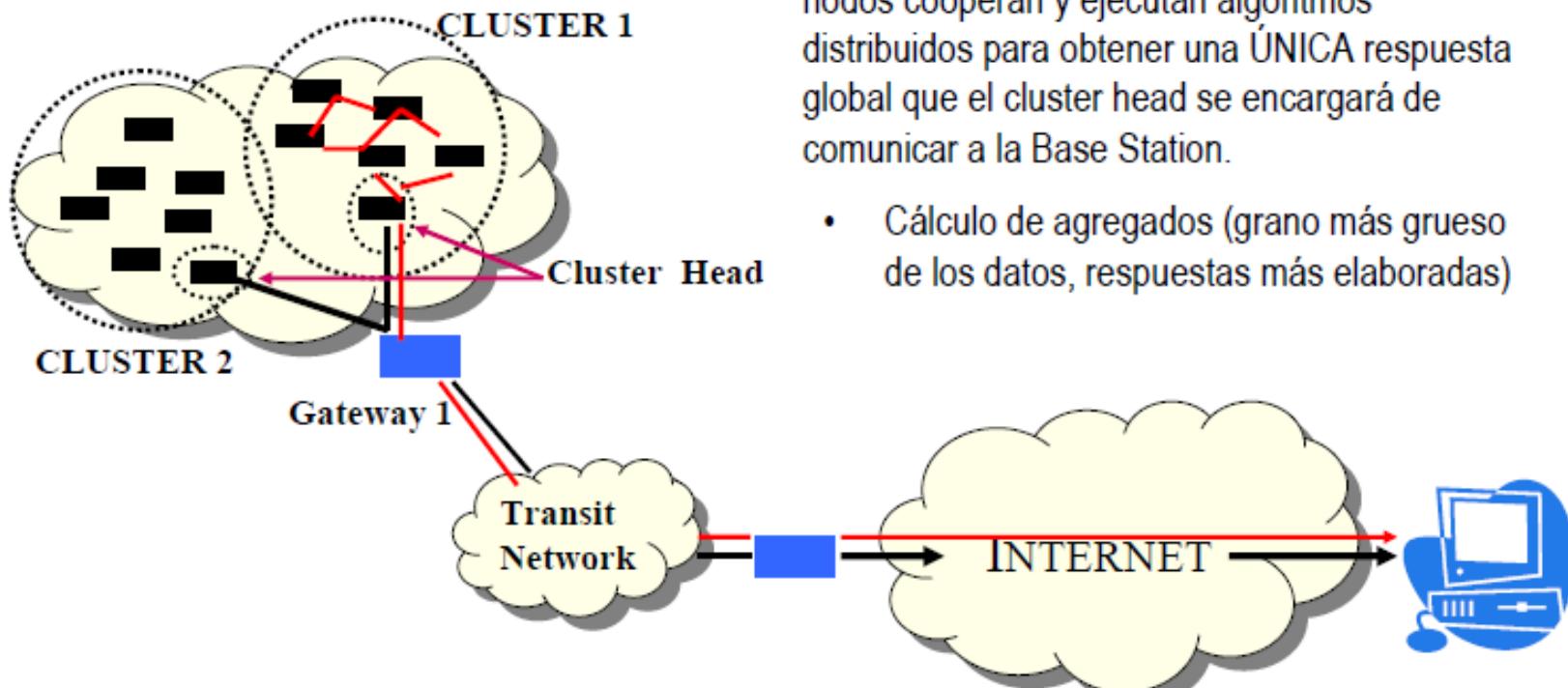
- Análisis de datos
- Visualización de resultados
- Técnicas de Data Mining

Redes de Sensores Inalámbricos

Tipos de Arquitecturas de WSN: distribuida

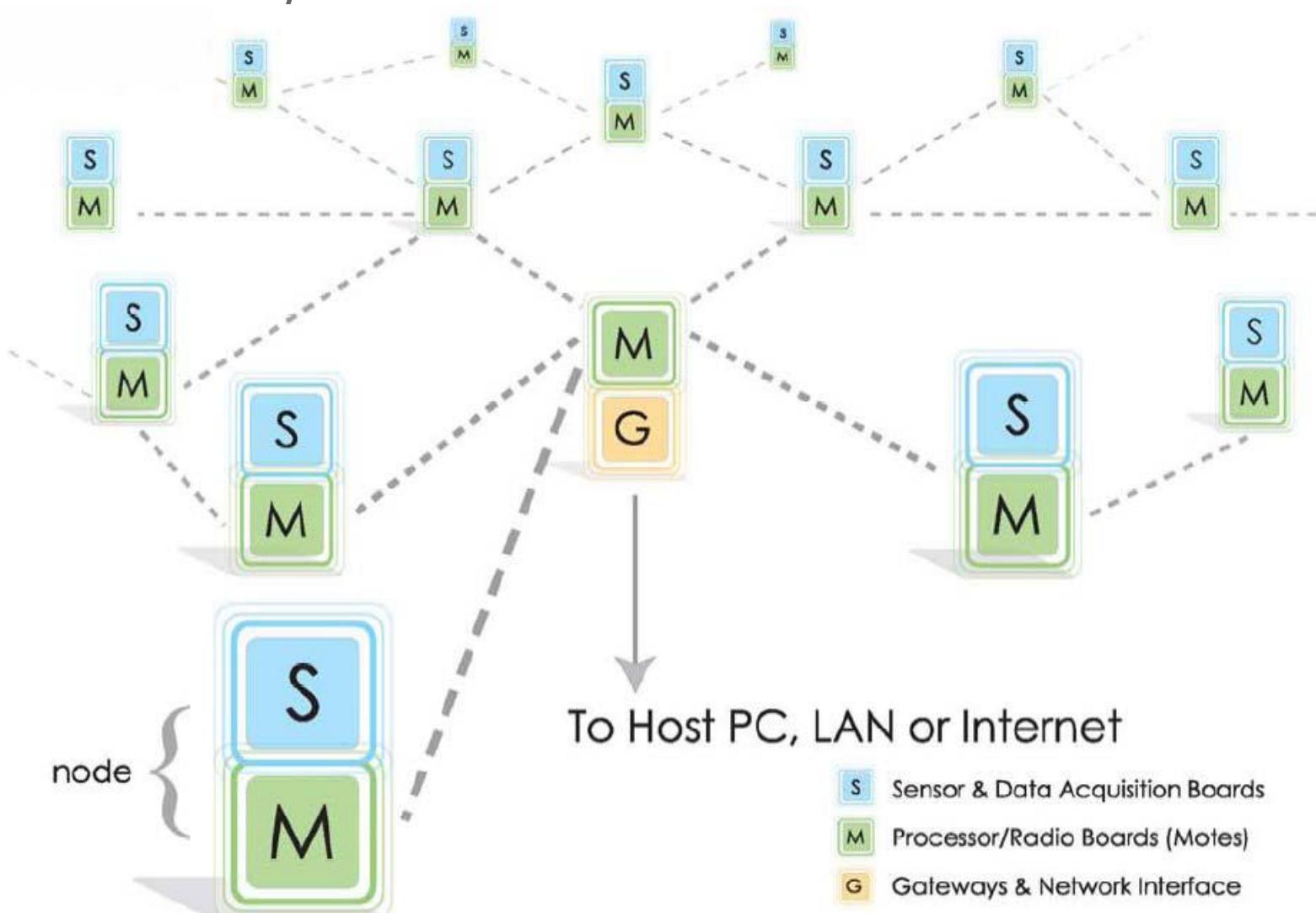
- Dada la naturaleza intrínseca de la WSN se tiende a una computación distribuida:
 - Aquella en la que los nodos sensores se comunican sólo con otros sensores dentro de un vecindario

WSN1 instalada en el fenómeno



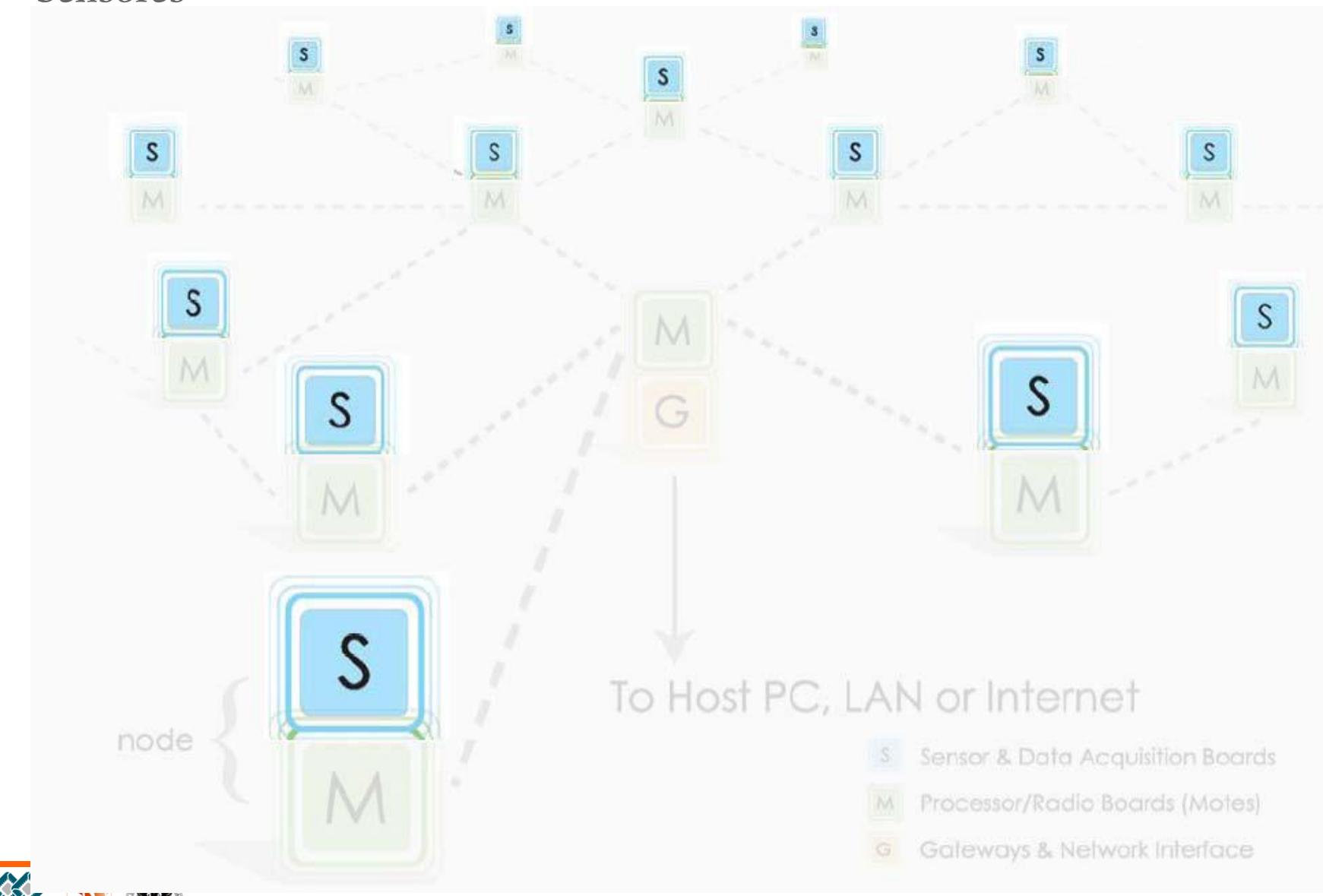
Redes de Sensores Inalámbricos

- *Elementos de la arquitectura de una red*



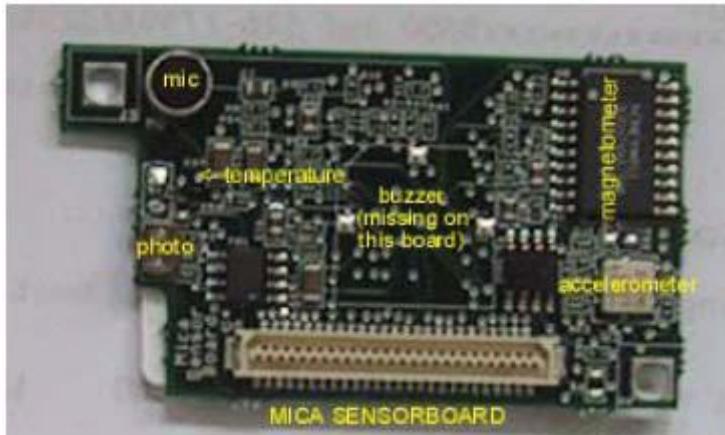
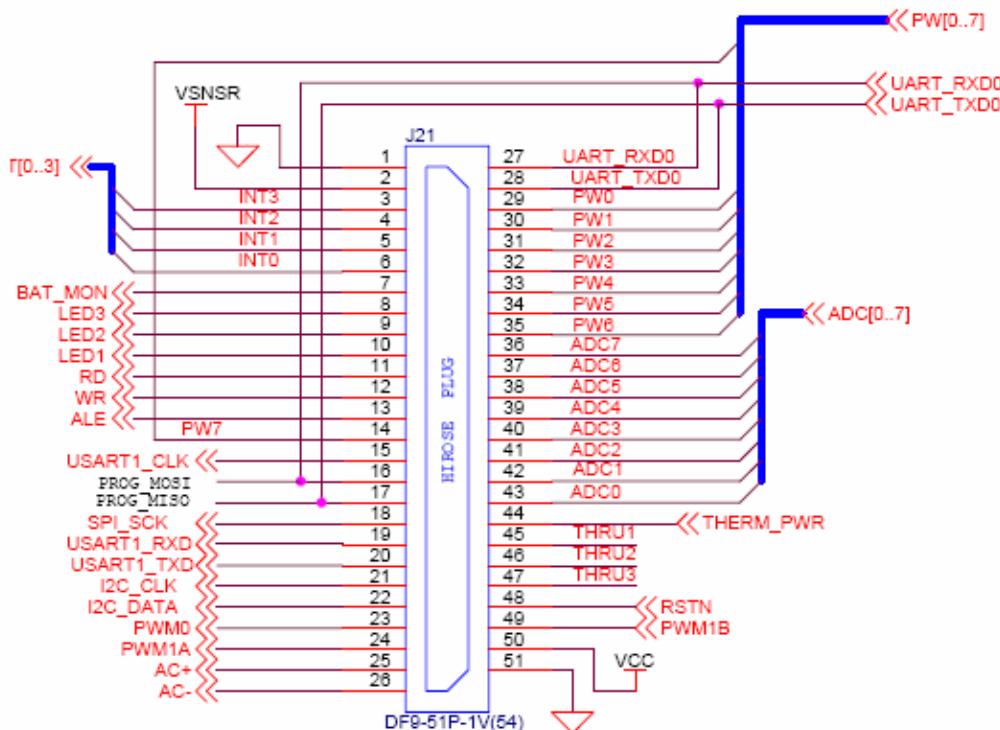
Redes de Sensores Inalámbricos

