

Redes de Sensores Inalámbricas: Aplicaciones en Medio Ambiente, Agricultura y Acuicultura



Juan José Serrano
C.U. Universidad Politécnica de Valencia.
Director. Inst. Univ. Inv. ITACA - UPV

➤ **Introducción Redes Inalámbricas de Sensores.**

- ❑ Características, Frecuencias, Nodos sensores y sumidero, MicroControladores y módulos , Alimentación, Antenas, Topología, Software.

➤ **Aplicaciones de Monitorización Ambiental.**

- ❑ Introducción, Great Duck Island, Proyecto ExScal, Redwoods, otros.

➤ **Aplicaciones en Agricultura de Precisión.**

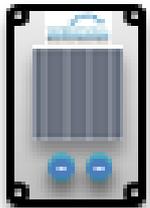
- ❑ Introducción, Objetivos, productores, medidas, sensores.

➤ **Aplicaciones en acuicultura.**

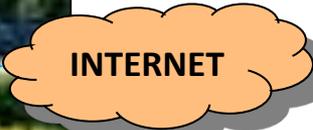
- ❑ Introducción, Comunicaciones acústicas, modem acústico,
- ❑ Aplicaciones.

Intro: Red Inalámbrica de Sensores

Sumidero
Recolector
de datos



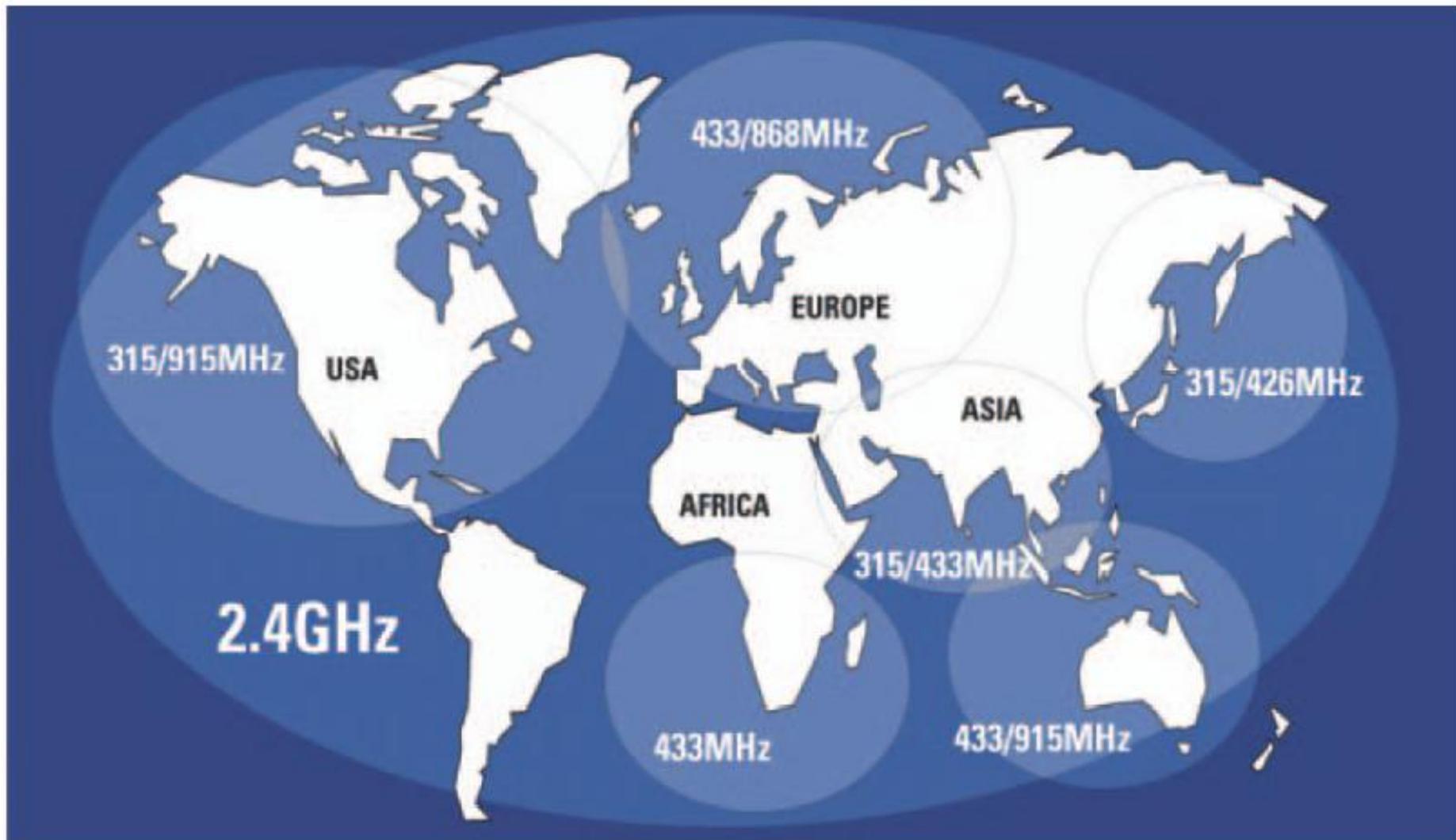
Nodo
sensor

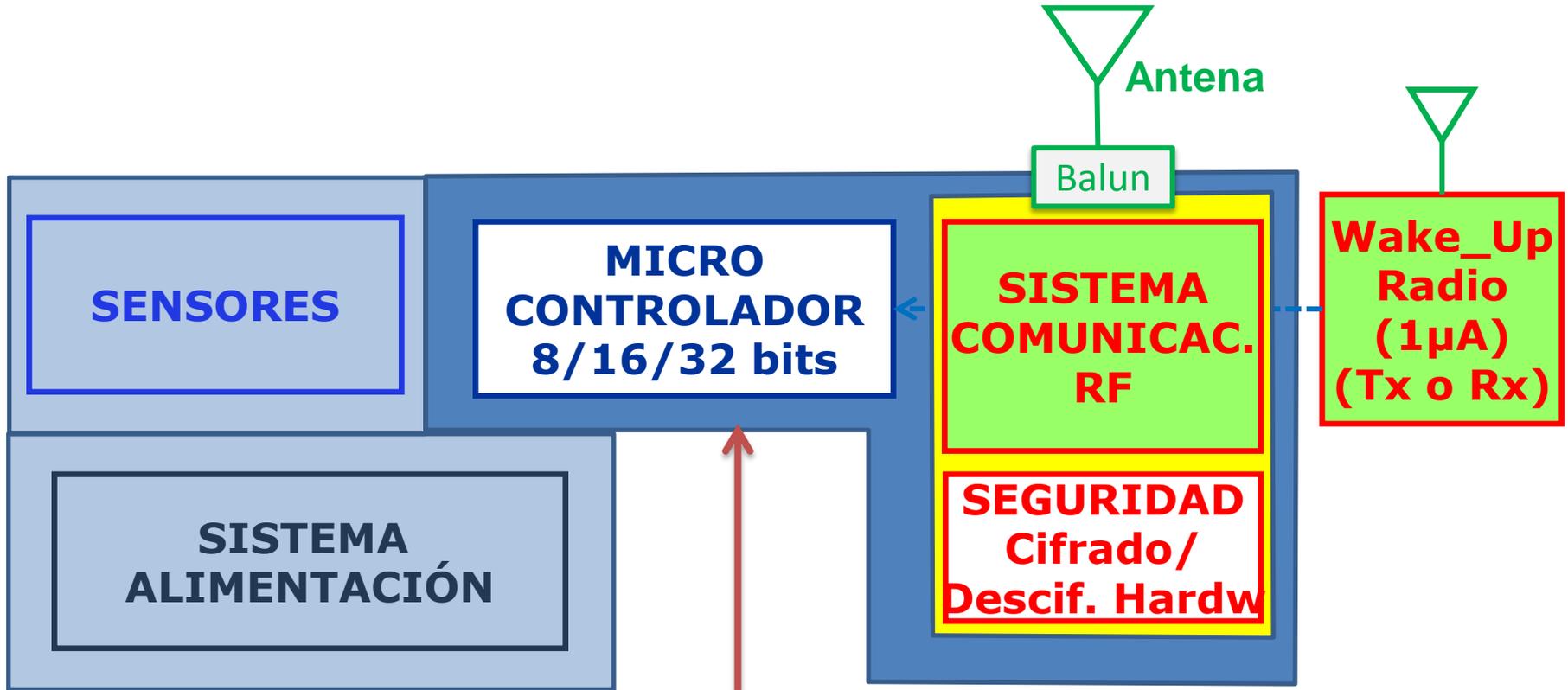


Base
de Datos
GSM/GPRS
WIFI
WIMAX
Otros.

Características, Requisitos de una RIS.

