



# WSN para Servicios Metropolitanos

Candia Agustín - Varela Leonardo  
2017



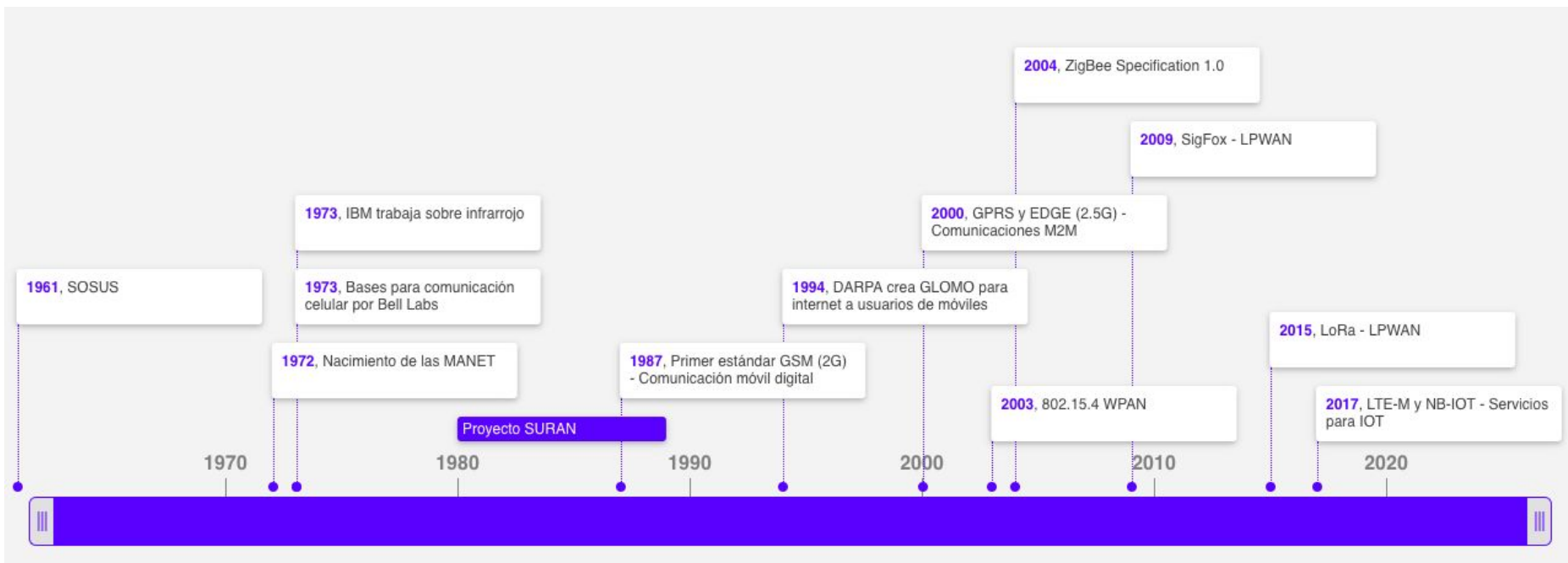
# Motivación

- El crecimiento urbano y las implicancias que esto conlleva. Desafíos frente a la escasez de recursos básicos, la contaminación ambiental, los efectos del cambio climático y los movimientos migratorios, entre otros.
- Desarrollo en el ámbito de hardware de sensores y comunicaciones. Disminución de costos, incremento de performance y autonomía.
- Surgimiento del paradigma IoT. Como dan soporte las tecnologías de redes de sensores inalámbricas.

# Objetivos

- Analizar las tecnologías involucradas en torno a las redes de sensores inalámbricas (WSN, Wireless sensor networks), sus características, campos de aplicación y casos concretos desarrollados en la actualidad.
- Realizar un prototipo funcional como punto de partida para:
  - Difundir su versatilidad y usos posibles.
  - Ofrecer una solución basada en tecnologías de Software y Hardware libre.
  - Analizar la viabilidad de implementar el paradigma de “Ciudad Inteligente” en un contexto local.
  - Promover el desarrollo de soluciones que optimicen la utilización de recursos y brinden servicios a la comunidad.

# Evolución



# Redes de Sensores Inalámbricas

“Una red de sensores es una infraestructura compuesta por elementos de cómputo, medición y comunicación, que permiten a un administrador o sistema autónomo instrumentar, observar y reaccionar a eventos y fenómenos en un ambiente específico.”