- *Sensores*



Redes de Sensores Inalámbricos

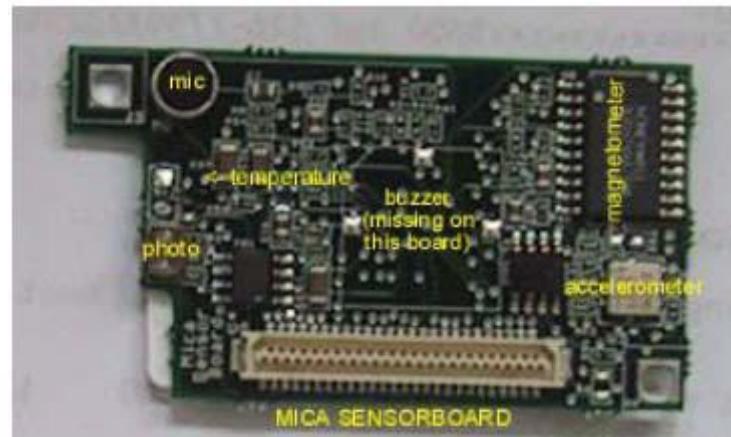
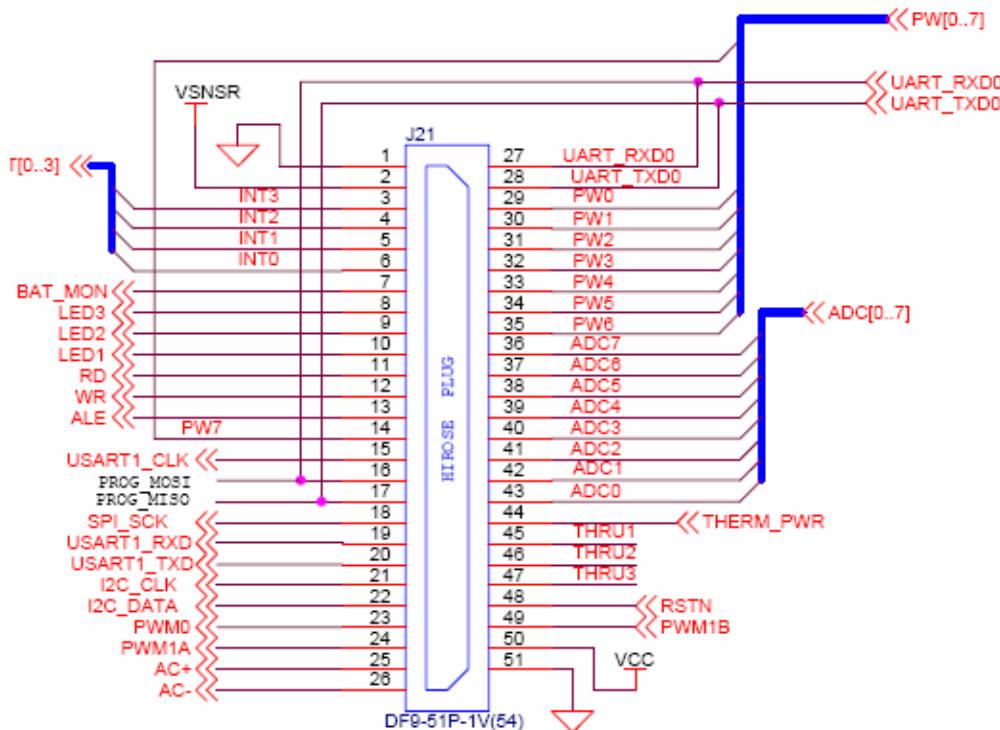
- Interfaz con la “mota” (procesador + radio)



PIN	NAME	DESCRIPTION
1	GND	GROUND
2	VSNSR	SENSOR SUPPLY
3	INT3	GPIO
4	INT2	GPIO
5	INT1	GPIO
6	INT0	GPIO
7	BAT_MON	BATTERY VOLTAGE MONITOR ENABLE
8	LED3	LED3
9	LED2	LED2
10	LED1	LED1
11	RD	GPIO
12	WR	GPIO
13	ALE	GPIO
14	PW7	POWER CONTROL 7
15	USART1_CLK	USART1 CLOCK
16	PROG_MOSI	SERIAL PROGRAM MOSI
17	PROG_MISO	SERIAL PROGRAM MISO
18	SPI_SCK	SPI SERIAL CLOCK
19	USART1_RXD	USART1 RX DATA
20	USART1_TXD	USART1 TX DATA
21	I2C_CLK	I2C BUS CLOCK
22	I2C_DATA	I2C BUS DATA
23	PWM0	GPIO/PWM0
24	PWM1A	GPIO/PWM1A
25	AC+	GPIO/AC+
26	AC-	GPIO/AC-

Redes de Sensores Inalámbricos

- Interfaz con la “mota” (procesador + radio)



PIN	NAME	DESCRIPTION
1	GND	GROUND
2	VSNSR	SENSOR SUPPLY
3	INT3	GPIO
4	INT2	GPIO
5	INT1	GPIO
6	INT0	GPIO
7	BAT_MON	BATTERY VOLTAGE MONITOR ENABLE
8	LED3	LED3
9	LED2	LED2
10	LED1	LED1
11	RD	GPIO
12	WR	GPIO
13	ALE	GPIO
14	PW7	POWER CONTROL 7
15	USART1_CLK	USART1 CLOCK
16	PROG_MOSI	SERIAL PROGRAM MOSI
17	PROG_MISO	SERIAL PROGRAM MISO
18	SPI_SCK	SPI SERIAL CLOCK
19	USART1_RXD	USART1 RX DATA
20	USART1_TXD	USART1 TX DATA
21	I2C_CLK	I2C BUS CLOCK
22	I2C_DATA	I2C BUS DATA
23	PWM0	GPIO/PWM0
24	PWM1A	GPIO/PWM1A
25	AC+	GPIO/AC+
26	AC-	GPIO/AC-

Redes Inalámbricas de Sensores

- *Ejemplos de sensores*



MTS300/310. Sensor Boards.

Sensor capaz de detectar aceleración, luminosidad, micrófono, sonido, magnetómetro, temperatura.

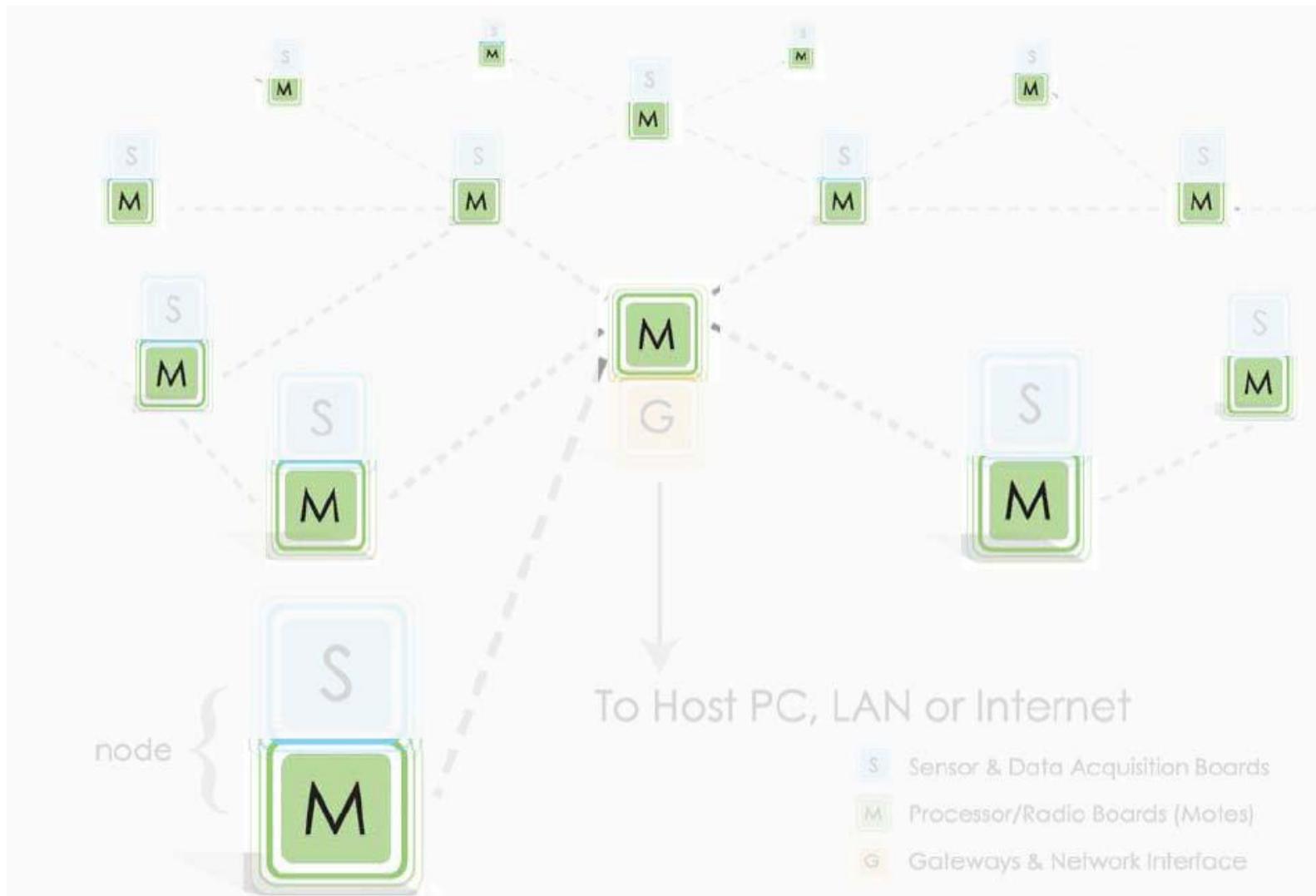


MTS420. Sensor Boards.

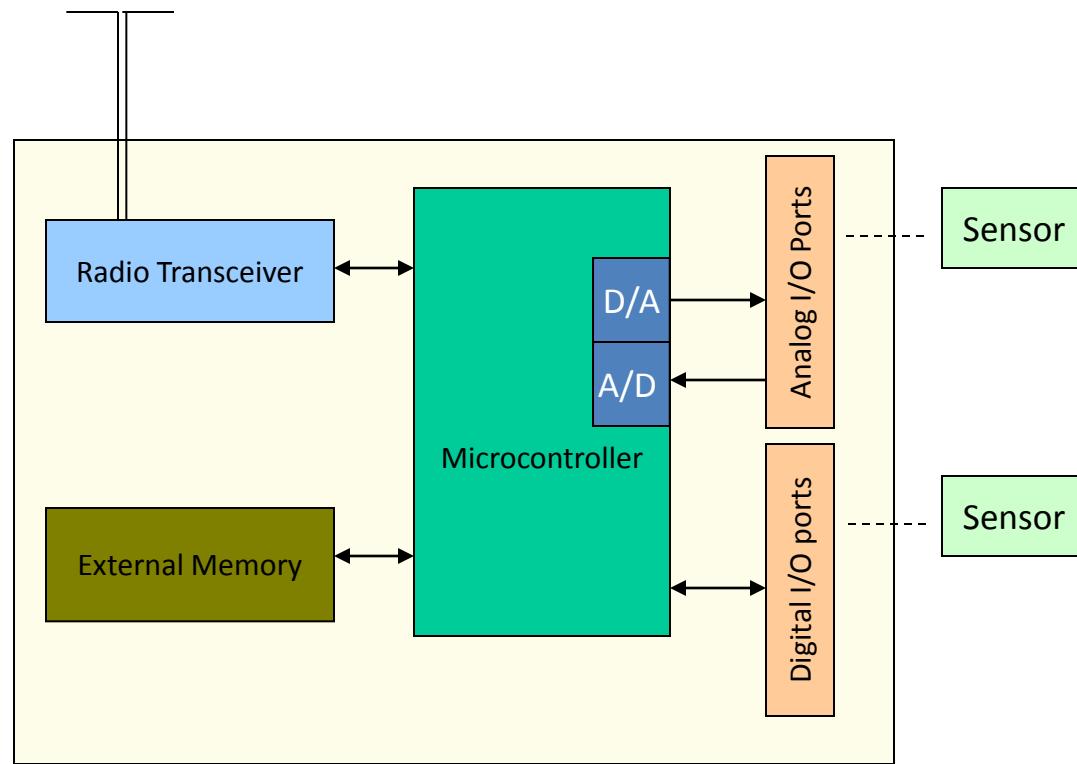
Sensor capaz de detectar temperatura, humedad, luminosidad, es fotosensible a la luz, contiene un barómetro.

Redes de Sensores Inalámbricos

- *Motas*



Motas



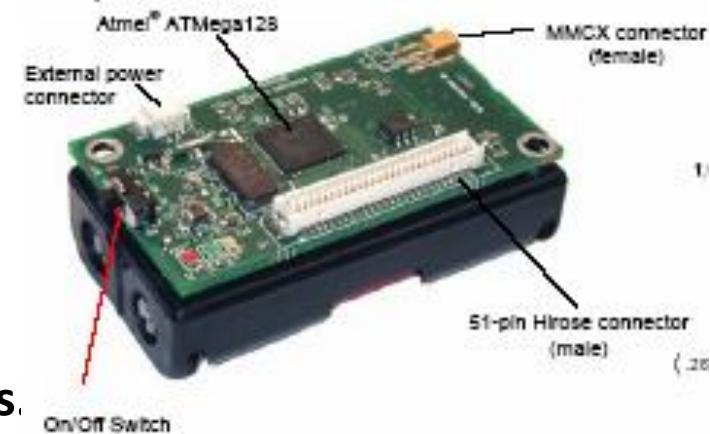
- Computador de bajo coste y bajo consumo
- Monitoriza uno o más sensores
- Incluye un enlace inalámbrico
- Constituyen los elementos que forman la red de sensores inalámbricos

Redes de Sensores Inalámbricos

- Ejemplo de mota
- Dispositivos que integran:

- Un par de baterías AA.
- Una CPU.
- Memoria Flash
- Memoria separada para datos programas
- Una placa de sensores:
 - luz, humedad, presión, etc.
- Radio para comunicar con otras motes.
- ADC: conversor analógico-digital

- Resistentes a la intemperie y terrenos inhóspitos.
- Capaces de ejecutar una aplicación
- Comercializados por Crossbow, proveedor de Universidad de Berkeley



Redes de Sensores Inalámbricos

Mote Type	WeC	René	René 2	Dot	Mica	Mica2Dot	Mica 2	Telos
Year	1998	1999	2000	2000	2001	2002	2002	2004
       								
Microcontroller								
Type	AT90LS8535		ATmega163		ATmega128		TI MSP430	
Program memory (KB)	8		16		128		60	
RAM (KB)	0.5		1		4		2	
Active Power (mW)	15		15		8		33	
Sleep Power (μ W)	45		45		75		75	
Wakeup Time (μ s)	1000		36		180		180	
Nonvolatile storage								
Chip	24LC256			AT45DB041B			ST M24M01S	
Connection type	I ² C			SPI			I ² C	
Size (KB)	32			512			128	
Communication								
Radio	TR1000			TR1000	CC1000		CC2420	
Data rate (kbps)	10			40	38.4		250	
Modulation type	OOK			ASK	FSK		O-QPSK	
Receive Power (mW)	9			12	29		38	
Transmit Power at 0dBm (mW)	36			36	42		35	
Power Consumption								
Minimum Operation (V)	2.7		2.7		2.7		1.8	
Total Active Power (mW)	24			27	44	89	41	
Programming and Sensor Interface								
Expansion	none	51-pin	51-pin	none	51-pin	19-pin	51-pin	10-pin
Communication	IEEE 1284 (programming) and RS232 (requires additional hardware)							USB
Integrated Sensors	no	no	no	yes	no	no	no	yes