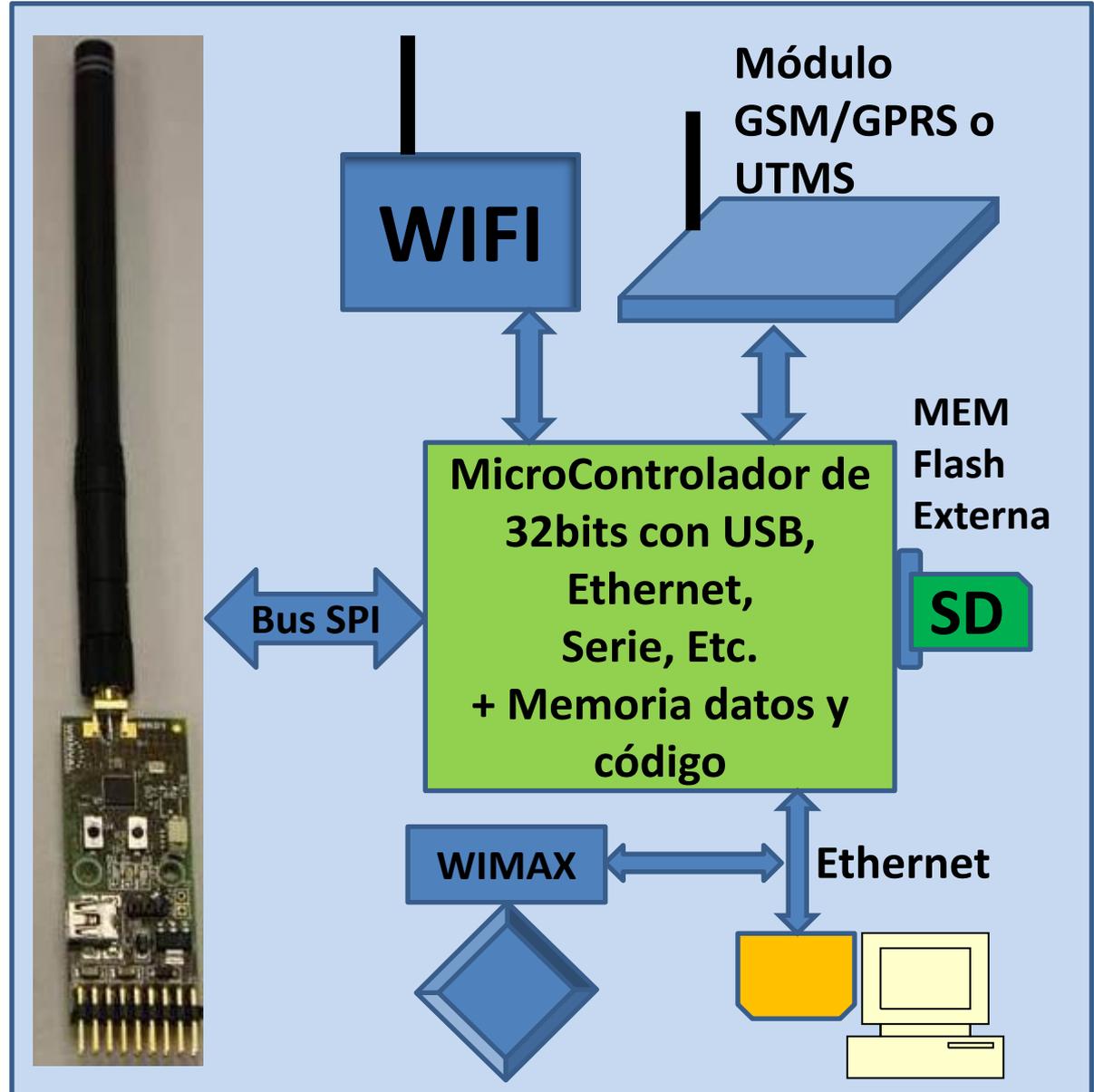
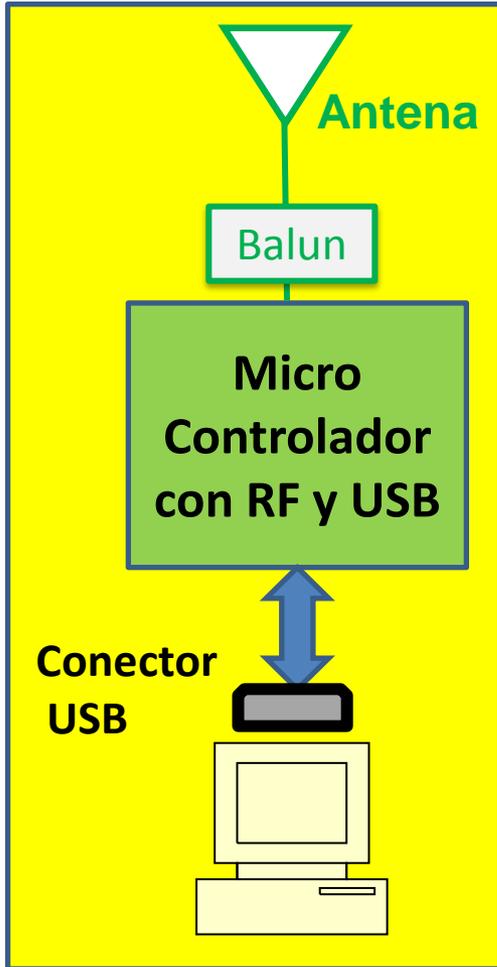
- Coste, Bajo o muy bajo coste según aplicación.
- Tiempo de vida del sistema (duración alimentación, uso real).
- Nodos con pocos recursos (CPU, memoria, energía, etc)
- Prestaciones: cada vez mayores prestaciones:
 - Velocidad; mayor potencia de proceso.
 - Mayor rango de comunicación.
 - Memoria (capacidad almacenamiento de datos y código).
 - Capacidad de operar de forma concurrente.
 - Flexibilidad.
 - Fiabilidad, seguridad, tamaño, empaquetado.
- Flujo de información de sensores a recolector o sumidero de datos.
- Casi siempre topología estática.
- Seguridad de la información con criptografía AES.
- Entorno de trabajo. Encapsulado. Propenso averías





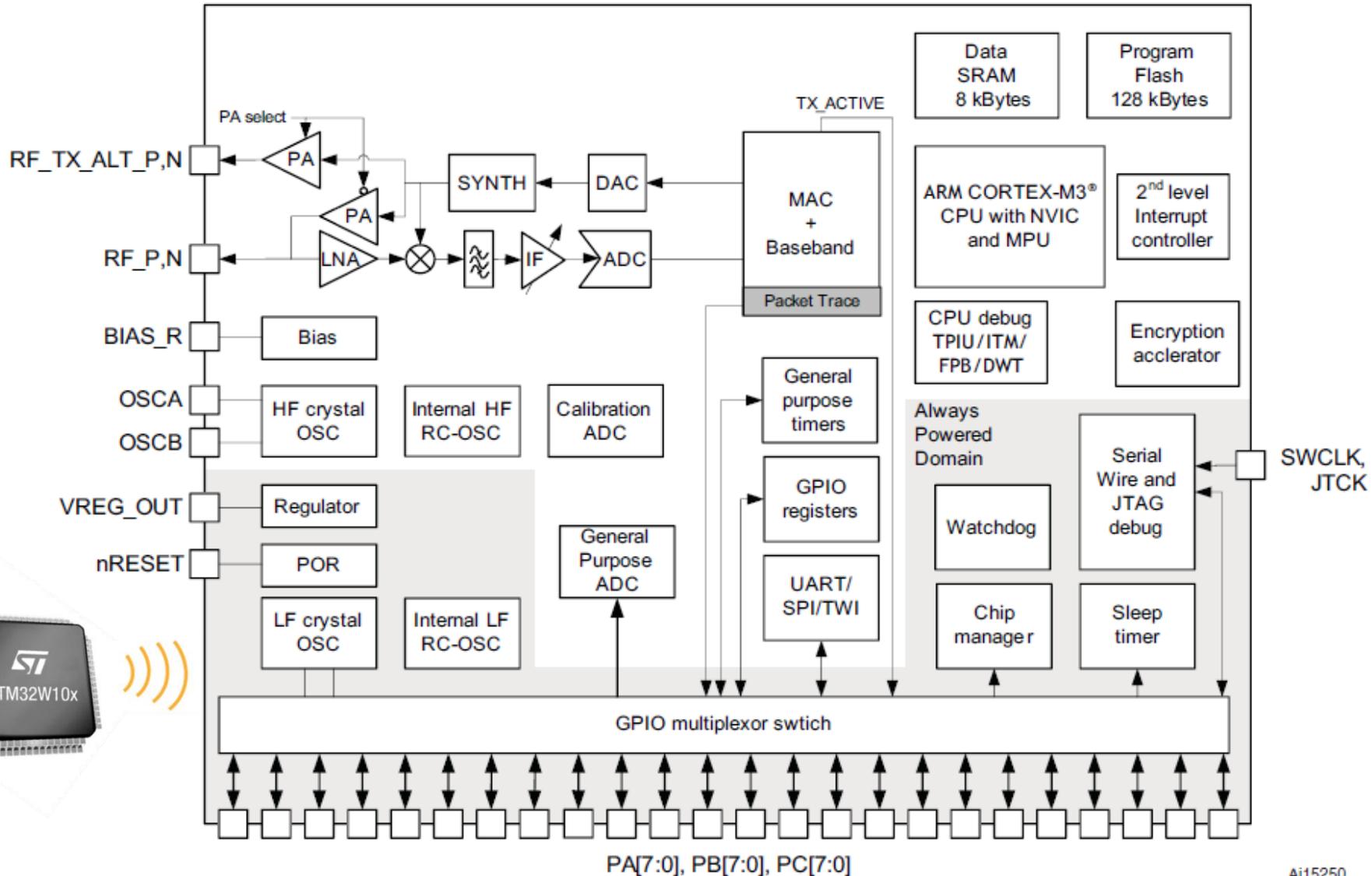
Sistema en un Chip :System on a Chip - SoC





Familia STM32W de ST Microelectronics

“Redes de Sensores Inalámbricas:
Aplicaciones en Medio Ambiente,
Agricultura y Acuicultura”



Active

Máximas prestaciones, máximo consumo.

Standby

Para la CPU en operaciones entre periféricos. Wake-up ultra rápido.