# Redes de Sensores Inalámbricas

## Algunas de las condiciones a enfrentar

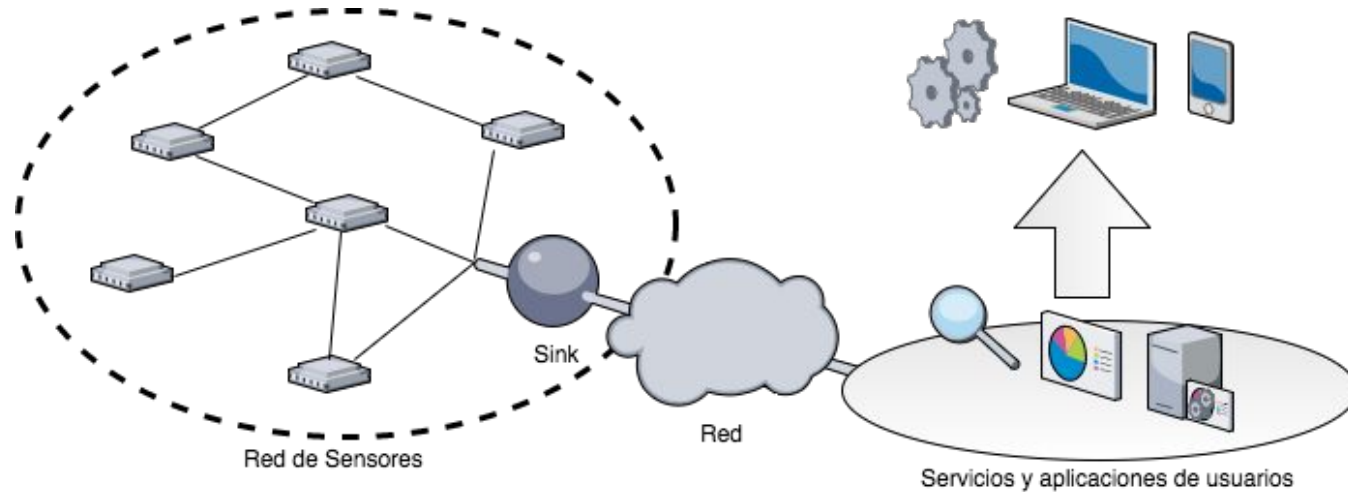
Restricciones de Energía - Bajo ciclo de trabajo - Ancho de banda limitado - Condiciones ambientales desfavorables - Limitaciones de memoria y procesamiento - Nodos densamente desplegados - Información redundante - Red propensa a fallas - Vulnerabilidades propias del medio

## Algunas características deseables

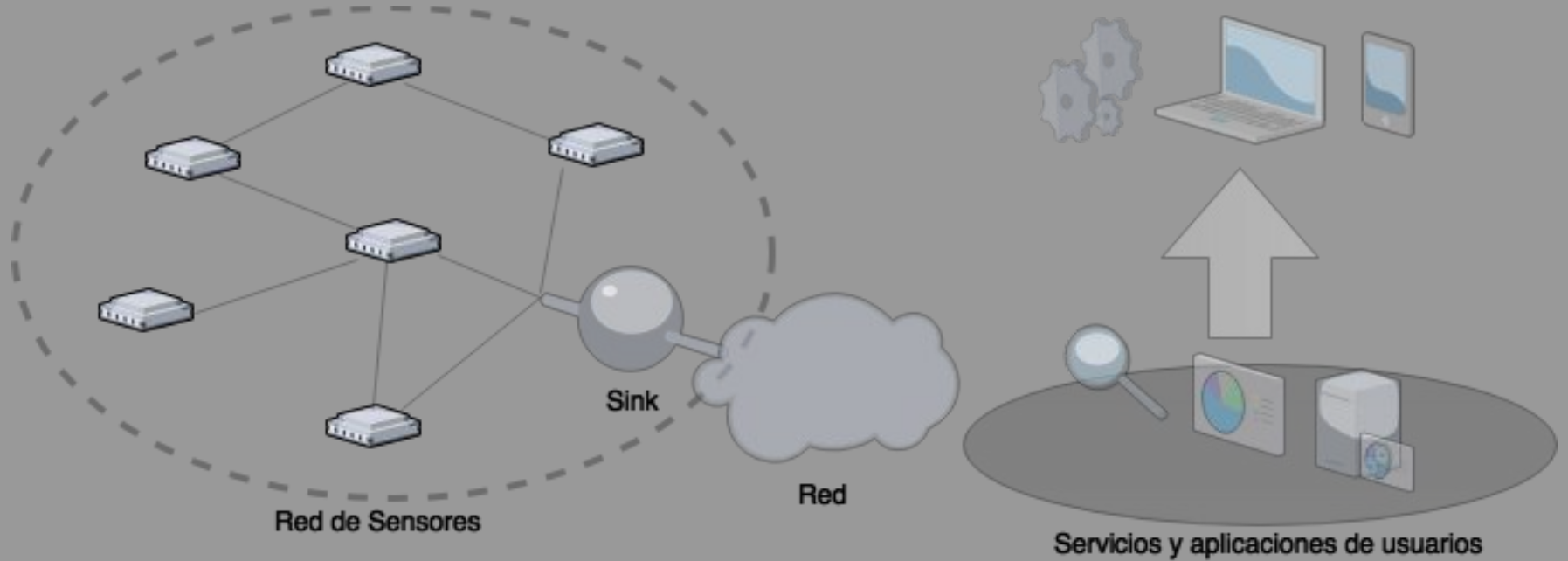
Bajo consumo energético - Rutinas de sensado y comunicación optimizadas - Protocolos de red livianos - Hardware económico y robusto - Escalabilidad - Configuración sencilla y actualización OTA - Técnicas de procesamiento en la red - Redes autoorganizables - QoS - Seguridad