Redes de Sensores Inalámbricos

MICA2

- 0.2 ms wakeup
- 30 mW sleep
- 33 mW active
- 21 mW radio
- 19 kbps
- 2.5V min

MICAZ

- 0.2 ms wakeup
- 30 mW sleep
- 33 mW active
- 45 mW radio
- 250 kbps
- 2.5V min

TELOS

- 0.006 ms wakeup
- 2 mW sleep
- 3 mW active
- 45 mW radio
- 250 kbps
- 1.8V min

Nodos enviando un mensaje de sincronización cada 3 minutos y con dos baterías AA:

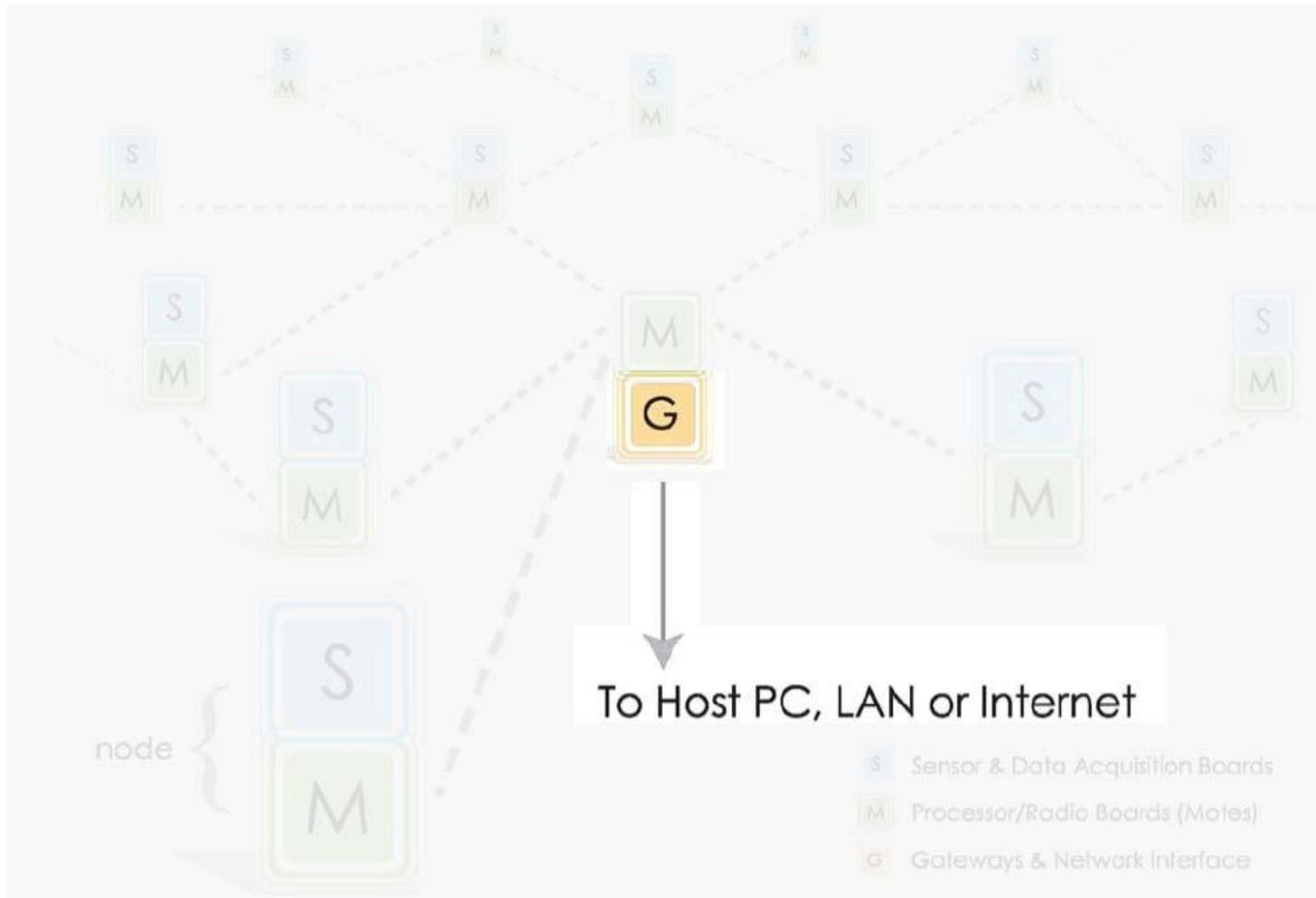
453 días

328 días

945 días

Redes de Sensores Inalámbricos

- Pasarelas (*gateway*)



Redes de Sensores Inalámbricos

- *Pasarelas (gateway): ejemplos*



MIB600. Ethernet (TCP/IP)

Gateway de la red que sirve a su vez como programador con conexión ethernet al que nos podemos conectar desde un PC.

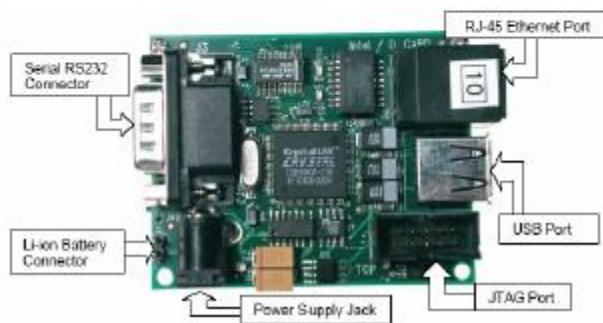
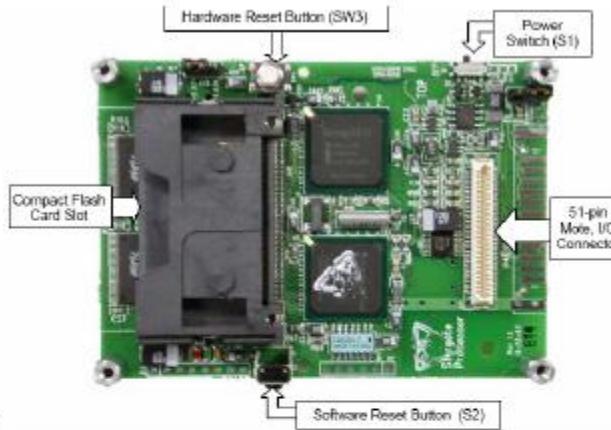


MIB510.Serial (RS-232)

Sirve de programador de los motes de la red y de Gateway comunicándose vía el puerto serie con un PC.

Redes de Sensores Inalámbricos

- *Estaciones base (“stargate”)*



Redes de Sensores Inalámbricos

- *Stargate:*

- Sistema embebido basado en el procesador Intel XScale y el S.O Linux
- Tamaño (3.5" × 2.5")
- 32-bit, 400 MHz Intel PXA255 XScale RISC processor.
- SA1111 StrongARM chip para gestion I/O.
- 32 MB de Intel StrataFlash.
- 64 MB de SDRAM.
- 1 Slot Type II CompactFlash.
- 1 Slot PCMCIA.
- Real time clock
- Compatible MICA2 y MICAz, conector GPIO/SSP de expansión de 51 Pins
- 51-pin daughter card interface para:
 - Puerto 10 Base-T Ethernet
 - USB
 - Puerto JTAG
 - Alimentación externa A/C.
 - RS-232 puerto serie DB-9 .

TinyOS: sistema operativo para WSN

- Sistema operativo “open-source”
- Para redes de sensores inalámbricos
- Desarrollada por la Universidad de California (Berkeley) en colaboración con Intel Research
- Baja complejidad
- Procura un consumo mínimo (modo “sleep” tanto como sea posible)
- Escrito en una derivación del C
- Otros sistemas operativos : Contiki OS, RIOT

TinyOS 1.0 System Components

BapM.nc	Beaconless ad-hoc routing protocol
Counter.nc	Continually incrementing counter
IdentC.nc	Component to retrieve and set node identity
IntToLedsM.nc	Display an integer value on the LEDs
IntToRfmM.nc	Report an integer value over the radio
OscopeM.nc	Component that continually samples and reports an ADC channel
ResetC.nc	System reset component
RfmToIntM.nc	Receive an integer over the radio
Route	Multi-hop routing suite
SenseToInt.nc	Generate an integer valued sensor reading from the ADC
TinyAlloc.nc	Memory allocator
TinyDB	Database application for TinyOS
ADCM.nc	Interface to the ADC
AMStandard.nc	Active Messages implementation
ByteEEPROM.nc	EEPROM access component
CRCPacket.nc	CRC packet calculator
ClockC.nc	Timing component
CrcFilter.nc	CRC packet filter
GenericComm.nc	Generic communication stack for general use
I2CPacketC.nc	I2C protocol implementation
LedsC.nc	LED interface
LoggerM.nc	Interface to log data to the off-chip flash
NoCRCPacket.nc	Packet component without CRC calculation
PotM.nc	Signal strength control
RFM.nc	TR1000 Radio interface
RadioCRCPacket.nc	TR1000 Packet interface with CRC
RadioNoCRCPacket.nc	TR1000 Packet interface without CRC
RandomLFSR.nc	Random Number Generator
SecDedRadioByteSignal.nc	Forward error correction component
TimerM.nc	Multi-application timer module
UARTComm.nc	UART communications stack
UART.nc	UART interface module
UARTNoCRCPacket.nc	UART communication stack without CRC
VoltageM.nc	Battery voltage measurement component

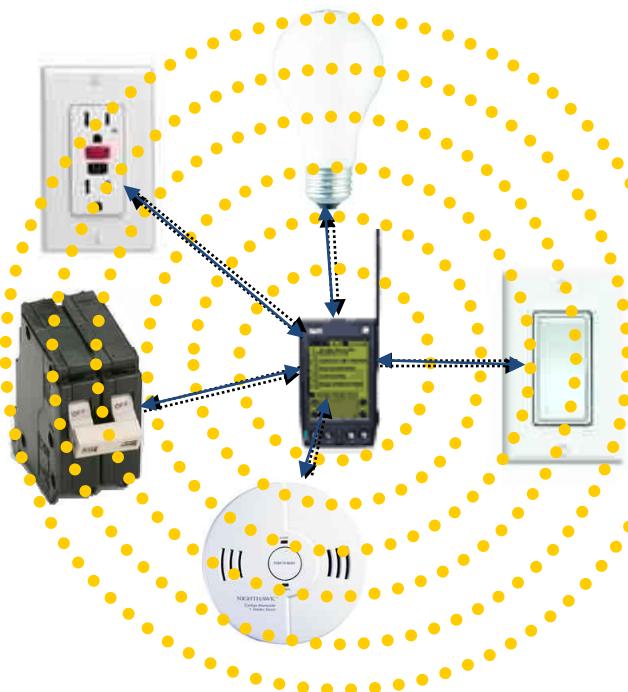
Redes de Sensores Inalámbricos

- *Simuladores*
- *Permiten simular:*
 - Los nodos y su hardware.
 - La red, su comportamiento y los protocolos asociados.
 - El software asociado
 - A nivel de aplicación.
 - A nivel de Sistema Operativo.

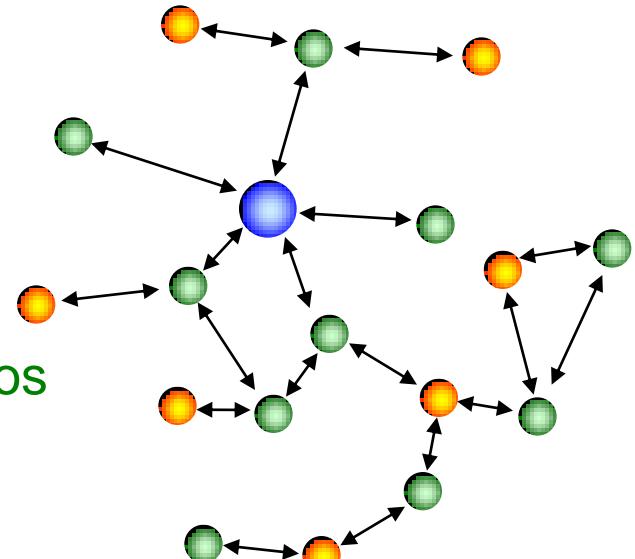
Simulators	Availability	Scalability	Programming Language	Sensor Modules	Wireless Models	Event/Time
NS2	✓	✓	C++	X	✓	Event
GLOMOSIM	✓	✓	C++	X	✓	Event
OPNET	X	✓	C++	X	✓	Event
SensorSim	✓	✓	C++	✓	✓	Event
TOSSIM	✓	X	nesC	✓	✓	Event
EmStar	✓	✓	nesC/C++	✓	✓	Event/Time
SENS	✓	✓	C++	✓	✓	Event
MANTIS	✓	X	C	✓	X	Time
SIESTA	✓	✓	JAVA	✓	X	Time
Prowler	✓	✓	MATLAB	X	✓	Event
JProwler	✓	✓	JAVA	X	✓	Event

IEEE 802.15.4

- *Aplicaciones*



- Redes domésticas
- Redes automoción
- Redes industriales
- Juegos interactivos
- Medición remota



Necesidades en redes de sensores

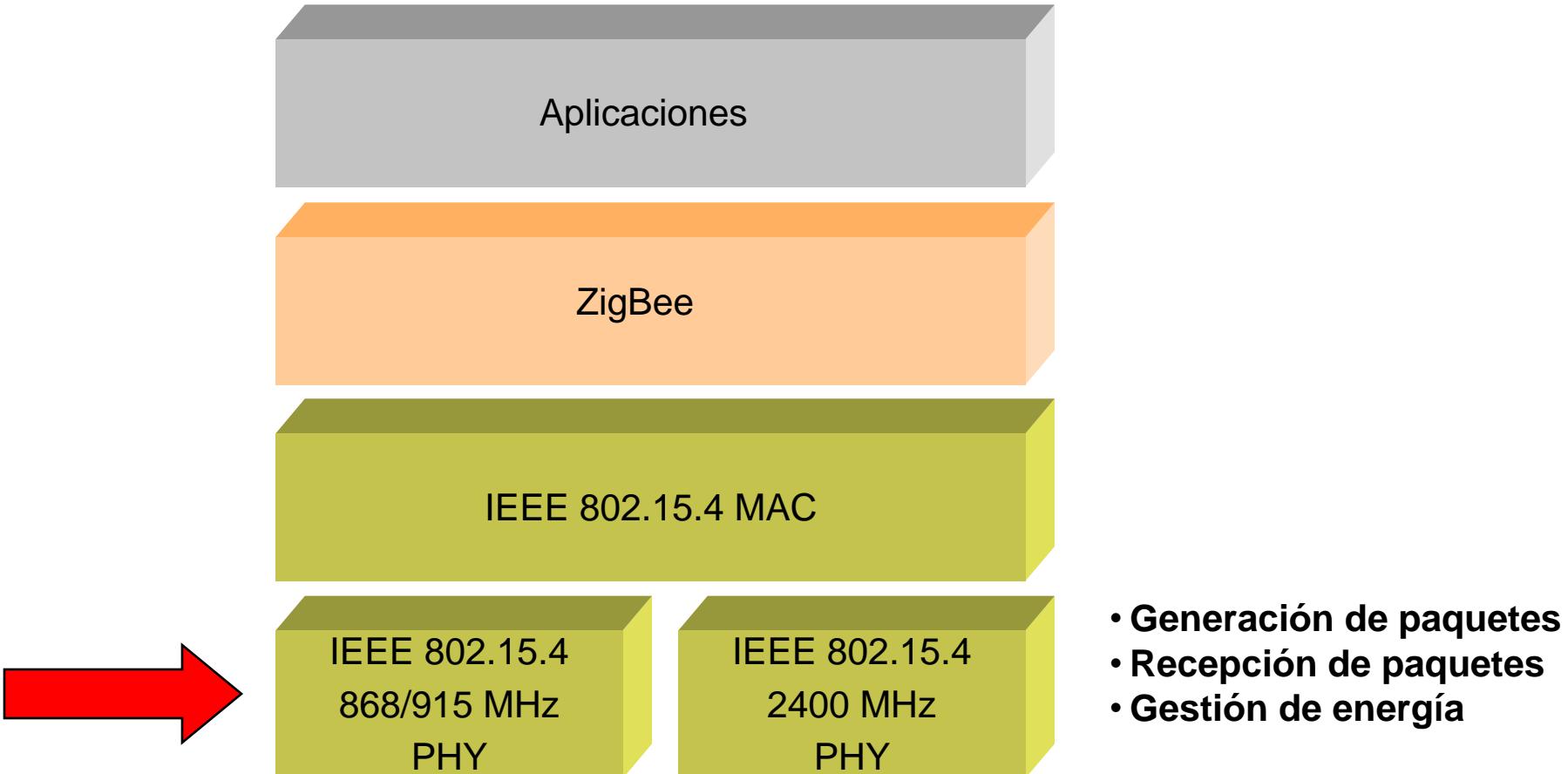
- *Miles de sensores en espacios reducidos*→**Inalámbricos**
- *Sensores que deben ser autónomos*→**Bajo consumo**
- *A veces están aislados*→**Alcance moderado.**

802.15.4 Características generales

- Tasas de transferencia de 250 kb/s, 40 kb/s y 20 kb/s.
- Topología en estrella o por pares.
- Protocolo con “handshake” (mayor seguridad).
- Bajo consumo.
- Bandas de operación
 - 16 canales en 2.4GHz (ISM*)
 - 10 canales en 915MHz ISM
 - 1 canal en 868MHz (banda europea).