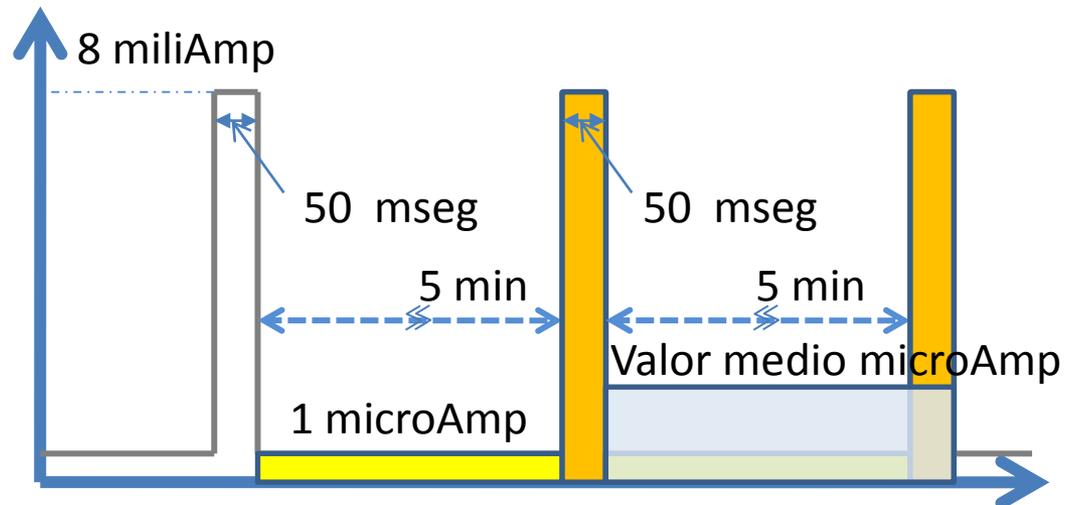
Deep sleep 1
RTC on

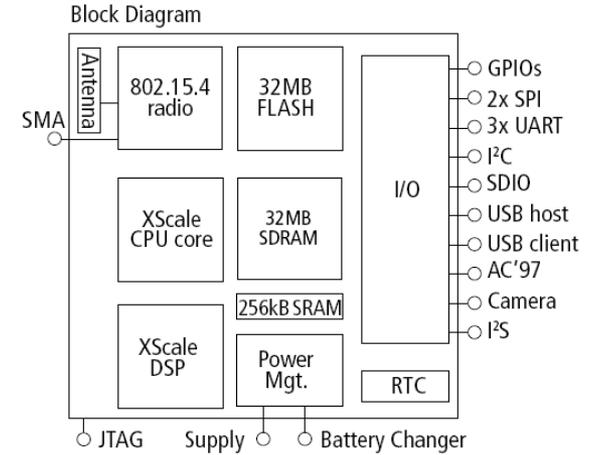
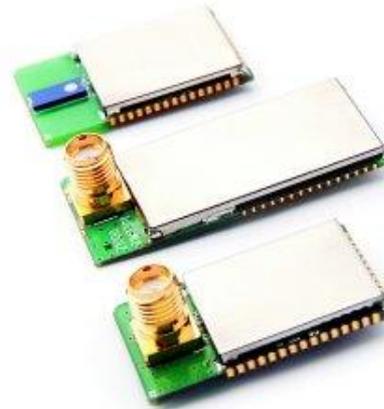
Para el regulador de tensión y retiene la alimentación del RTC para que funcione. La alarma del RTC despierta la CPU.

Deep sleep 2
RTC off

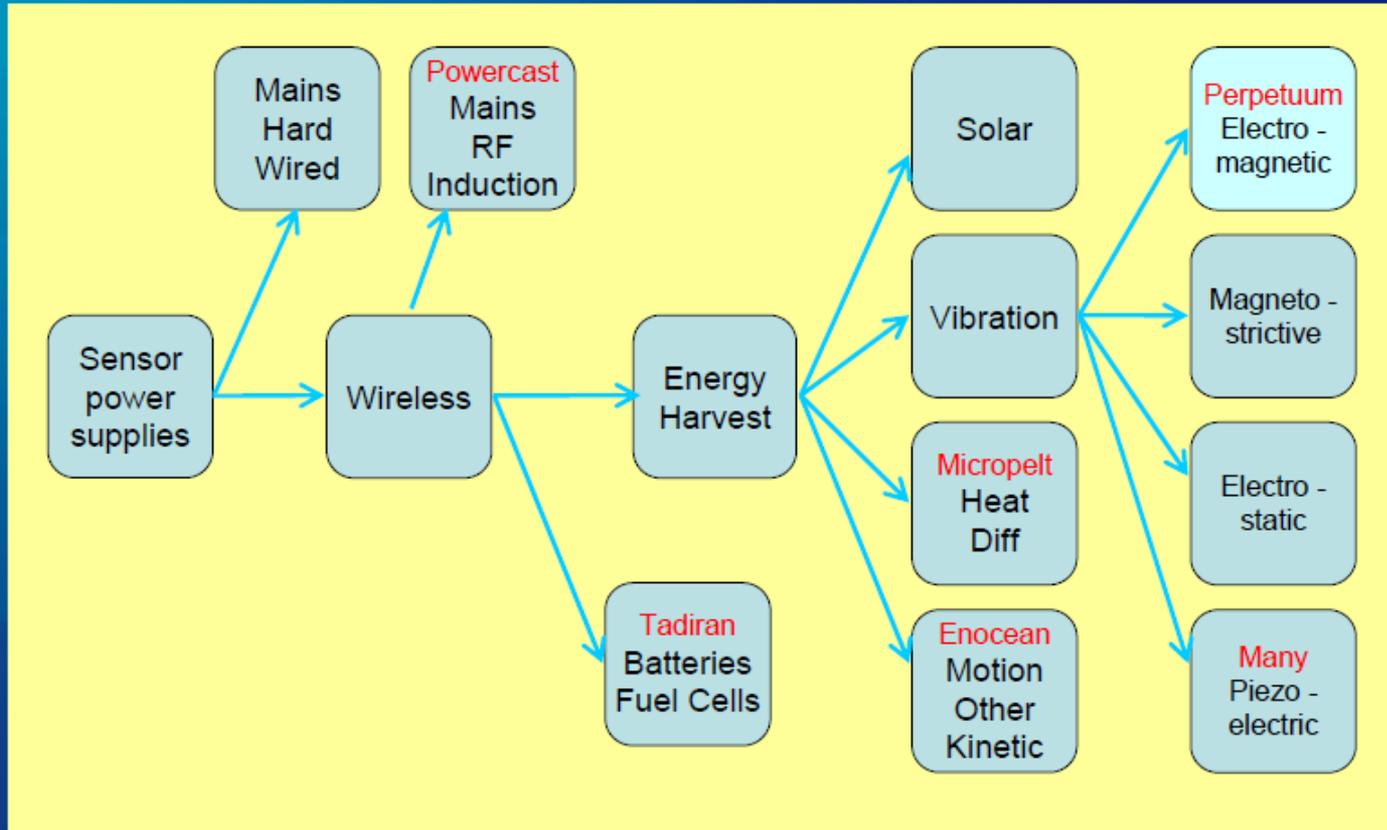
Para todo el sistema menos las entradas de reset y señales de wake-up externas, que son las que despiertan a la CPU.

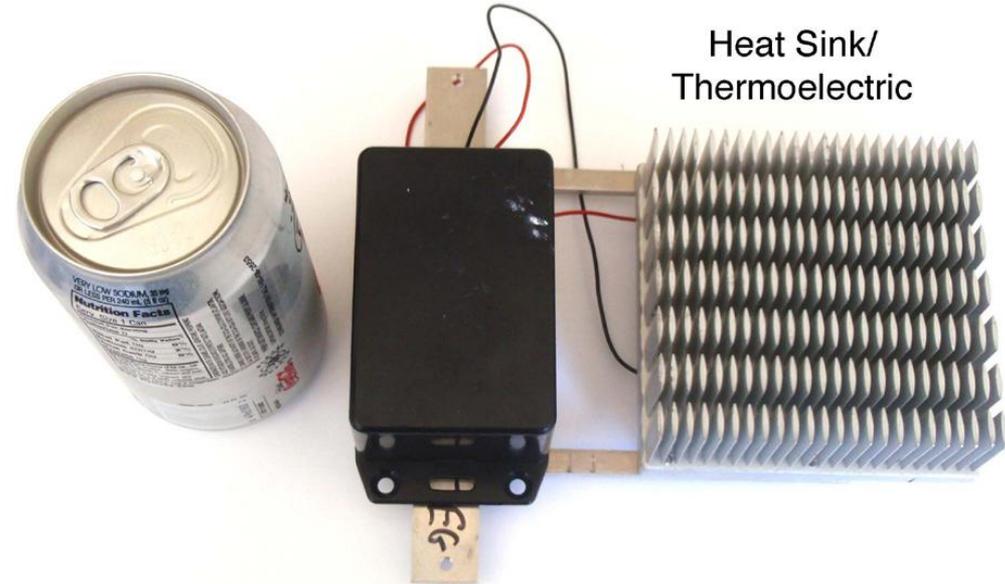
Mode	Power consumption
Deep sleep 2	0.7 μ A
Deep sleep 1	0.4 μ A
Standby	2 mA
Active at 12 MHz	6 mA

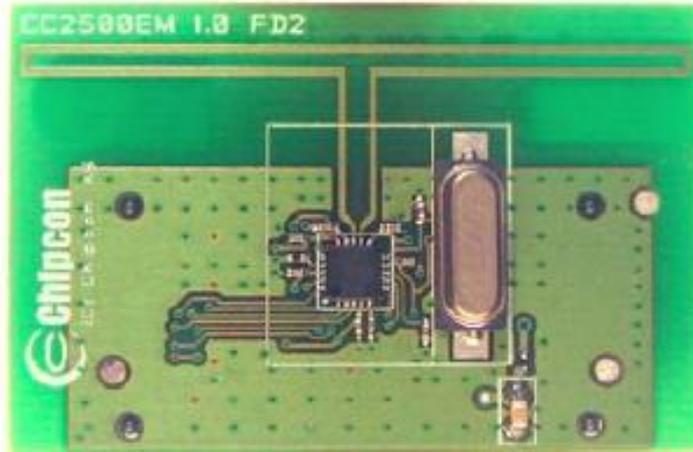




Alternative Methods of Powering Sensors







PCB Antenna



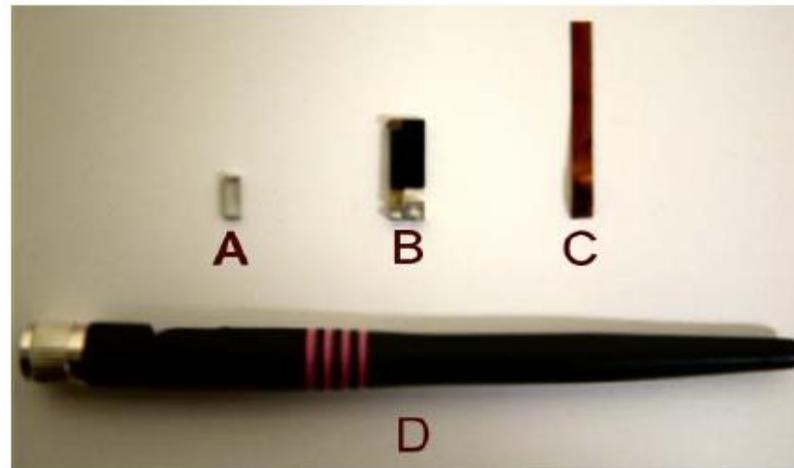
Chip Antenna



Whip Antenna

Antenna Type	Approx Range (<i>m</i>) GLTD	Performance (%) Relative to whip
Chip Internal A	33	21.3
Chip External A	59	38.1
Planar Internal B	9	5.8
Planar External B	103	66.5
1/4 wave monopole C	110	71
1/2 wave whip D	155	100

Good Link Threshold Distance (GLTD) distancia a la que el 65% de los paquetes se reciben bien.