* ISM: Industrial, Scientific, Medical

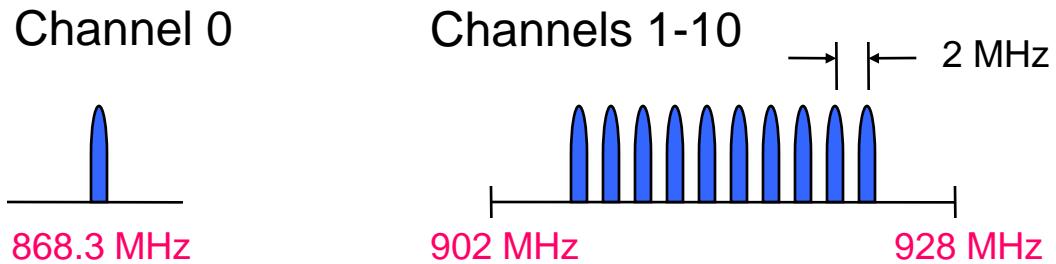
Arquitectura 802.15.4 / ZigBee



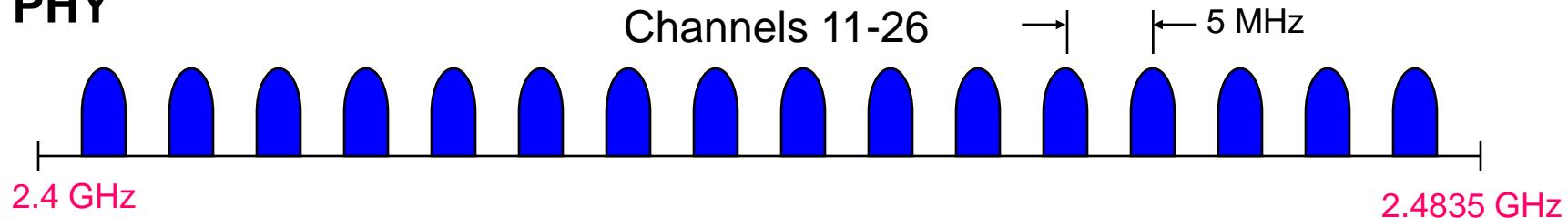
IEEE 802.15.4 PHY (capa física)

Bandas de frecuencia en que opera

**868MHz / 915MHz
PHY**



**2.4 GHz
PHY**

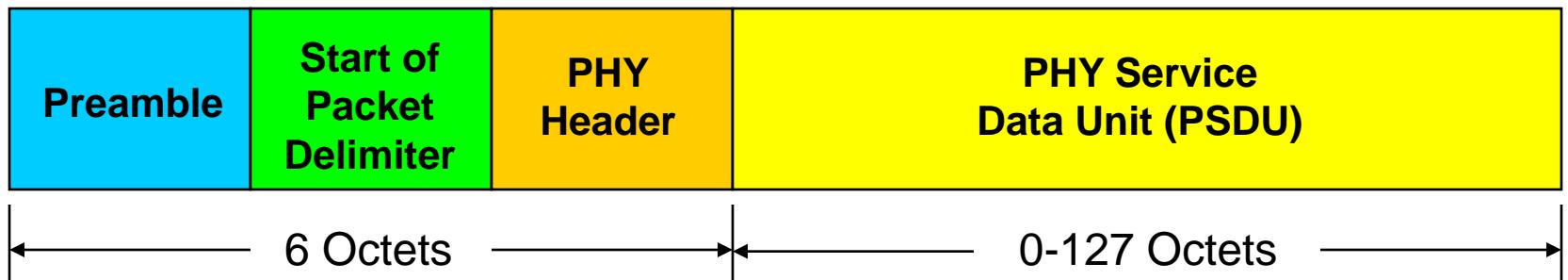


IEEE 802.15.4 PHY

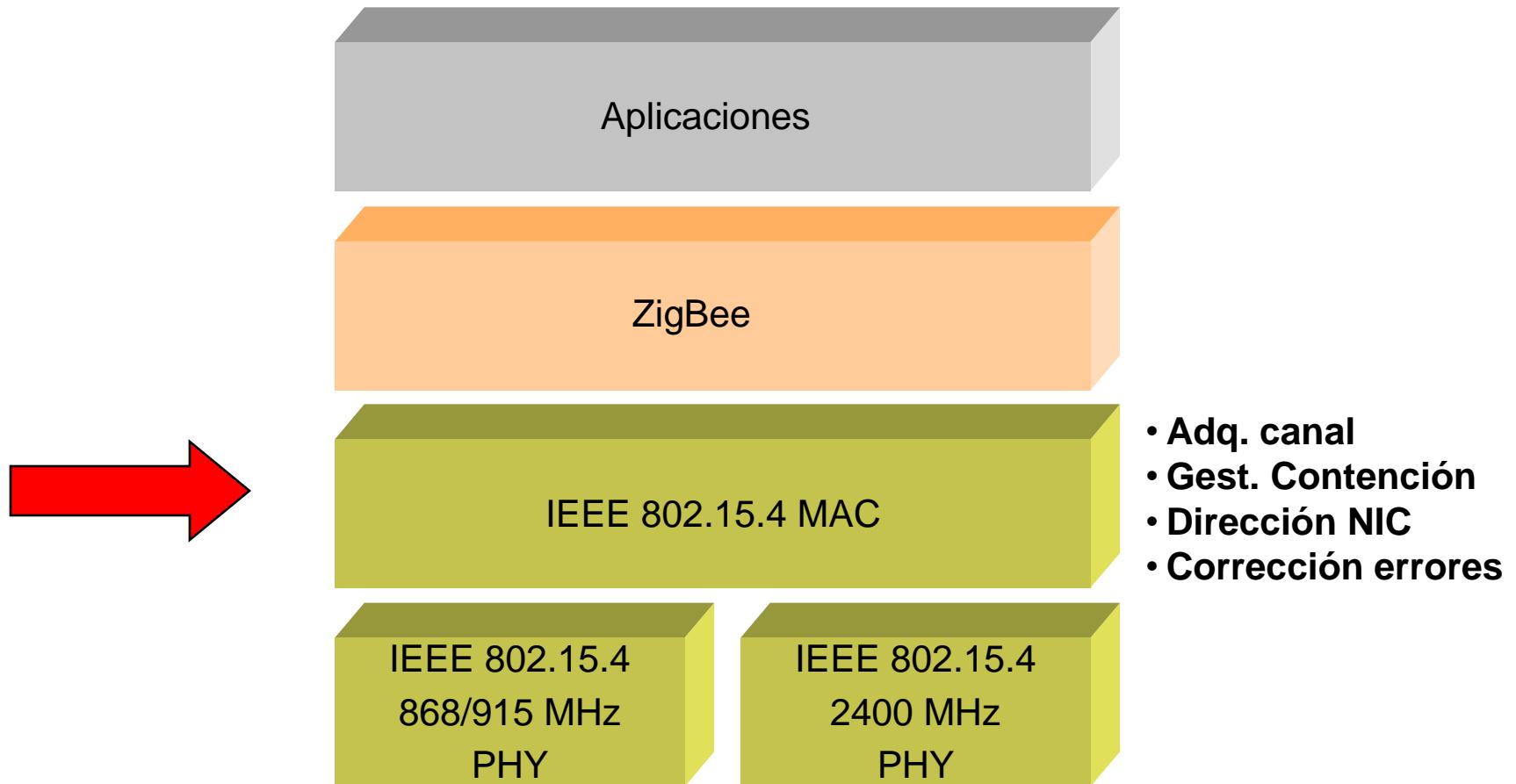
Paquetes

Campos

- Preámbulo (32 bits) – sincronización
- Delimitador de inicio de paquete (8 bits)
- Cabecera PHY (8 bits) – longitud de la PSDU
- PSDU (0 a 1016 bits) – Datos



802.15.4



IEEE 802.15.4 MAC

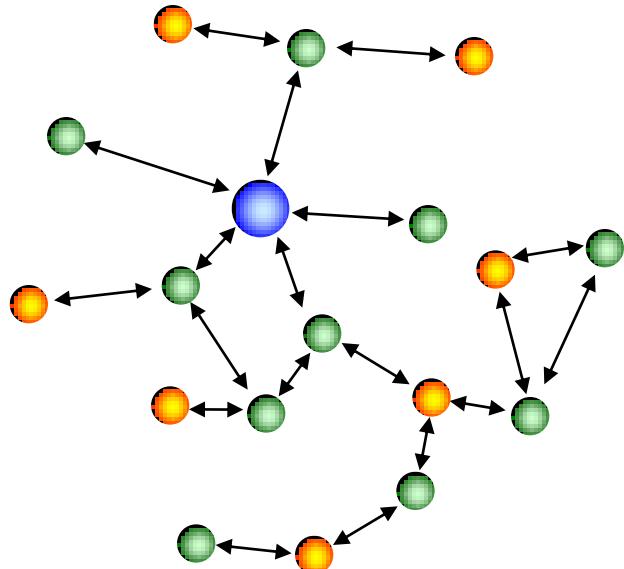
Drivers

- *Bajo coste*
- *Fácil implementación*
- *Transferencia fiable de datos*
- *Rango reducido de alcance*
- *Muy bajo consumo*

Protocolo sencillo pero efectivo

IEEE 802.15.4 MAC

Típicas topologías



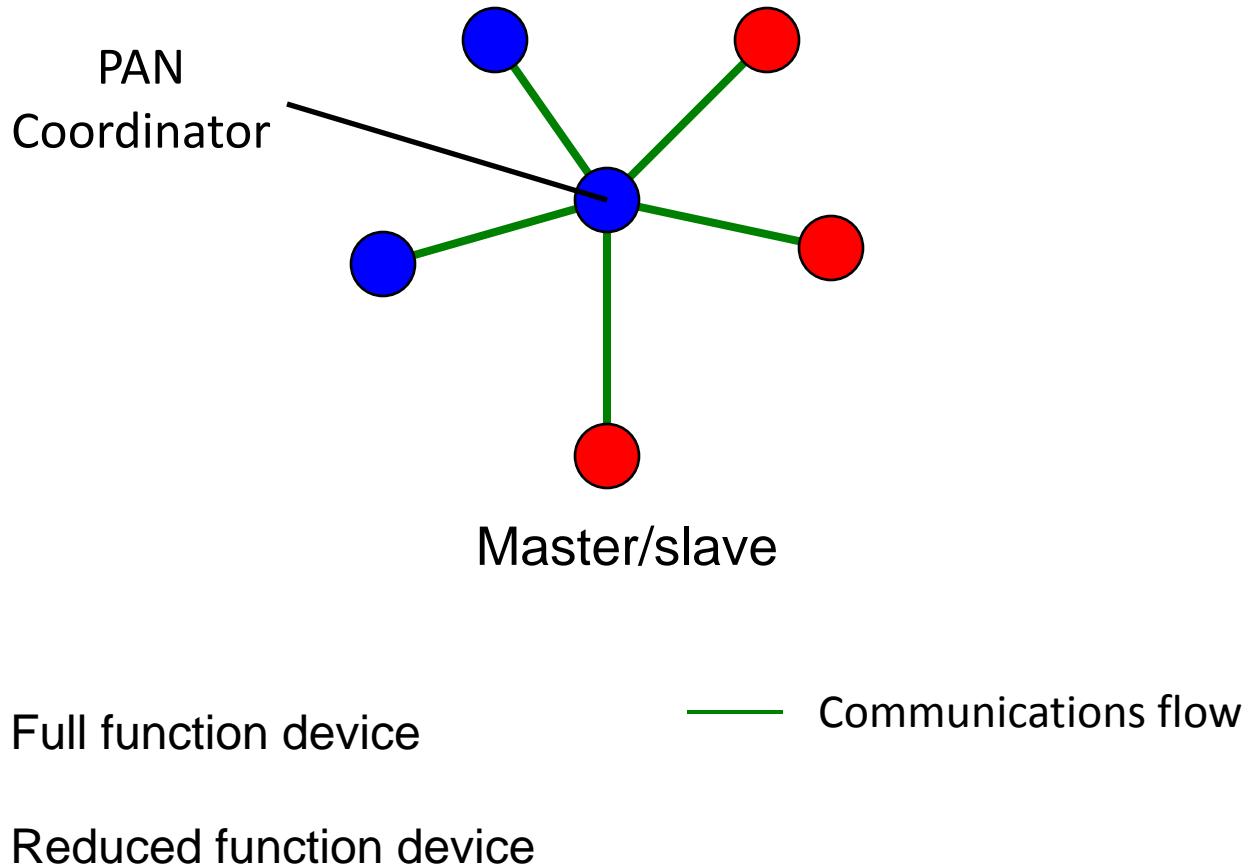
IEEE 802.15.4 MAC

Tipos de dispositivos (clases)

- *Full function device (FFD)*
 - Permite cualquier topología
 - Puede ser coordinador de red
 - Se comunica con cualquier otro dispositivo
- *Reduced function device (RFD)*
 - Sólo topología de estrella
 - No puede ser coordinador de red
 - Sólo se comunica con coordinador
 - Implementación sencilla

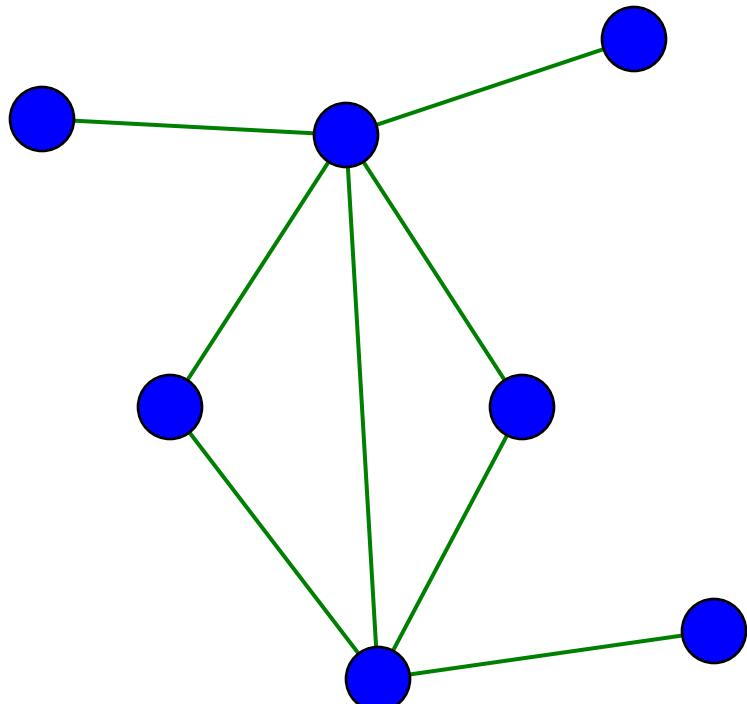
IEEE 802.15.4 MAC

Topología de estrella

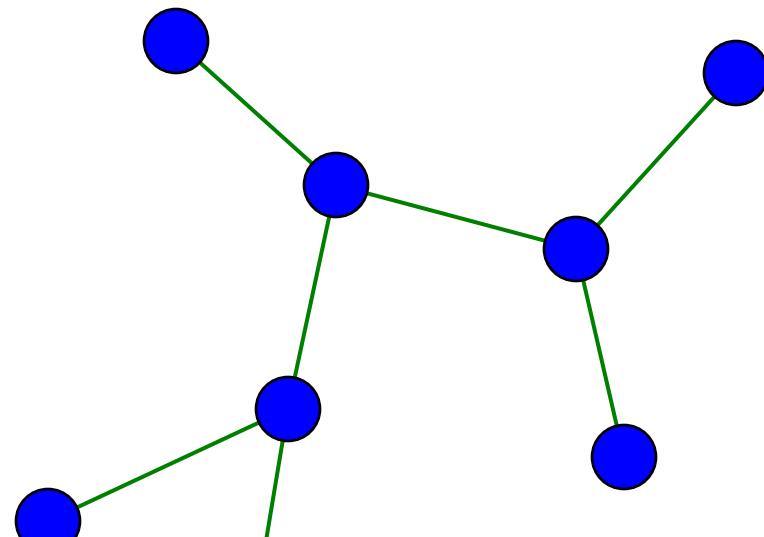


IEEE 802.15.4 MAC

Topología por pares



Point to point



Cluster tree



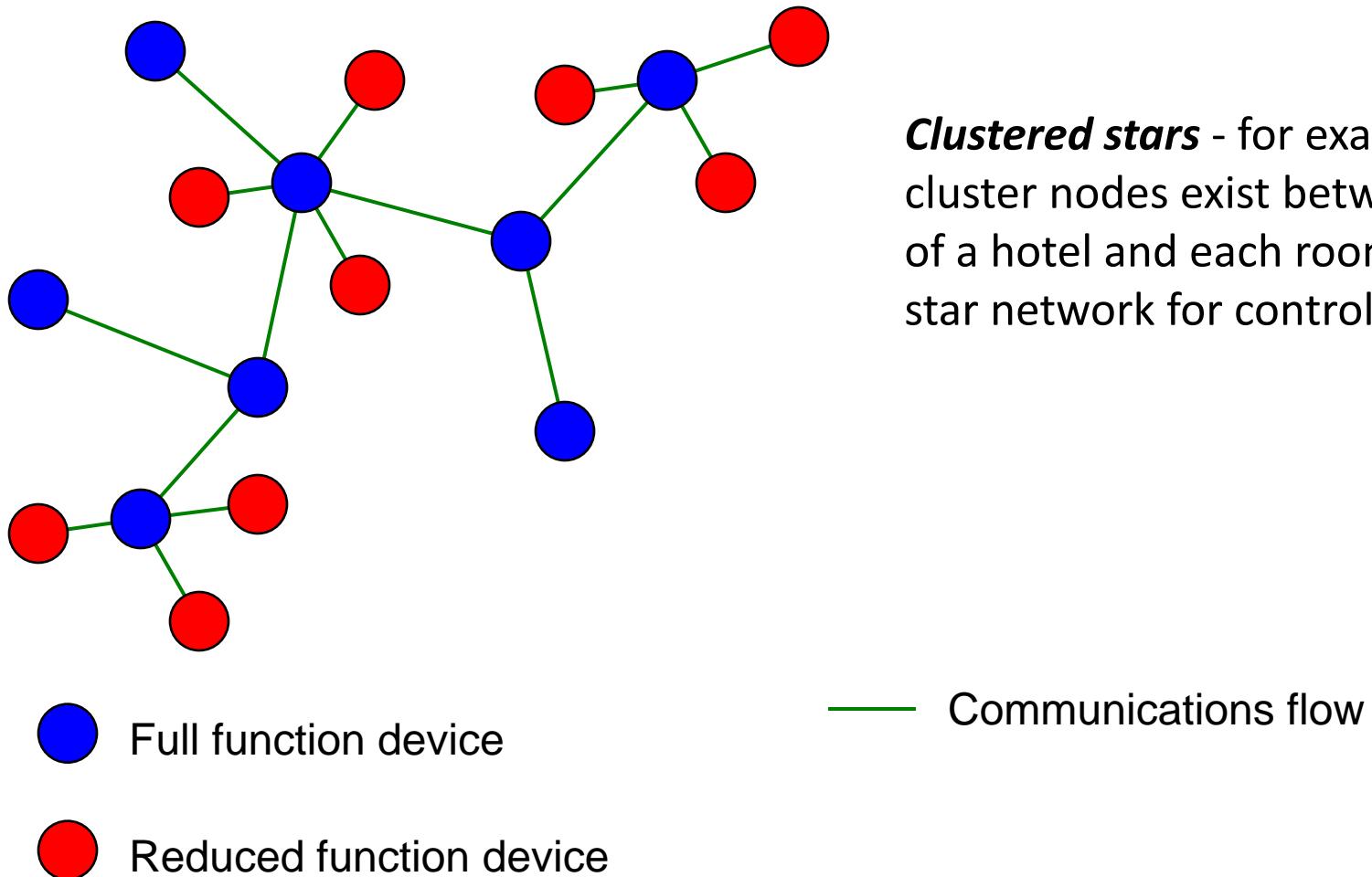
Full function device



Communications flow

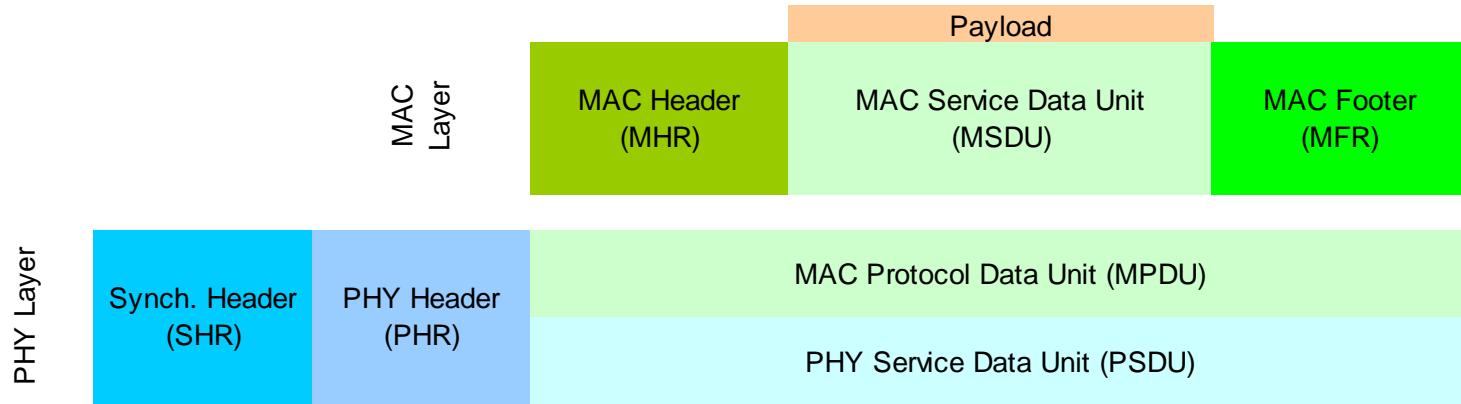
IEEE 802.15.4 MAC

Topología mixta



IEEE 802.15.4 MAC

General Frame Structure



4 Tipos de MAC Frames:

- Data Frame
- Beacon Frame
- Acknowledgment Frame
- MAC Command Frame

IEEE 802.15.4 MAC

Tipos de tráfico

- *Datos periódicos*

- Frecuencia marcada por la aplicación (p. Ej. Los sensores)

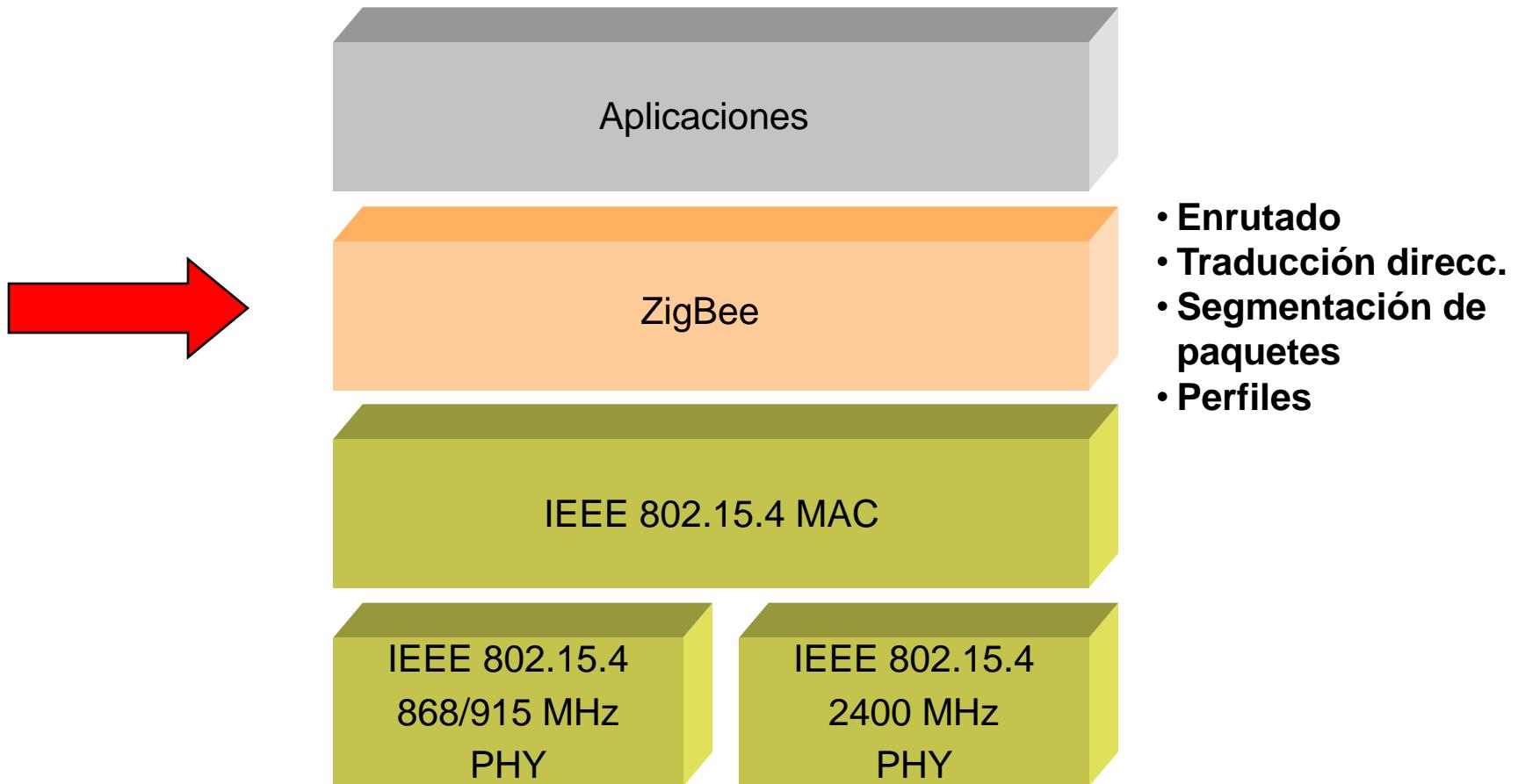
- *Datos intermitentes*

- Definido por estímulo o aplicación externa (por ejemplo, un conmutador)

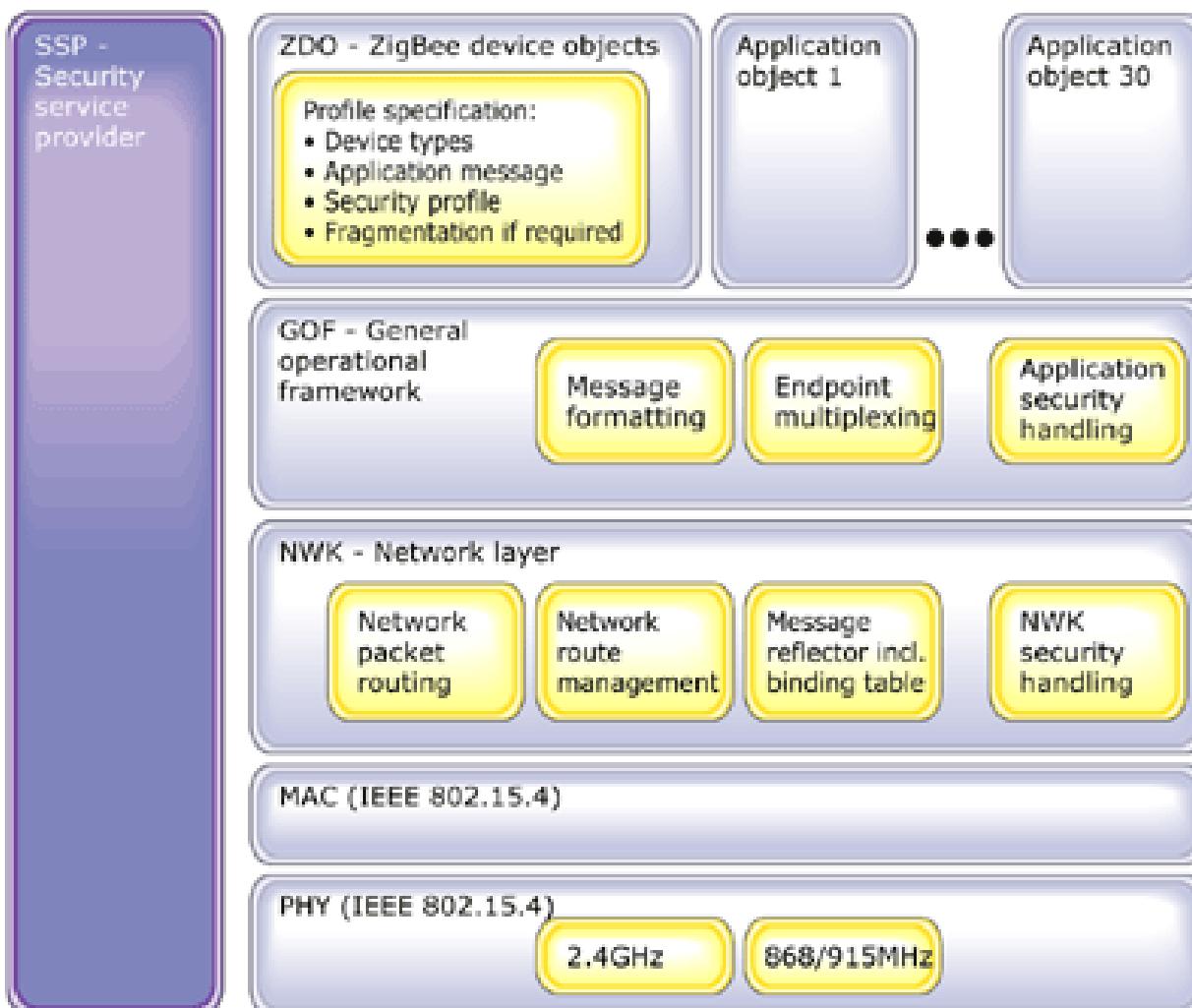
- *Datos repetitivos de baja latencia*

- Con reserva de “slots” temporales (ej. ratón)