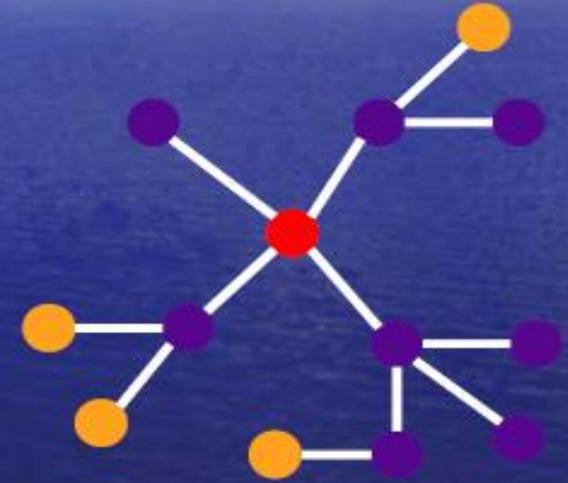
ZigBee Wireless Networking



**Star Network
(Simplest)**



**Mesh Network
(Best Reliability)**



**Cluster Tree Network
(Large Scale Networks)**

 **Coordinator**

 **Router (FFD)**

 **End Device (RFD)**

Herramientas de desarrollo asociadas al microcontrolador a usar.
Muchos desarrollos de SO específicos para RIS.

- El más usado TinyOS con muchas herramientas y añadidos, como en base de datos, seguridad, etc.
- Otros: Contiki, MANTIS OS, BTnut, LiteOS, Nano-RK, ERIKA Enterprise, SOS, AmbientRT, FreeRTOS. PicoOS, Timber, SensOS, RETOS, Micro T-Kernel, etc.

	TinyOS	Contiki	SOS	Mantis	Nano-RK	RETOS	LiteOS
Publication (Year)	ASPLOS (2000)	EmNets (2004)	MobiSys (2005)	MONET (2005)	RTSS (2005)	IPSN (2007)	IPSN (2008)
Static/Dynamic	Static	Dynamic	Dynamic	Dynamic	Static	Dynamic	Dynamic
Event/Thread	Event & Thread (TinyThread, TOSThreads)	Event & Threads & Protothreads	Event	Thread & Event (TinyMOS)	Thread	Thread	Thread & Event (through callback)
Monolithic/Modular	Monolithic	Modular	Modular	Modular	Monolithic	Modular	Modular
Networking	Active Message	uIP, uIPv6, Rime	Message	“comm”	Socket	Three-layer Architecture	File-Assisted
Real-Time Support	No	No	No	No	Yes	POSIX 1003.1b	No
Language Support	nesC	C	C	C	C	C	LiteC++
File System	Single level (1.x only) (ELF, Matchbox)	Coffee	No	No (will be in 1.1)	No	No	Hierarchical Unix-like
Reprogramming	Yes (Deluge, FlexCup)	Yes	Yes (Modular)	No (will be in 1.1)	No	Yes	Yes
Remote Debugging	Yes (Clairvoyant)	No	No	Yes (NodeMD)	No	No	Yes (DT)



No es posible tomar datos con redes cableadas, o es muy, muy caro.



Las Redes Inalámbricas de sensores son componentes muy buenos por sus características innatas para la monitorización ambiental de hábitats.

Fácil de desplegar, bajo coste, monitorización en tiempo real, obtención de resultados muy precisos en los entornos deseados, alta vida del sistema (alimentados con paneles solares), redundancia innata si se colocan muchos nodos dentro de un entorno cercano, etc.

En los últimos años se han desplegado muchas redes para la monitorización de hábitats con RIS. Ejemplo típico Great Duck Island.



Great Duck Island



- 150 nodos sensores desplegados por la isla para la medida de la temperatura, presión atmosf., humedad, luz, etc. Información que se recoge en un sumidero.
- Los datos del sumidero se hacen disponibles en internet a través de un enlace de satélite.

Great Duck Island

- ❑ Las colonias de aves marinas son muy sensibles a la perturbación humana.
- ❑ Investigaciones en Maine [Anderson 1995], sugieren que una visita de 15 minutos a una colonia de cormoranes puede producir una mortalidad de hasta un 20% de los huevos y pollitos en un año de cría. La perturbación repetida puede llevar hasta el final de la colonia.

Sensor	Accuracy	Interchangeability	Sample Rate	Startup	Current
Photoresistor	N/A	10%	2000 Hz	10 ms	1.235 mA
I ² C Temperature	1 K	0.20 K	2 Hz	500 ms	0.150 mA
Barometric Pressure	1.5 mbar	0.5%	10 Hz	500 ms	0.010 mA
Barometric Pressure Temp	0.8 K	0.24 K	10 Hz	500 ms	0.010 mA
Humidity	2%	3%	500 Hz	500-30000 ms	0.775 mA
Thermopile	3 K	5%	2000 Hz	200 ms	0.170 mA
Thermistor	5 K	10%	2000 Hz	10 ms	0.126 mA

Table 1: Mica Weather Board: Characteristics of each sensor included on the Mica Weather Board.

Módulo de presión barométrica con una sensibilidad de 0,1 mbar y un rango de presión absoluta de 300 a 1100 mbar. El módulo incluye un sensor de temperatura para compensar las medidas de la presión.

El sensor de humedad es del fabricante General Eastern es del tipo de polímero capacitivo calibrado de fábrica a 1 picofaradio ($\pm 3\%$ de humedad relativa).

La termopila es un sensor infrarrojo pasivo de Melexis. Puede medir la temperatura de objetos como los huevos de las aves, etc. En conjunto con los otros sensores de temperatura termistor y foto resistor se usa para medir el cielo cubierto por las nubes.



Proyecto ExScal (Extreme Scale) conlleva mas de 1000 nodos sensores de una red inalámbrica de sensores y mas de 200 nodos de comunicación punto a punto para sumideros de información. Para cubrir un área de más de 1,3 kilómetros de distancia por 300m en Florida, EE.UU.

El XSM nodo sensor de infrarrojos y sensores acústicos está diseñado para bajo consumo de energía, para un funcionamiento continuo y asincrónico con un circuito de wake-up para el procesador.

El XSS (eXtreme Scale Stargate) incluye un Comp. embebido con Linux, también incluye un GPS.



Sensor	Intruder	Sensing Range
Magnetometer	SUV	7 m
PIR	SUV	30 m
	Person	12 m
Acoustics	ATV	50 m

Table 1. Sensing ranges for intruders. SUV abbreviates Sport Utility Vehicle and ATV abbreviates All Terrain Vehicle.



- **Border Control**
 - Detect border crossing
 - Classify target types and counts

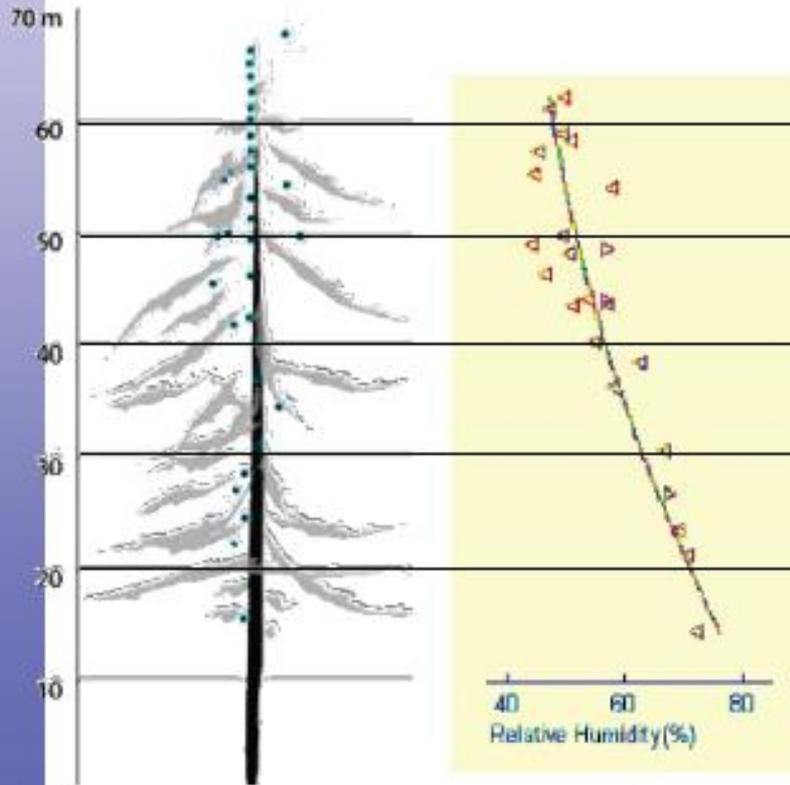


- **Convoy Protection**
 - Detect roadside movement
 - Classify behavior as anomalous
 - Track dismount movements off-road