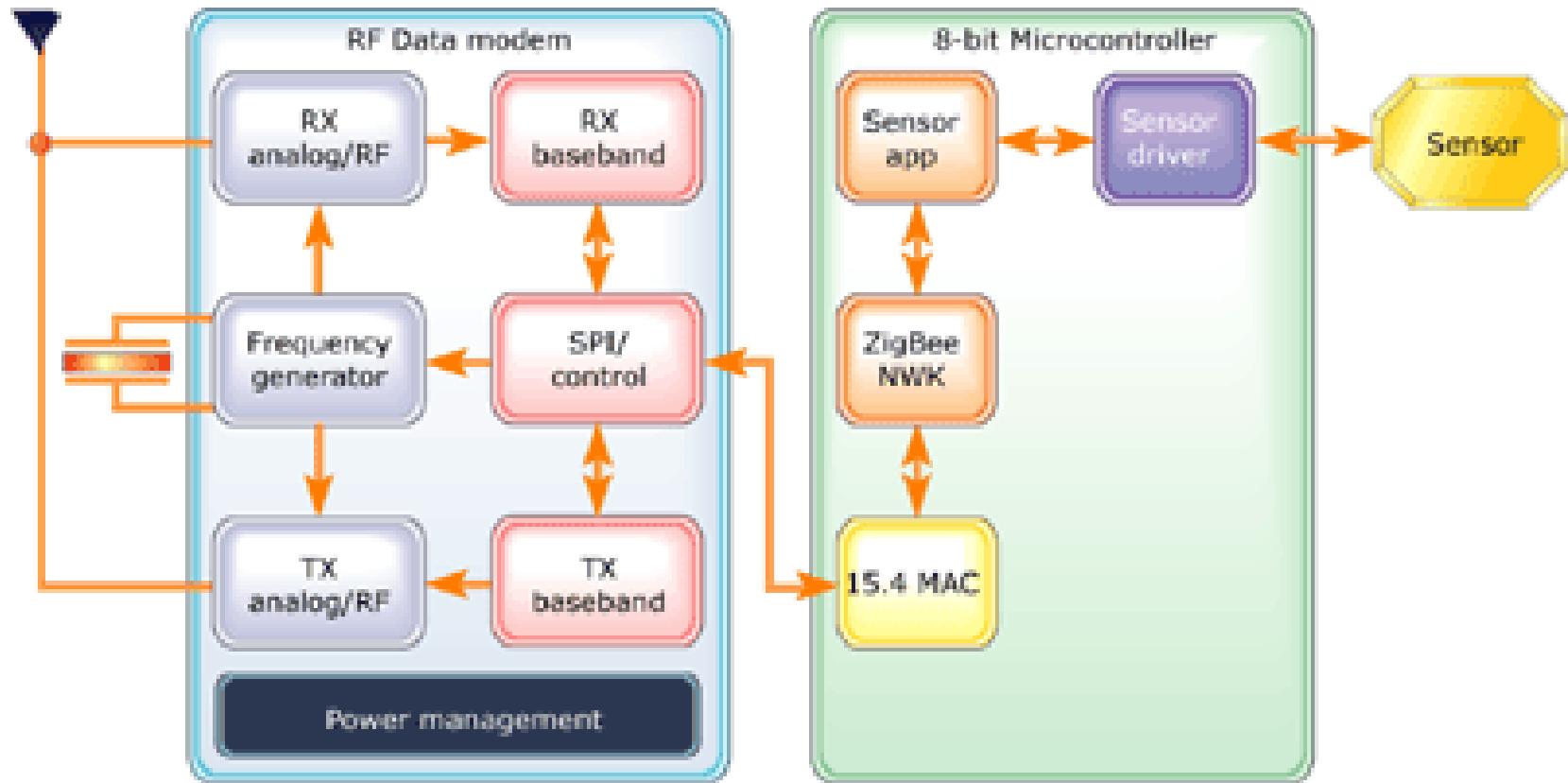
802.15.4



ZigBee Stack Architecture



Esquema típico de dispositivo Zigbee



Diseño típico con microcontrolador de 8 bits y
modem RF + sensor

Comparación de tecnologías inalámbricas

Standard	Bandwidth	Power Consumption	Protocol Stack	Stronghold Size	Applications
Wi-Fi	Up to 54Mbps	400+mA TX, standby 20mA	100+KB	High data rate	Internet browsing, PC networking, file transfers
Bluetooth	1Mbps	40mA TX, standby 0.2mA	~100+KB	Interoperability, cable replacement	Wireless USB, handset, headset
ZigBee	250kbps	30mA TX, standby 356 µA	34KB /14KB	Long battery life, low cost	Remote control, battery-operated products, sensors

Tecnologías competidoras / similares

- *Bluetooth*
 - <http://www.bluetooth.org>
 - <http://www.bluetooth.com>
- *X10*
 - Por líneas de alimentación eléctrica (PLC)
 - <http://www.x10.com/technology1.htm>
- *Z-wave*
 - Protocolo propietario para dispositivos caseros.
 - <http://www.z-wavealliance.com/>
- *INSTEON*
 - Modelo por pares híbrido (RF/powerline)
 - <http://www.insteon.net>
- *nanoNET*
 - Protocolos inalámbricos para competir con ZigBee.
 - <http://www.nanotron.com/>

Productos 802.15.4/ZigBee



Control4 Home Automation System
<http://www.control4.com/products/components/complete.htm>

Software,
Development Kits
• AirBee,
<http://www.airbeewireless.com/products.php>
• Software Technologies Group,
<http://www.stg.com/wireless/>



Eaton Home HeartBeat monitoring system
www.homeheartbeat.com



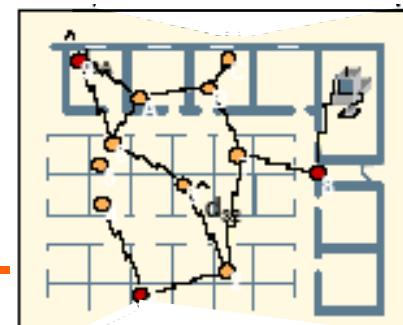
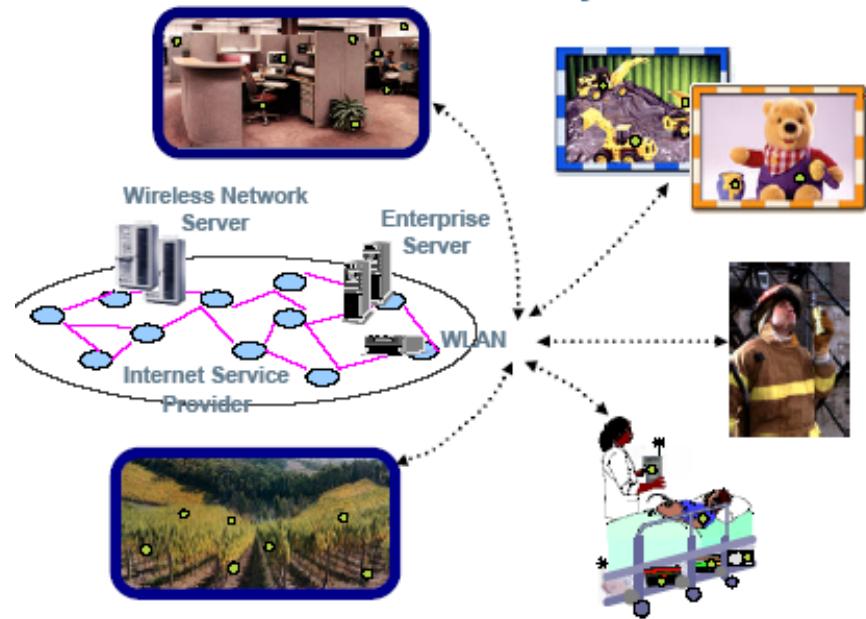
Chip Sets
• Ember,
<http://www.ember.com/index.html>
• ChipCon,
<http://www.chipcon.com>
• Freescale,
<http://www.freescale.com>



Motorola

NeuRFon™

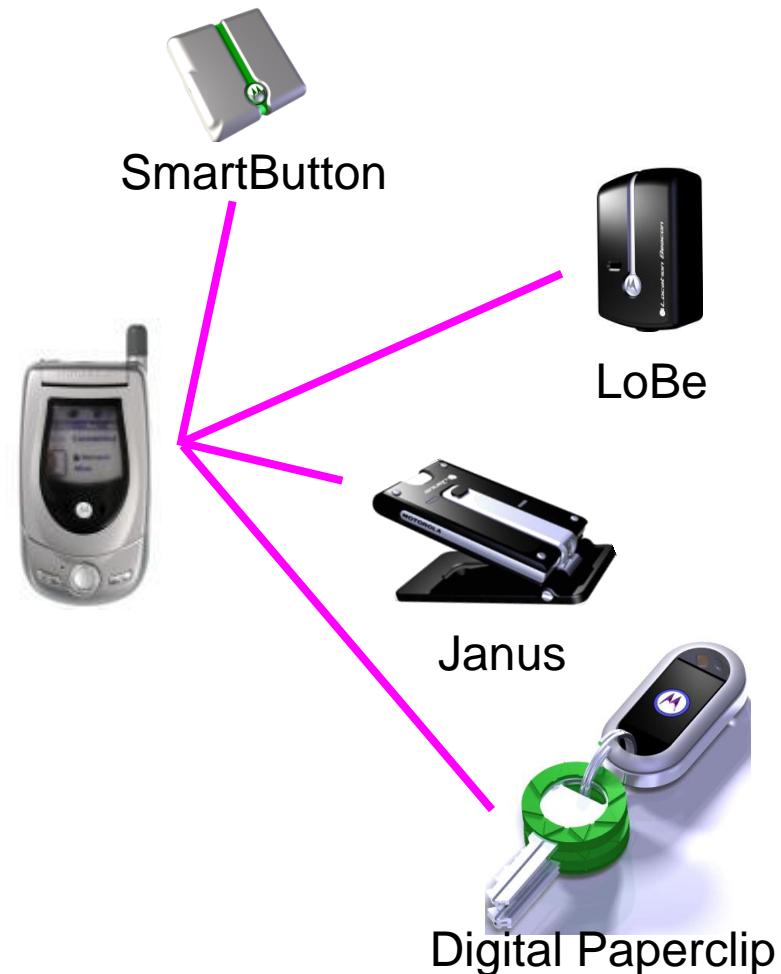
- *Implementa 802.15.4 & ZigBee*
- *Para empresas*
 - Seguimiento de objetos
 - Seguridad
 - Servicios públicos
- *Rango: 10m*
- *Periodo: ~ 4 min.*
- *Nodos móviles, controlador fijo*
- *Batería: 1 semana hasta varios años
(nodos con pilas 2 AA)*
- *Interfaces con máquinas sólo*



Motorola

Conformables™

- *Implementa 802.15.4 sólo*
- *Para particulares*
 - Dispositivos domésticos
 - Localización
 - Recordatorios personales
- *Rango: 1 - 5m*
- *Controlador en el teléfono*
- *Controlador y nodos móviles*
- *Batería: ~1 semana hasta años
(nodos con batería de ~320 mAh)*
- *Periodo: 1 segundo*
- *Interfaces: máquina y humanos*



Enlaces

- *IEEE 2003 version of 802.15.4 MAC & Phy standard*
 - <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>
- *ZigBee*
 - http://www.zigbee.org/en/spec_download/download_request.asp
- *802.15.4 Tutorial*
 - http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2003/Jan03/03036r0P802-15_WG-802-15-4-TG4-Tutorial.ppt
- *ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works*
 - <http://www.hometoys.com/htinews/oct03/articles/kinney/zigbee.htm>
- *ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works*
 - <http://www.hometoys.com/htinews/oct03/articles/kinney/zigbee.htm>
- *Home networking with Zigbee*
 - <http://www.embedded.com//showArticle.jhtml?articleID=18902431>

Redes de Sensores: Aplicaciones

Podemos dividir las aplicaciones en tres categorías

1. *Monitorización de objetos.*
2. *Monitorización de un área.*
3. *Monitorización de áreas y objetos.*

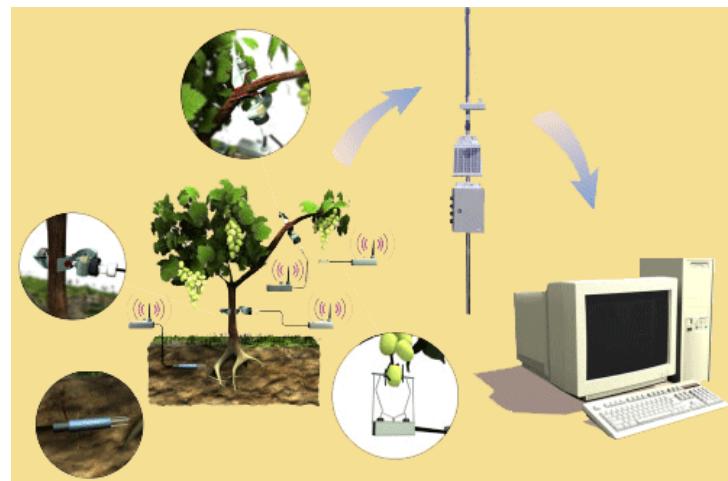
(según Culler, Estrin, Srivastava)

Monitorización de áreas

- *Monitorización medioambiental y de hábitats*
- *Agricultura de precisión*
- *Control ambiental en interiores*
- *Vigilancia militar*
- *Verificación de tratados*
- *Alarmas inteligentes*

Ejemplo: Agricultura de Precisión

- Se busca hacer las operaciones de cultivo más eficientes, reduciendo a la vez el impacto ambiental.
- La información recogida de los sensores se usa para evaluar la densidad de siembra óptima, el uso de fertilizantes y otros productos, y predecir con mayor precisión los rendimientos de cosecha.



Monitorización de Objetos

- *Monitorización estructural*
- *Eco-fisiología*
- *Mantenimiento bajo demanda (Condition-based Maintenance)*
- *Diagnóstico médico*
- *Mapeo de terrenos urbanos*

Ejemplo: Mantenimiento bajo demanda

- *Plantas de fabricación de Intel*

- Los sensores recogen datos de vibraciones, monitorizan el uso y desgaste; informan en tiempo real
- Reducen la necesidad de equipos de ingenieros; recortan costes en varios órdenes de magnitud

Monitorización de interacciones objeto-espacio

- *Hábitats de vida salvaje*
- *Gestión de desastres*
- *Respuesta ante emergencias*
- *Computación ubicua*
- *Seguimiento de inventarios*
- *Cuidados Sanitarios*
- *Flujos de procesos de fabricación*

Ejemplo: monitorización de hábitats en vida salvaje

- *Proyecto ZebraNet*

Seguimiento de los desplazamientos de cebras en Kenya usando collarines.

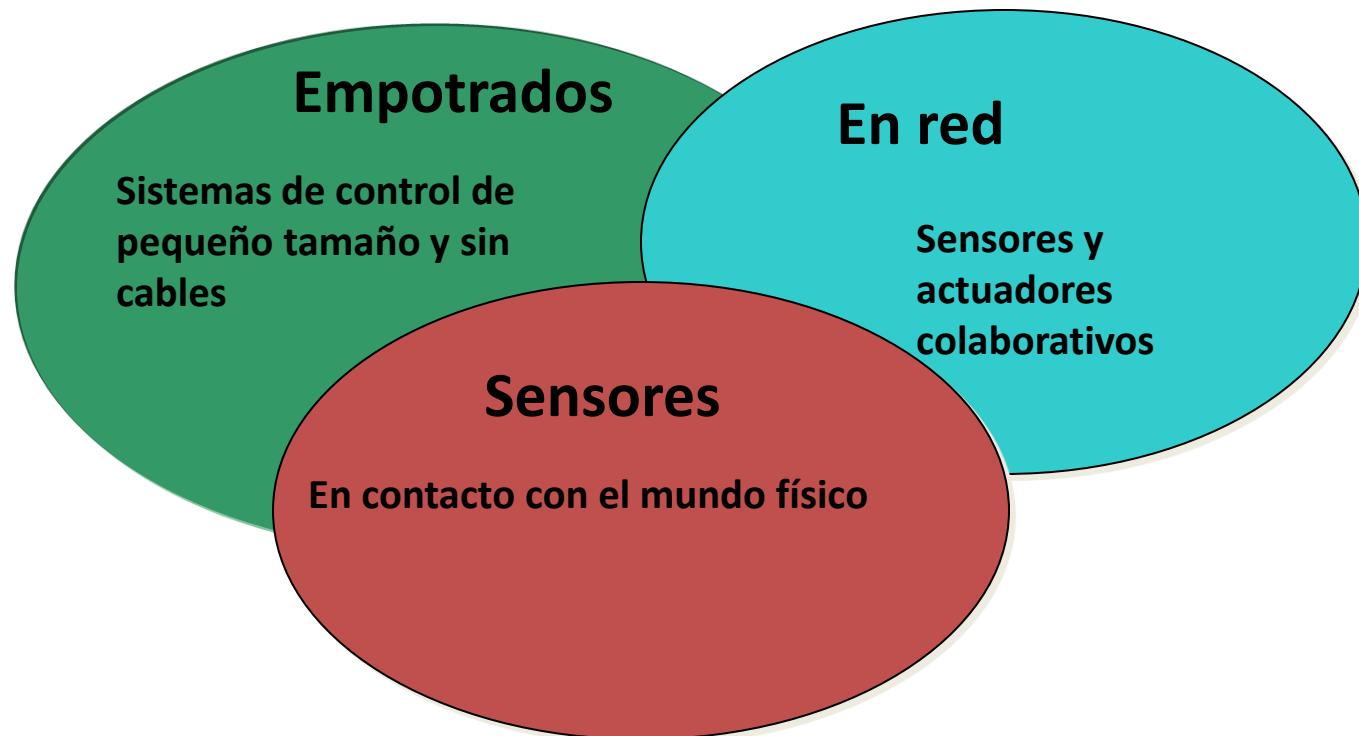


Investigadora: Margaret Maronosi, Princeton University

Tecnologías implicadas

Empotrar muchos dispositivos para interactuar con el mundo físico

Coordinar dispositivos para realizar tareas de mayor nivel



Aprovechar la densidad espacial y temporal para una mejor detección/acción

En el futuro: Hogar/oficinas inteligentes



- *Sensores para controlar dispositivos en el hogar.*
- *Optimizar iluminación y climatización en oficinas.*
- *Ejemplo: El edificio del Pentágono.*

En el futuro: Biomedicina

- *Monitorización de la salud*

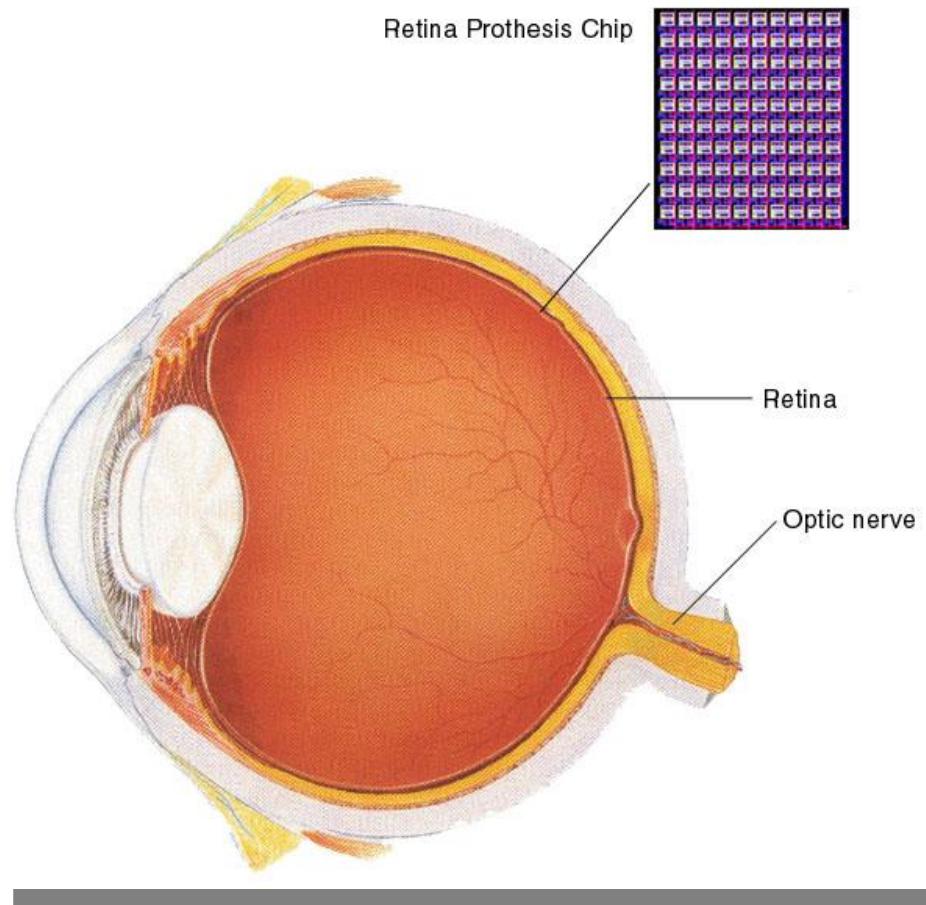
- Glucosa
- Ritmo cardíaco
- Detección de cáncer

- *Enfermedades crónicas*

- Retinas artificiales
- Implantes cocleares

- *Sensores hospitalarios*

- Monitorización de signos vitales
- Registro de anomalías



En el futuro: aplicaciones militares

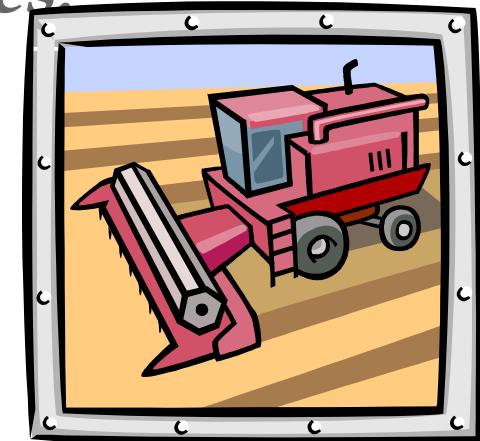


Despliegue remoto de sensores para monitorización táctica de movimientos de tropas enemigas.

En el futuro: industria y comercio

- *Aplicaciones industriales y comerciales:*

- Seguimiento de cosechas
- Seguimiento de inventarios
- Seguimiento de componentes de un proceso
- Informe automático de incidencias
- RFID – Seguimiento de clientes/prevención de robos
- Monitorización del mantenimiento de equipos industriales

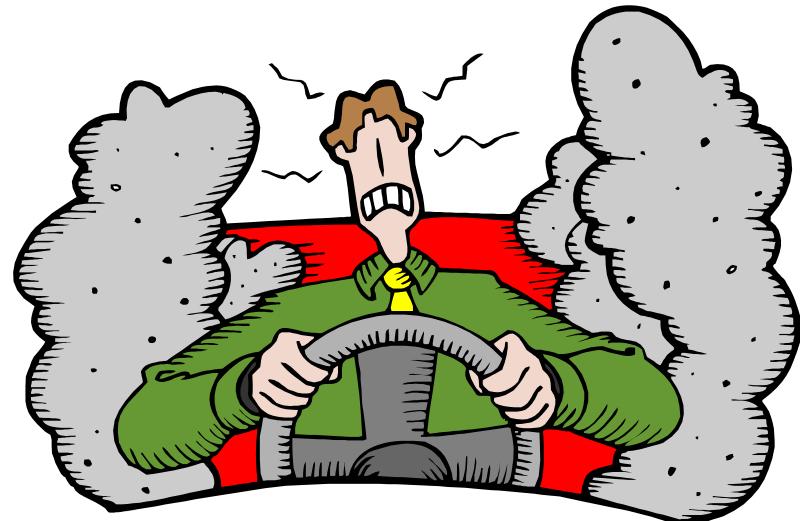


En el futuro: tráfico rodado



- ✓ Sensores empotrados en carreteras:
 - Monitorización del tráfico
 - Rutas en tiempo real

- Coches del futuro:
 - Gestión de accidentes
 - Robo



XBEE

(implementación de ZigBee, 802.15.4)

Ventajas de la comunicación inalámbrica

- *Uso de ondas electromagnéticas*
- *No requiere medio físico (incluso en el vacío)*
- *Se puede modular*
- *No requiere cables*
- *Sigue la ley del cuadrado inverso*



802.15.4

- *Bajo consumo*
- *Bajo ancho de banda*
- *Permite direccionamiento*
- *Asequible*
- *Compacto*
- *Estandarizado*
- *Popular*

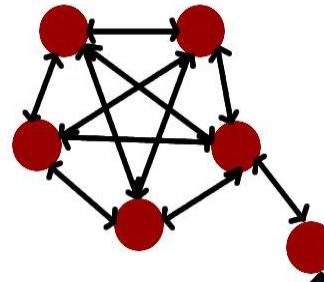


Tipos de configuraciones en 802.15.4

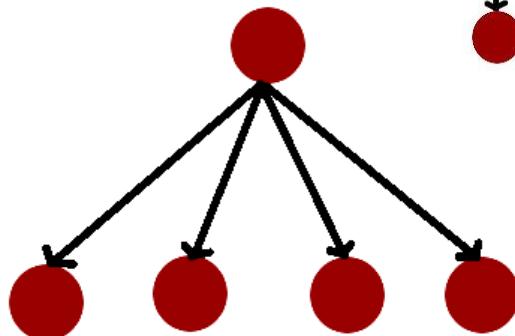
- *Pares sencillos*



- *Pares múltiples*



- *Difusión (Broadcast)*



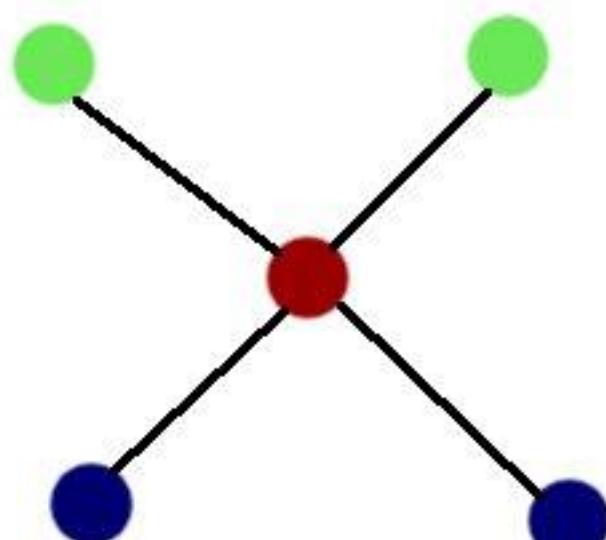
ZigBee

- *Capa por encima de 802.15.4*
- *Enruta mensajes (reenvío de mensajes)*
- *Permite crear redes ad-hoc*
- *Autorreparación (“self-healing”)*

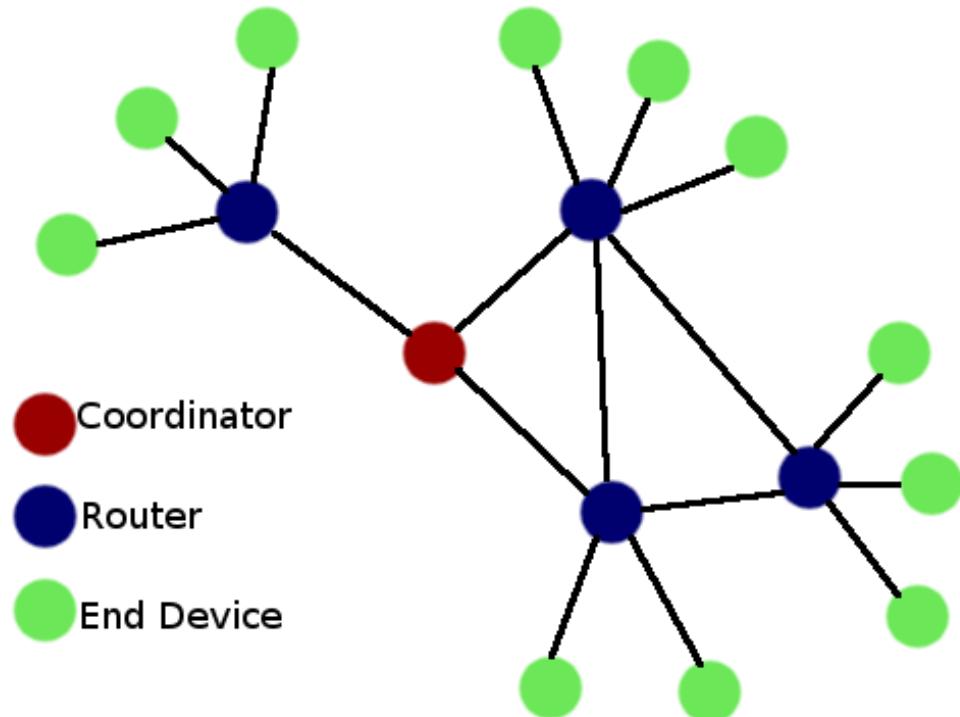


Configuraciones ZigBee

- *En estrella*



- En malla



Antenas

- *Chip*



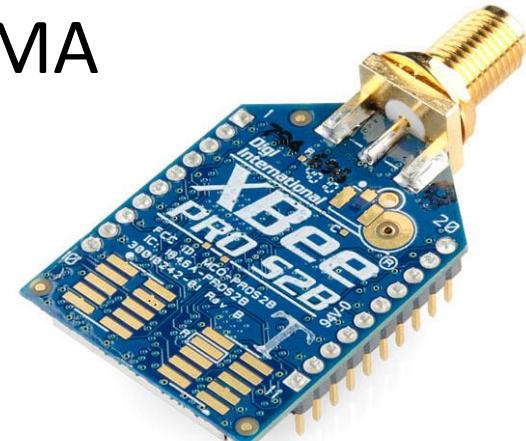
- Whip



- u.FL



- RPSMA



	Series 1	Series 2
Typical (indoor/urban) range	30 meters	40 meters
Best (line of sight) range	100 meters	120 meters
Transmit/Receive current	45/50 mA	40/40 mA
Firmware (typical)	802.15.4 point-to-point	ZB ZigBee mesh
Digital input/output pins	8 (plus 1 input-only)	11
Analog input pins	7	4
Analog (PWM) output pins	2	None
Low power, low bandwidth, low cost, addressable, standardized, small, popular	Yes	Yes
Interoperable mesh routing, ad hoc network creation, self-healing networks	No	Yes
Point-to-point, star topologies	Yes	Yes
Mesh, cluster tree topologies	No	Yes
Single firmware for all modes	Yes	No
Requires coordinator node	No	Yes
Point-to-point configuration	Simple	More involved
Standards-based networking	Yes	Yes
Standards-based applications	No	Yes
Underlying chipset	Freescale	Ember
Firmware available	802.15.4 (IEEE standard), DigiMesh (proprietary)	ZB(ZigBee 2007), ZNet 2.5 (obsolete)
Up-to-date and actively supported	Yes	Yes