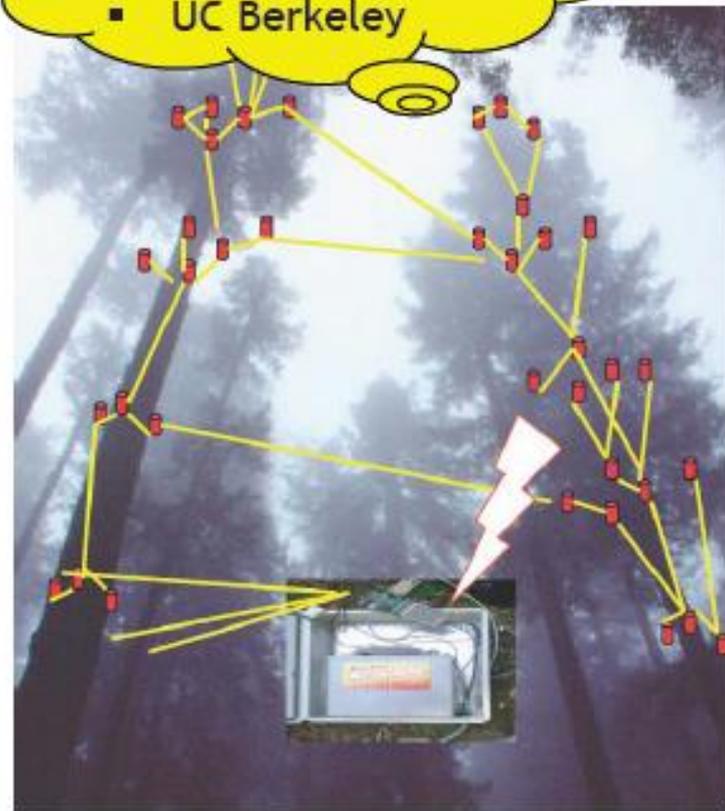


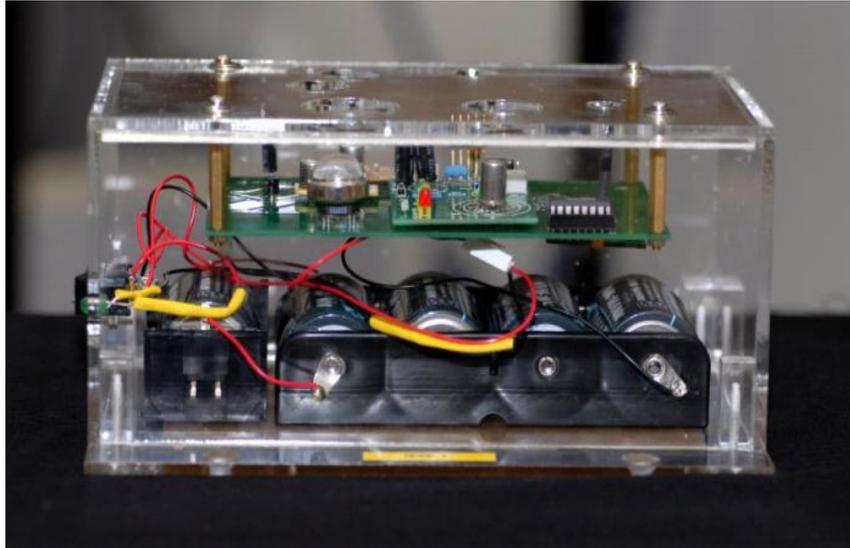
- **Pipeline Protection**
 - Detect trespassing
 - Classify target types and counts
 - Track movement in restricted area

Micro climate in Redwoods



- 44 days
- 50 nodes per tree
- UC Berkeley





Air Quality Monitoring Node:

Equipped with the following sensors:

Carbon dioxide sensor

Ammonia sensor

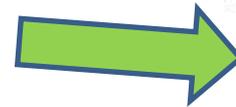
Temperature sensor

Relative Humidity sensor

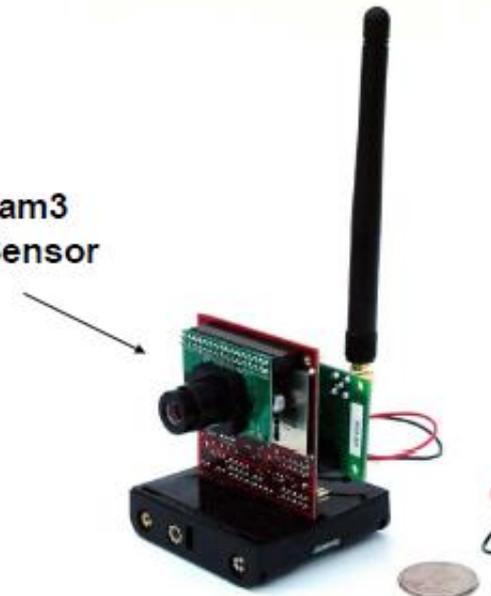
Methane sensor

General Air Quality Sensor

**Redes Inalámbricas de
sensores con cámaras
de foto y video.**



CMUcam3
Image Sensor





➤ **Quando regar y cuando parar de regar.**

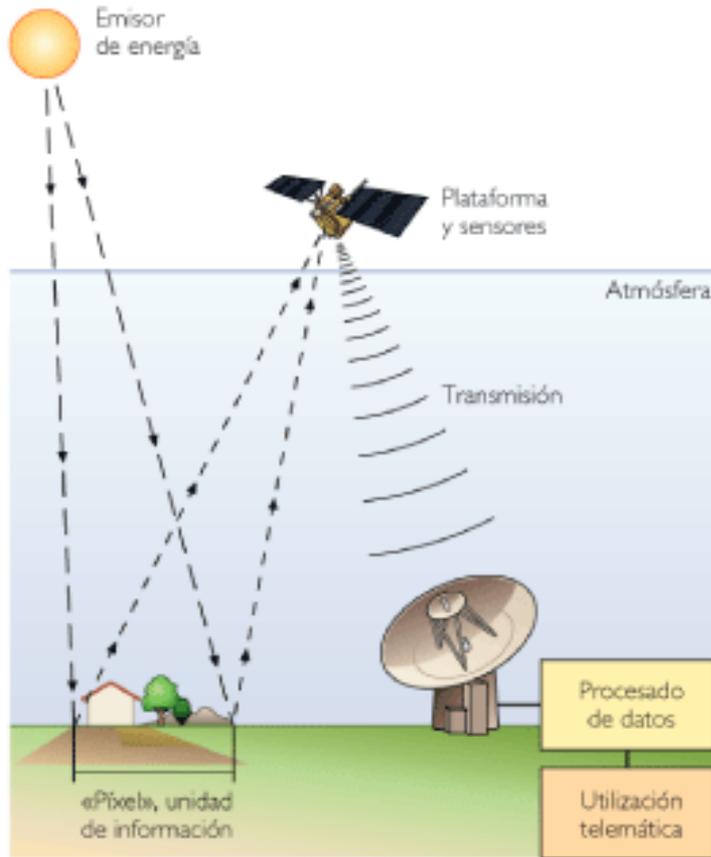
➤ **El cultivo crece bien.**



➤ **Nos atacará una plaga.**

➤ **Quando recolectar.**

- Tener un mayor conocimiento de las condiciones de crecimiento de los cultivos en tiempo real, para mejorar la cantidad y calidad de los productos cultivados.
- Mejorar los sistemas de riego y optimizar los consumos de agua, abono y energía.
- Tener un mejor control y protección frente plagas.
- Monitorizar y conocer la variabilidad de microclimas en los entornos de trabajo.
- Prevenir riesgos por heladas, etc....



Con satélites

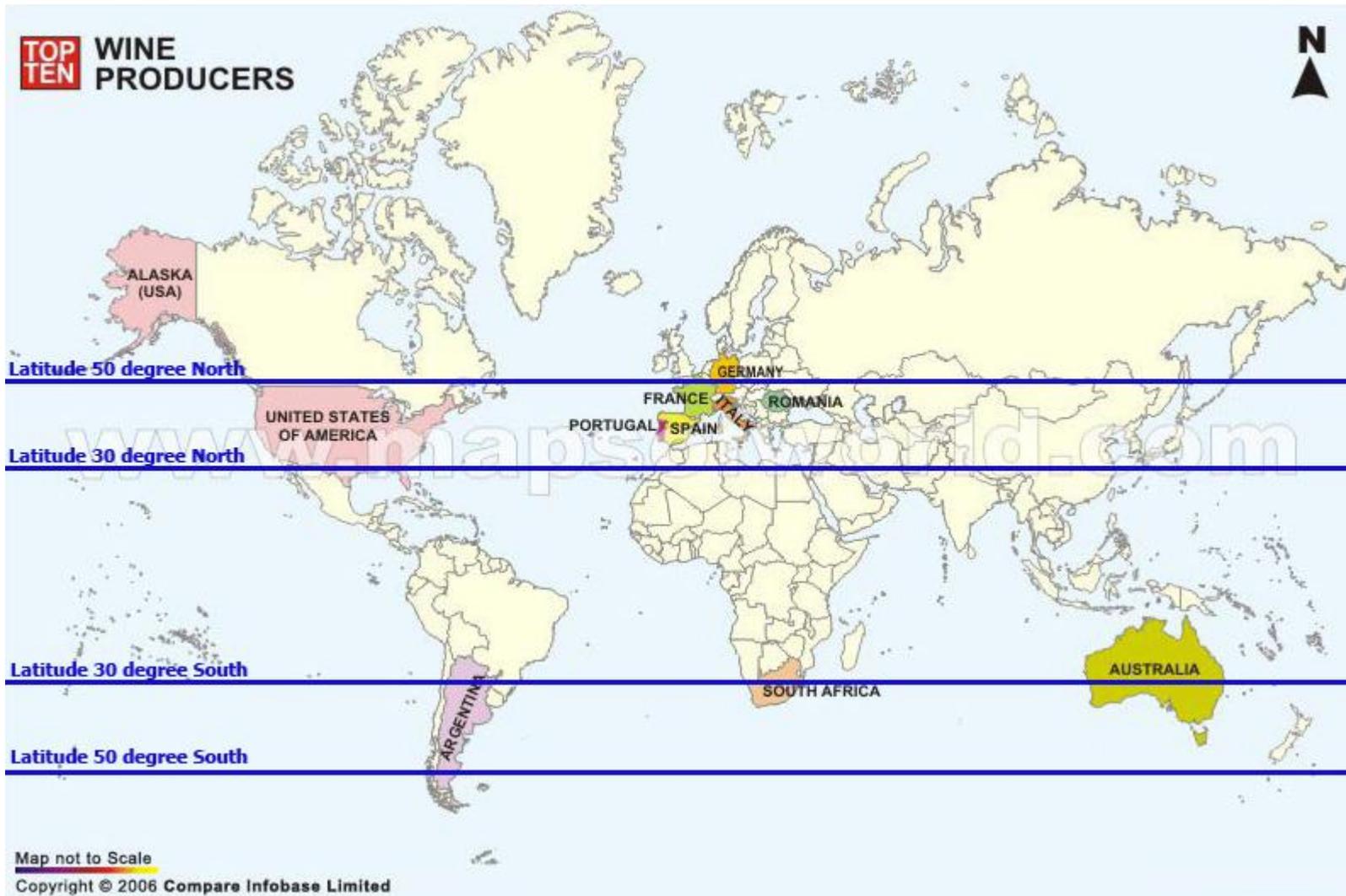


Con UAV (aviones no tripulados).