Versión normal y Pro

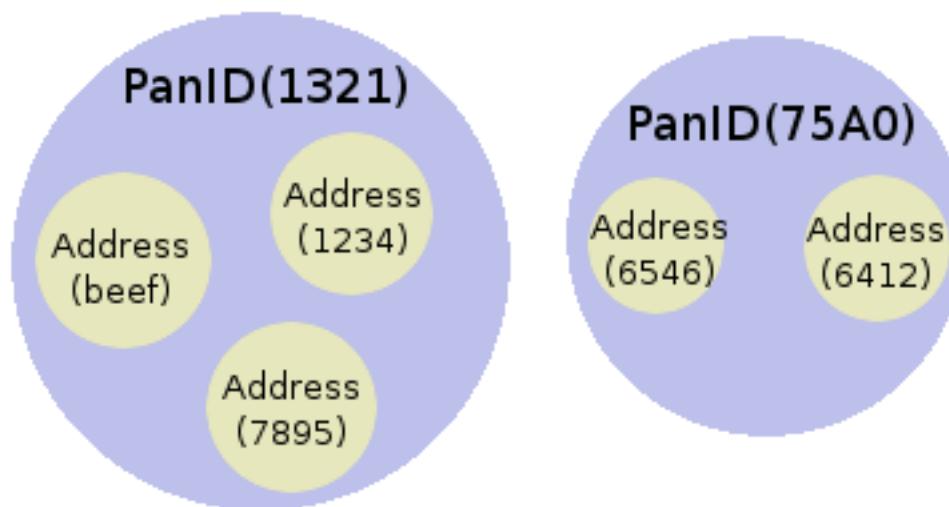
- *1-2mW*
- *Más pequeño*
- *Menor rango(100m)*
- *Más económico*
- *50-60mW*
- *Más grande*
- *Mayor alcance (300m)*
- *Más caro*



Pin #	Name(s)	Description
1	VCC	3.3 V power supply
2	DOUT	Data Out (TX)
3	DIN	Data In (RX)
4	DI012	Digital I/O 12
5	RESET	Module reset (asserted low by bringing pin to ground)
6	PWM0/RSSI/DI010	Pulse-width modulation analog output 0, Received Signal Strength Indicator, Digital I/O 10
7	DI011	Digital I/O 11
8	Reserved	Do not connect
9	DTR/SLEEP_RQ/ DI08	Data Terminal Ready (hardware handshaking signal), Pin Sleep Control (asserted low), Digital I/O 8
10	GND	Ground
11	DI04	Digital I/O 4
12	CTS/DI07	Clear to Send (hardware handshaking), Digital I/O 7
13	ON/SLEEP	Sleep indicator (off when module is sleeping)
14	VREF	Not used in Series 2
15	ASSOC/DI05	Association indicator: blinks if module is associated with a network, steady if not; Digital I/O 5
16	RTS/DI06	Request to Send (hardware handshaking), Digital I/O 6
17	AD3/DI03	Analog Input 3, Digital I/O 3
18	AD2/DI02	Analog Input 2, Digital I/O 2
19	AD1/DI01	Analog Input 1, Digital I/O 1
20	AD0/DI00/COMMIS	Analog Input 0, Digital I/O 0, Commissioning Button

Direccionamientos

Channel (10)



Direccionamientos

- *Organizado por canales*
- *PAN (Personal Area Network)*
- *Direcciones de 64-bit*
- *Parte alta -0013A200 en todos los XBee*
- *Parte baja- cada XBee tiene su propia dirección*
- *16-bit*

Coordinadores

- *Un coordinador en cada red*
- *El coordinador selecciona el canal y el ID de la PAN*
- *Luego otros dispositivos se unen a la PAN*
- *Normalmente disponen de alimentación estable*
- *Su dirección de 16-bit suele ser cero.*
- *Asigna direcciones de 16-bit para el resto de dispositivos finales o enrutadores*

Enrutadores (routers)

- *Opcionales*
- *Suelen tener alimentación estable*
- *Se pueden tener tantos como se quieran*
- *Al iniciarse, solicita un coordinador o red a quien unirse*
- *Puede comunicar con cualquier dispositivo*
- *Si un dispositivo final está en reposo, almacena sus datos*
- *El coordinador puede hacer de “super-router”*

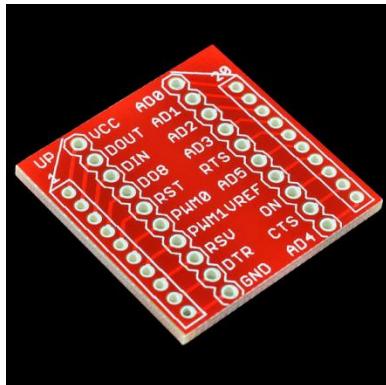
Dispositivos finales

- *Opcionales*
- *Normalmente alimentados por baterías*
- *Se pueden tener tantos como se quieran*
- *Al arrancar solicitan unirse a una red a través de un dispositivo “padre” (router o coordinador)*
- *Sólo se pueden comunicar con su “padre”*

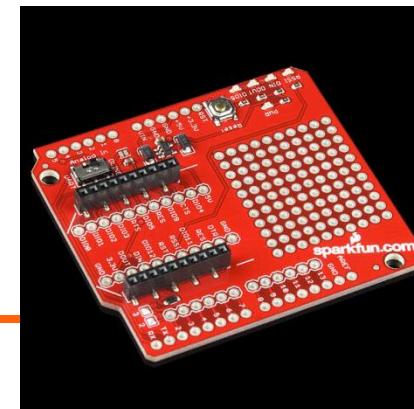
Firmware

- *Se actualiza con el programa X-CTU (Windows)*
- *AT firmware (comunicación serie) y API firmware (funcionalidad)*
- *Coordinator, Router, End Device*
- *Cada firmware ofrece una serie de opciones*

Cómo conectar el XBee



- *Breakout Board (adapta ancho)*
- *Xbee Explorer (programar)*
- *Xbee Explorer Regulated*
- *Xbee Shield (para Arduino)*



Terminal para comunicarse en serie con el XBee

- *X-CTU*
- *Hyperterm (no viene con Windows 7)*
- *Coolterm (Windows, Mac, Linux)*
- *Terminal de Unix/Linux*
- *Cualquier otro*

9600-8-N-1

Entrada en modo comando

- *+++ para entrar en modo comando*
- *1 segundo de retardo por cada parte*
- *No usa <enter>*
- *Debemos recibir “OK”*
- *Pasados diez segundos da “timeout”*

Comandos AT

- *AT – just returns an “OK”*
- *ATMY – 16-bit address (Series 1 only)*
- *ATDH – 64-bit destination address high bits*
- *ATDL – 64-bit destination address low bits*
- *ATID – PAN ID*
- *ATCN – end command mode*
- *ATRE – reset all settings*
- *ATWR – write settings to flash*

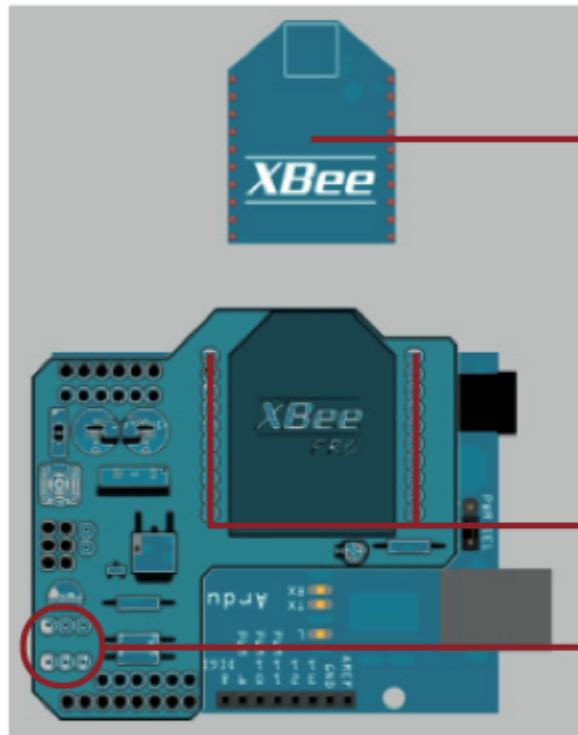
Cómo enviar comandos

- *Al escribir un comando sólo, devuelve el valor*
- *El comando, más un valor, fija dicho valor*
- *Usan valores hexadecimales*
- *Siempre usar Enter*
 - >ATID 1111
 - OK
 - >ATID
 - 1111
 - >ATWR
 - OK

Entrada/salida en las Series 1 y 2

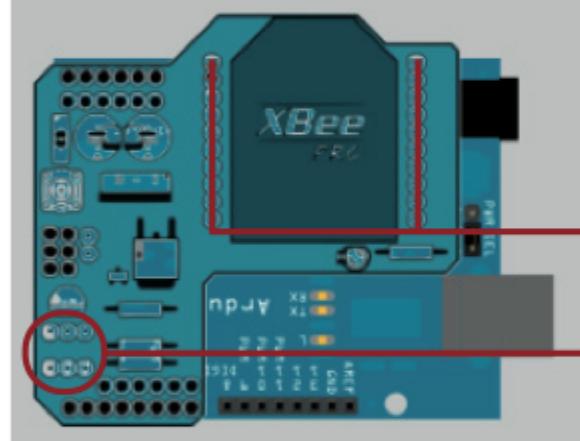
- *8 Digital I/Os*
- *7 Analog Inputs*
- *2 Analog Outputs (PWM)*
- *Can't use these all at once*
- *Straight through I/Os*
- *Must use Vref*
- *10 Digital I/Os*
- *4 Analog inputs*
- *No Analog outputs*
- *Can't use these all at once*
- *I/O pins are 1.2V only*

Esquema de la mochila que se deberá de conectar a la placa Arduino:



Modulo Xbee

Xbee es un modulo de Digi para comunicación inalámbrica basado en protocolo Zigbee. Podemos usar dos modulos. Series 1 (punto a multipunto) y Series 2 ZB (red mess)



Descripción de hardware:

La mochila permite conectar un modulo Xbee estandard y a su vez deja libre varios puertos de Arduino para uso de senores, etc...

Pines del modulo Xbee Accesibles externamente

Jumpers de configuracion
Modo USB/Xbee
(con o sin AtMega)

Pines del modulo Xbee

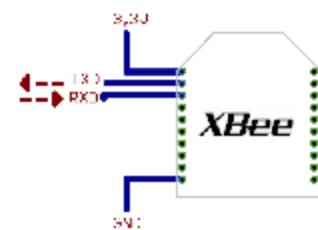
XBee	
1	VCC
2	DOUT
3	DINCONFIG
4	DO8
5	RESET
6	PWM0 RSSI
7	PWM1
8	[reservada]
9	DTR SLEEP_RQD RS
10	GND
11	AD4 DIO4
12	CTS DIO7
13	ON SLEEP
14	VREF
15	AD5 DIO6
16	RTS AD6 DIO6
17	AD3 DIO3
18	AD2 DIO2
19	AD1 DIO1
20	AD0 DIO0



Conexiones y funcionalidades:

- Xbee funciona a 3.3V y se comunica por un puerto serie con Arduino.
- 3 modelos de antenas: integrada, wire o externa.
- Puertos integrados de entrada y salida digitales y analogicos

Circuito Basico



Comandos de E/S

- *ATD0...D7 configurar pines 0-7*
 - *ATP0...P1 configurar pines 10, 11*
 - *ATIR cambiar tasa de muestreo (en ms)*
-
- *Siempre se envía una muestra por transmisión*
 - *Los datos se mandan a la dirección de destino*

Uso con microcontrolador

- *Permite desarrollo de lógica local*
- *Prototipado rápido*
- *I2C, PWM, SPI*
- *Más E/S*
- *Xbee Series 2 permite sólo una dirección E o S.*

Modo API vs. Modo AT

- *Application Programming Interface*
- *Normalmente, para comunicar PCs entre sí*
- *Mayor fiabilidad*
- *Con la API definimos tramas de datos*
- *Permite comunicación en malla (a diferentes direcciones, sin reconfigurar el Xbee)*
- *ATAP 1 en Series 1 (ATAP 0 para desconectarlo)*
- *API firmware en Series 2*

API Frame Data

UART Data Frame & API-specific Structure:

Start Delimiter
(Byte 1)

0x7E

Length
(Bytes 2-3)

MSB LSB

Frame Data
(Bytes 4-n)

API-specific Structure

Checksum
(Byte n + 1)

1 Byte

API Identifier

cmdID

Identifier-specific Data

cmdData

Gateways

- *Permiten conectar XBee a otros sistemas*
- *Bluetooth*
- *Ethernet*
- *WiFi*
- *RFID*
- ...



Digi's Connect Ports

- *X8 – Ethernet, Wifi, Cell, USB, serial... \$1000*
- *X5 – Satellite Radio, cell, WiFi, GPS... \$1000*
- *X4 – Ethernet/Wifi, cell \$700*
- *X3 – GSM/FPRS... \$250*
- *X2 – Ethernet or WiFi*
 - \$100-\$200
 - Sparkfun WRL-10569
 - (Ethernet version)
 - \$140

iDigi

- *Entorno web con hasta 5 cuentas gratuitas*
- *Acceso remoto al “connect port”*
 - Permite actualizar el firmware de Xbees en la red
 - Reinicios remotos

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window titled "iDigi Developer Cloud - Mozilla Firefox". The address bar displays "idigi.com https://developer.idigi.com/home.do". The main content area is titled "iDigi® Developer Cloud". On the left, there is a sidebar with navigation links: "Home", "Welcome", "Resources", "iDigi Manager Pro" (which is selected and highlighted in blue), "Devices", "XBee Networks", "Storage", "Web Services Console", and "Administration" (with sub-links: "Services", "My Account", "Subscriptions", "Operations"). The right side of the screen shows a table titled "Devices" with the following data:

MAC Address	Device ID	IP Address	Device Type	Description
004090-3F0367	004090FF-FF3F0367	192.168.1.77	ConnectPort X2	

X2 Example