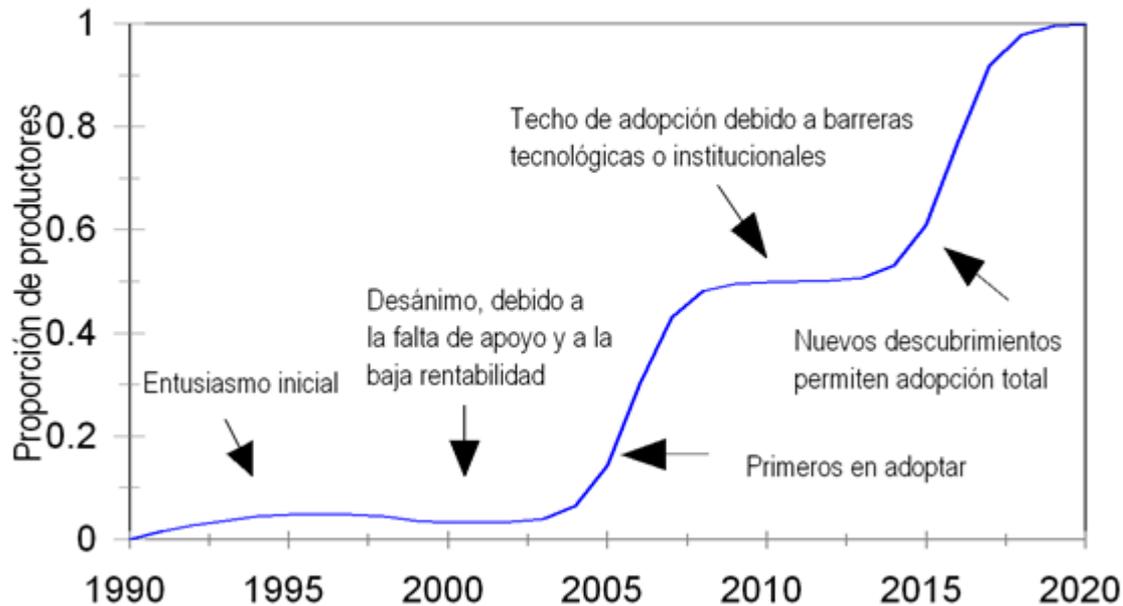


Con Redes Inalámbricas de sensores.

☐ Usando varios métodos en paralelo.



Pronóstico de adopción de la AP en el mundo



Ing. Agr. Rodolfo Bongiovanni - Proyecto Agricultura de Precisión,
INTA Manfredi. Argentina



- Humedad del suelo.
- Temperatura del suelo.
- Variación grosor de los troncos y/o frutos.
- Humedad en las hojas.
- Componentes químicos del suelo.

Variables climatológicas que incluyen:

- temperatura (°C),
- humedad relativa (%),
- presión barométrica (mb),
- velocidad del viento(km/h) y dirección,
- precipitación acumulada (mm),
- radiación solar (W/m²)
- índice Ultravioleta.

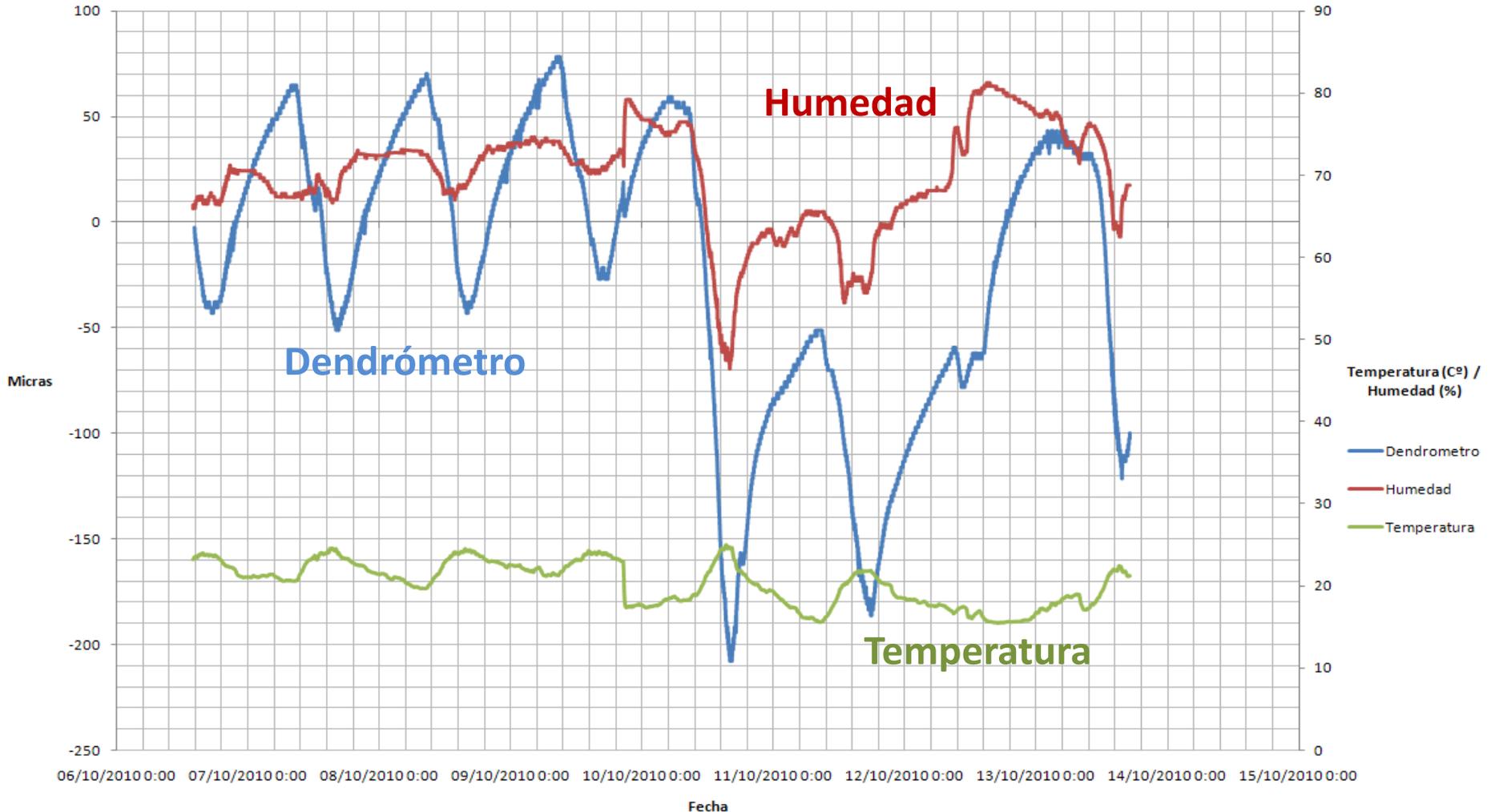
Control y verificación del sistema en las instalaciones piloto, mediante la modificación de las condiciones de riego creando tres situaciones distintas en la misma parcela experimental:

- Riego de control (según las necesidades del cultivo)**
- Riego deficitario (50% de las necesidades del cultivo)**
- Riego deficitario “PRD” (Partial Root Drying). 50% de las necesidades del cultivo pero alternando las líneas de goteos de ambos lados del arbolado.**

Variación grosor de los troncos y/o frutos. Dendrómetro con LVDT.

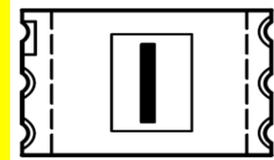
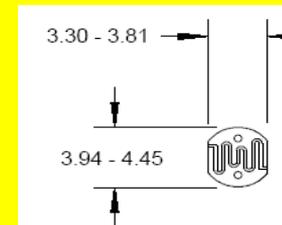
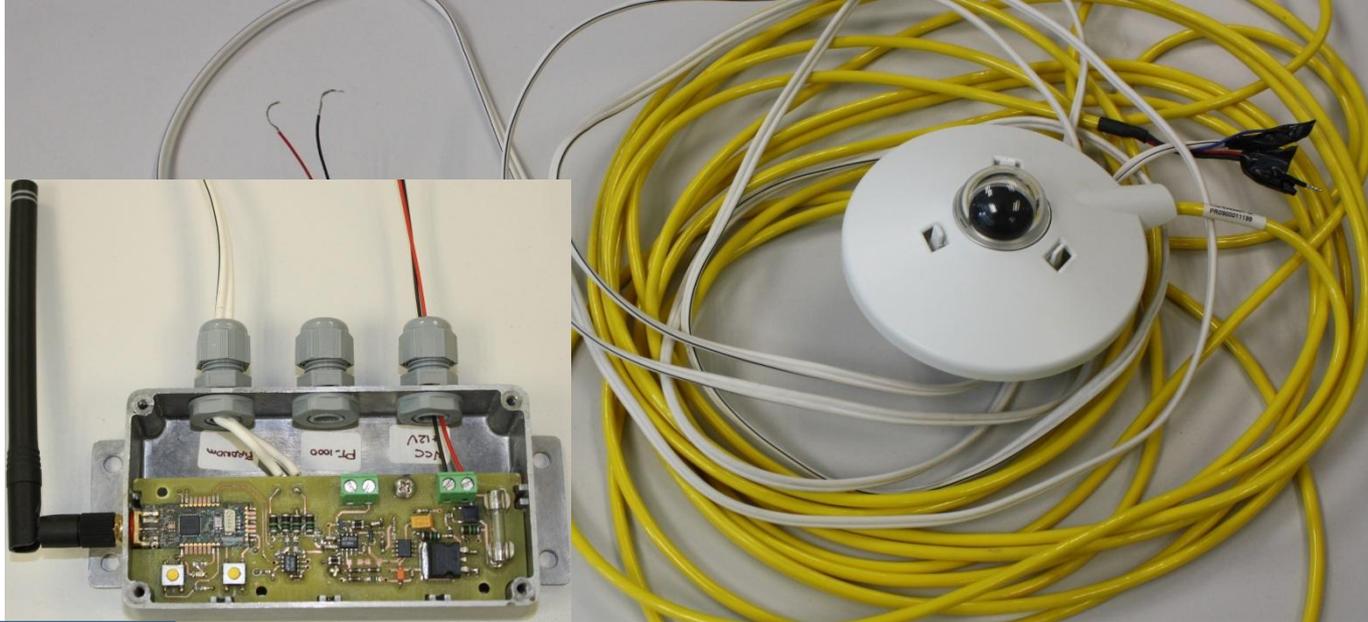


Registros del dendrómetro



Periodo de muestreo: 20 seg. (dendrom) , ambientales 1 minuto.

Nodo para la medida de la radiación solar (con Pirómetro) y temperatura ambiental.



TDR: REFLECTOMETRIA EN EL DOMINO DEL TIEMPO



Una varilla emite un impulso de RF y se mira el tiempo al pasar a la otra varilla. Por lo que mide el coeficiente Dieléctrico del suelo a partir del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético a lo largo de las varillas de acero. Se pueden colocar, dos, tres o cuatro varillas

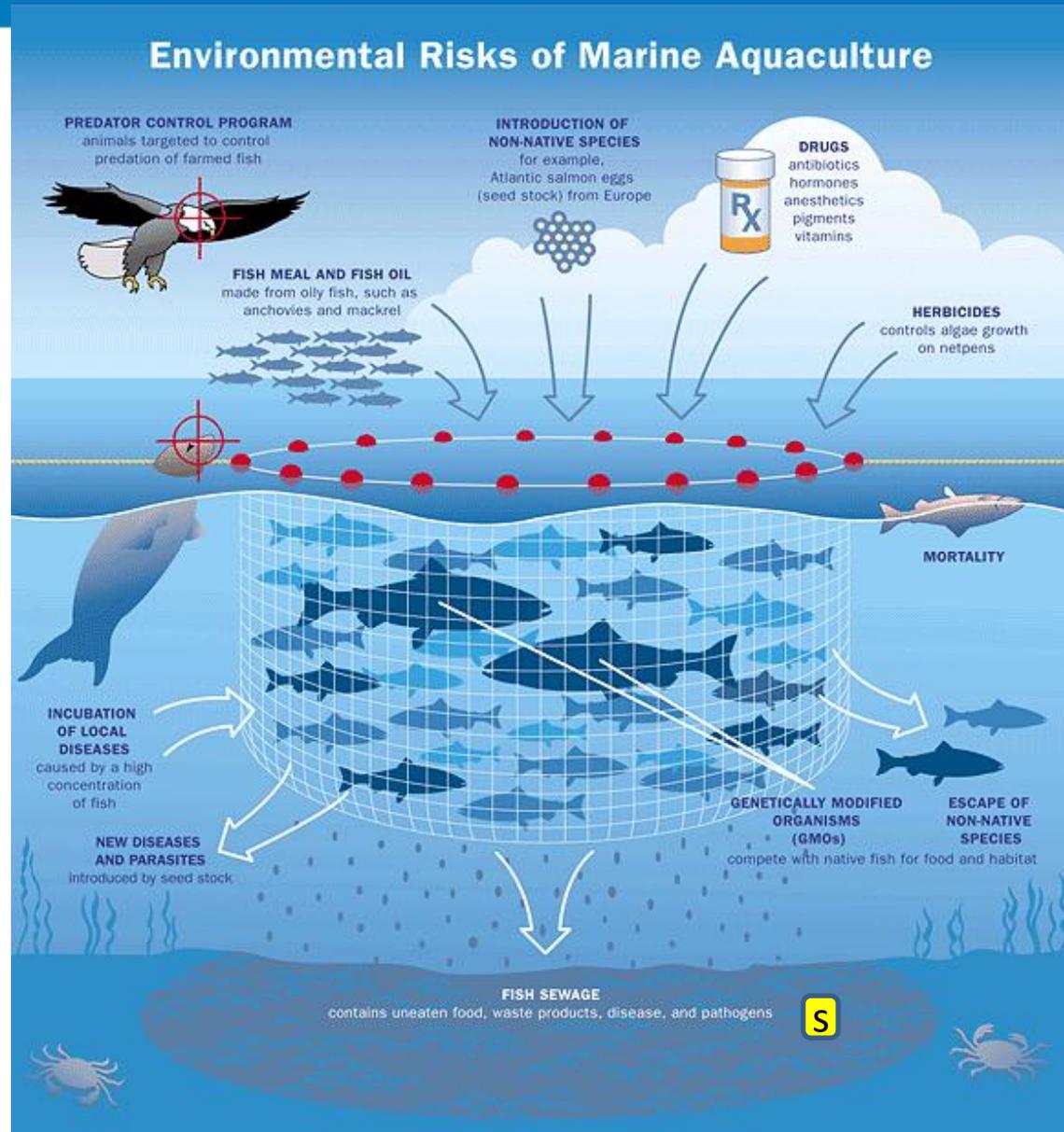
FDR: REFLECTOMETRIA EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA o Sonda Capacitancia.

Una sonda de capacitancia (CP) consiste en un par de electrodos separados por un dieléctrico de plástico. Los electrodos superior e inferior y el separador de plástico en forma de un cilindro ajustan dentro de un tubo de plástico de acceso. Una resonancia LC (L: inductancia, C: capacidad) en el circuito de la sonda incluye el conjunto de la tierra fuera del tubo de acceso en sí, más el espacio de aire entre el tubo de la sonda y el acceso, como uno de los elementos capacitivos. Los cambios en la frecuencia de resonancia del circuito dependerá de los cambios en las capacidades del suelo de alrededor del tubo.

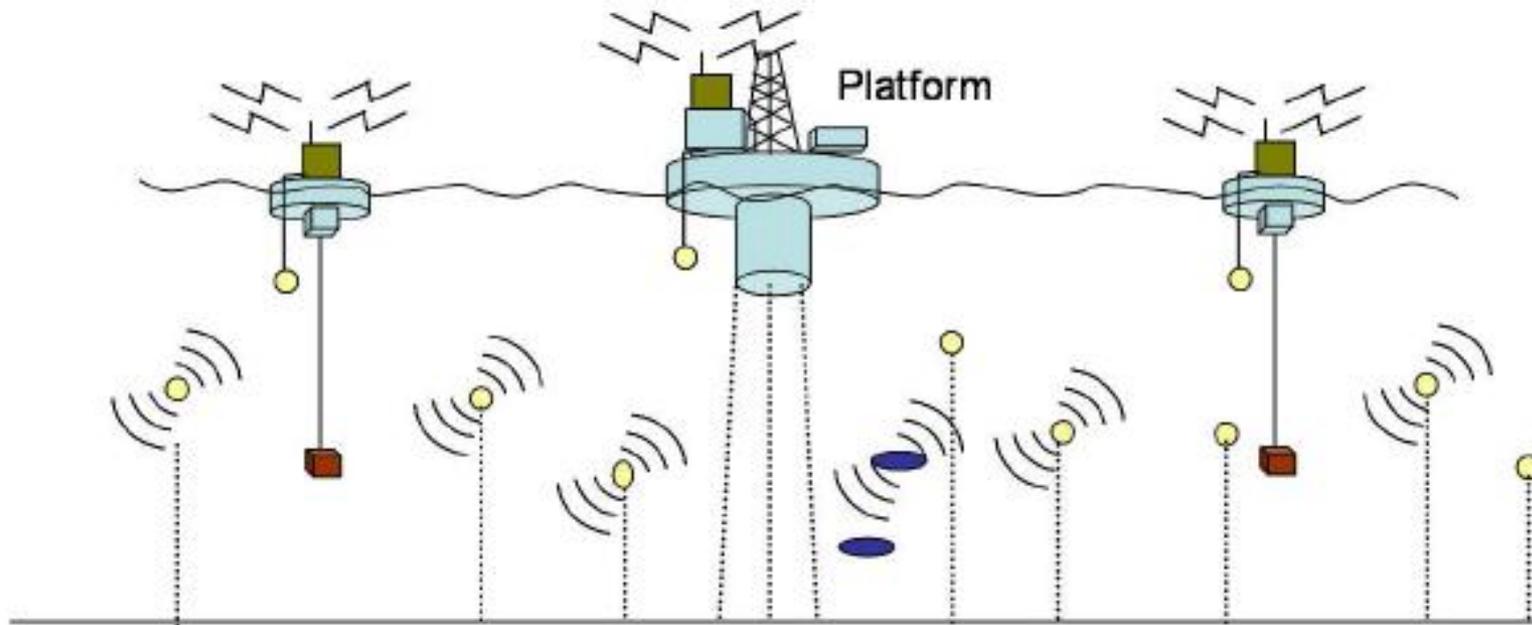




Comunicaciones subacuáticas:
 Uso de módems acústicos.
 Redes de sensores Subacuáticas.



Comunicación Inalámbrica con RF exterior



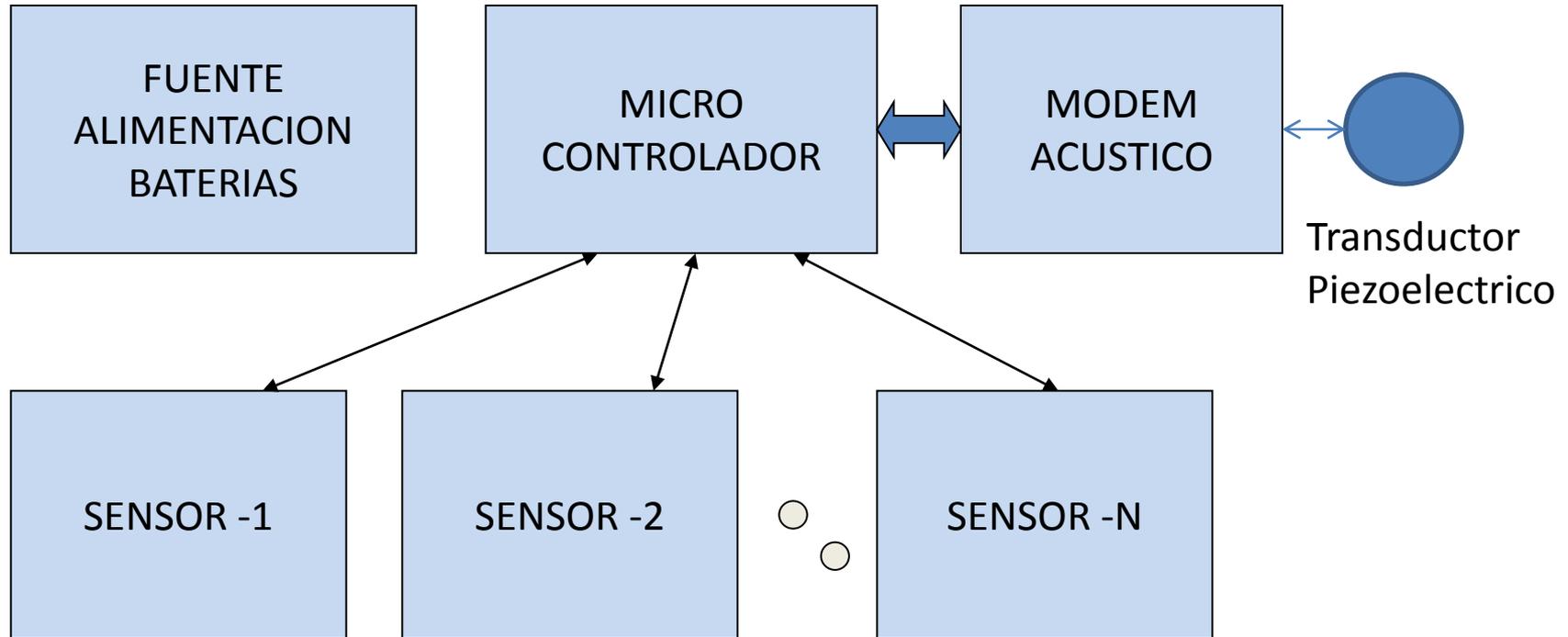
Comunicación acústica - submarina

 Robot Submarino o Underwater Autonomous Vehicle (UAV).

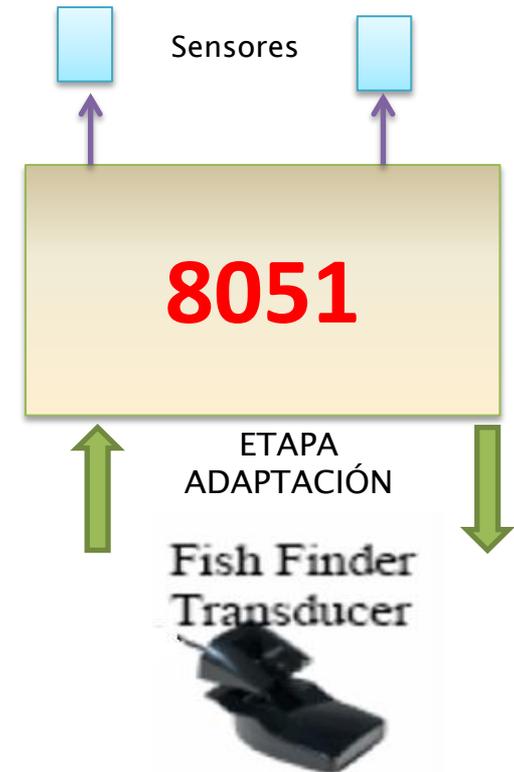
 Nodo red submarina, con modem acústico.

Trabajo en marcha:

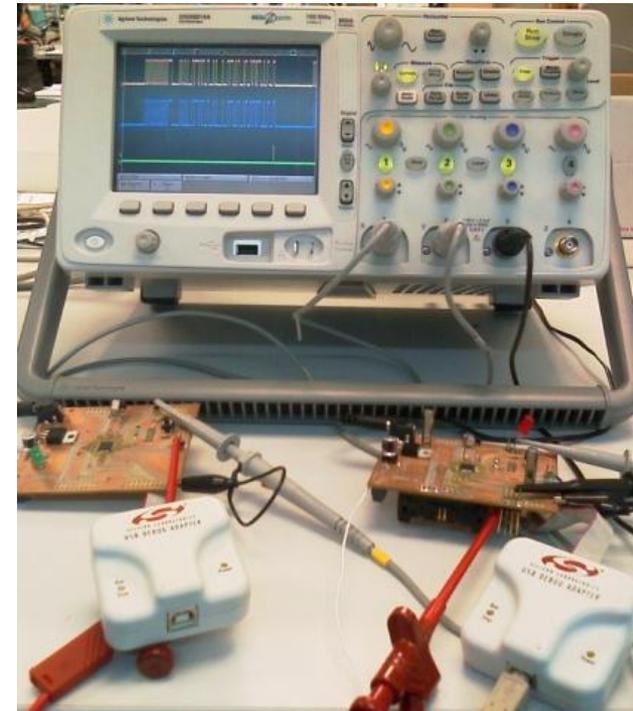
- Desarrollo de módems acústicos .
- Desarrollo de nodos sensores inalámbricos submarinos altamente fiables.
- Desarrollo de nodos de superficie para las comunicaciones inter-boya.
- Desarrollo de sistemas de comunicación entre las boyas y la estación base en tierra.



- ▶ Elección de arquitectura que cumpla con los requerimientos
 - Sistema basado en un microcontrolador de 8 bits y la arquitectura 8051
 - Solución innovadora en este campo
 - Potencia de calculo intermedia
 - Unidad MAC integrada
 - 100 MIPS
 - Consumo de potencia reducido
 - 20 μ A en bajo consumo
- ▶ Arquitectura flexible
 - Fácilmente reconfigurable

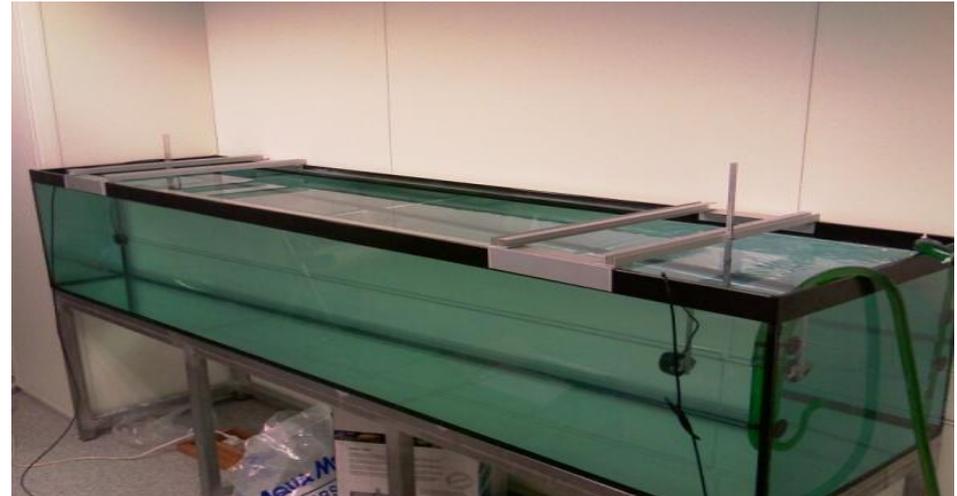


- ▶ Realización de un prototipo para evaluar los algoritmos de modulación y demodulación (basado en Software Defined Radio -SDR).
- ▶ Verificación de diversos parámetros.
 - 50 % de los recursos disponibles utilizados.
- ▶ Introducción de bloques de sincronismo.
 - De símbolo.
 - Tolerancia en los osciladores de referencia.
 - De trama.
 - Definición de un formato de trama.
 - Diseño e implementación de una máquina de estados en transmisión y recepción.



Aplicaciones:

- **Monitorización ambiental subacuática**, recogida de datos oceanográficos, la exploración de las costas, la monitorización de la polución.
- **Seguimiento de robots móviles y UAV.**
- **Monitorización en entornos de acuicultura marina.**
- **Prevención de desastres naturales,**
- **Asistencia a la navegación,**
- **Aplicaciones de vigilancia táctica distribuida,**
- **El reconocimiento de minas,**
- **Etc.....**



Los principales desafíos a superar en el diseño de redes acústicas subacuáticas son:

- La limitada energía de las baterías. Además, las baterías no suelen disponer de mecanismos de recarga dado que la energía solar en dicho entorno no puede ser explotada;
- El ancho de banda está severamente limitado;
- Las características del canal de comunicaciones, incluyendo los retardos de propagación largos y variables, la existencia de múltiples rutas en el transporte de la información y los problemas de desvanecimiento de la señal;
- La alta tasa de errores de bit;
- La propensión de los sensores subacuáticos a las averías debidas a la corrosión, etc.

Tópicos de investigación activos

- Reducción de la complejidad del receptor.
- Cancelación de Interferencias.
- Comunicaciones multiusuarios.
- Sistemas con auto-optimización.
- Modulación y codificación avanzada como MIMO OFDM.
- Comunicaciones móviles submarinas.
- Redes de sensores subacuáticas.