# Cómo se compone una red de sensores?

- Nodo
- Sink y/o estación base
- Infraestructura de red /Protocolo de comunicación entre nodos
- Servicios y aplicaciones de usuario

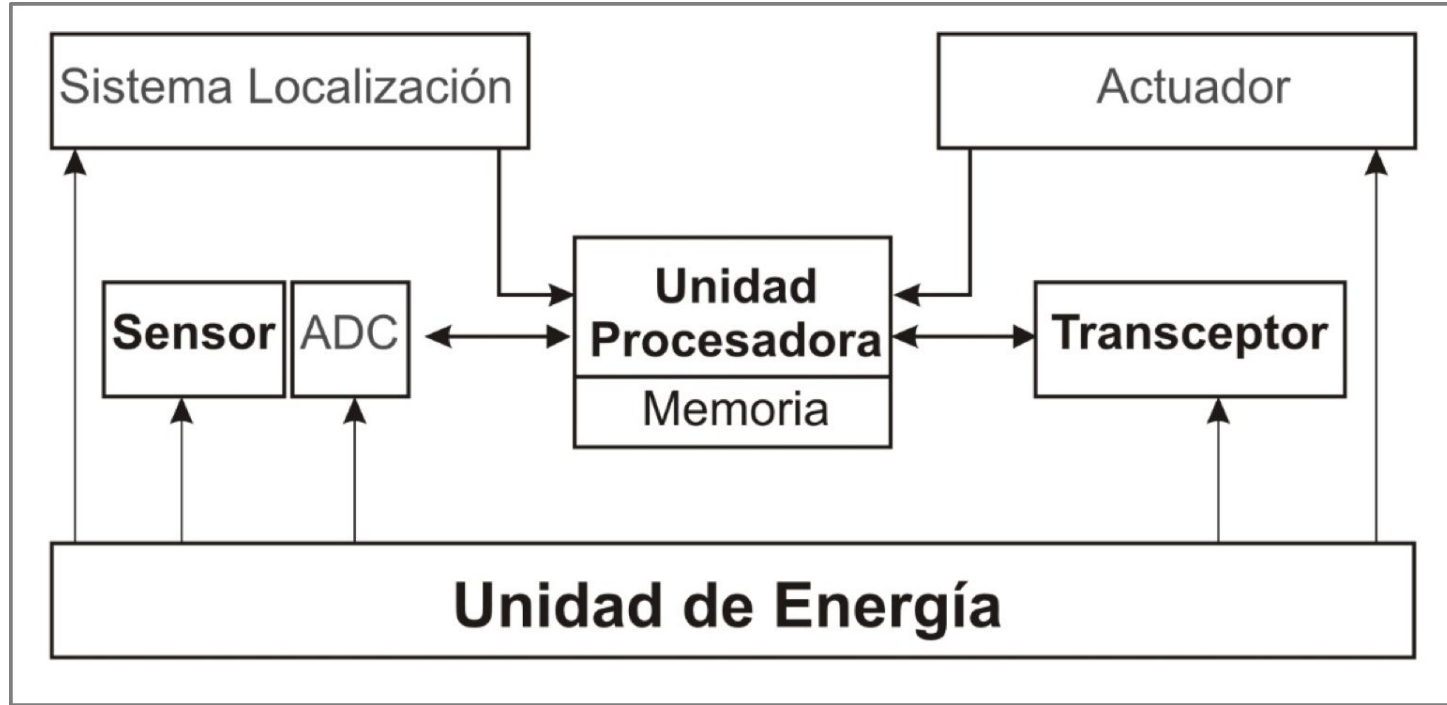


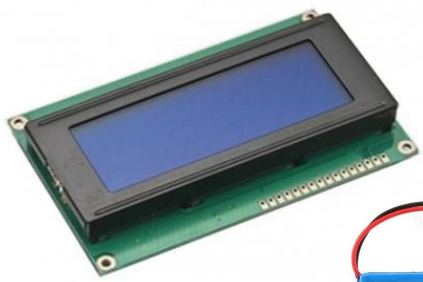
# Nodos





# Arquitectura de los nodos





# Sistemas Operativos

- Abstracción del hardware.
- Librerías de comunicación.
- Concurrencia. Manejo de hilos.
- Rutinas para bajo consumo.
- Actualización over the air
- Entornos de simulación
- Conectividad a servicios.

**Contiki**

**R**IOT

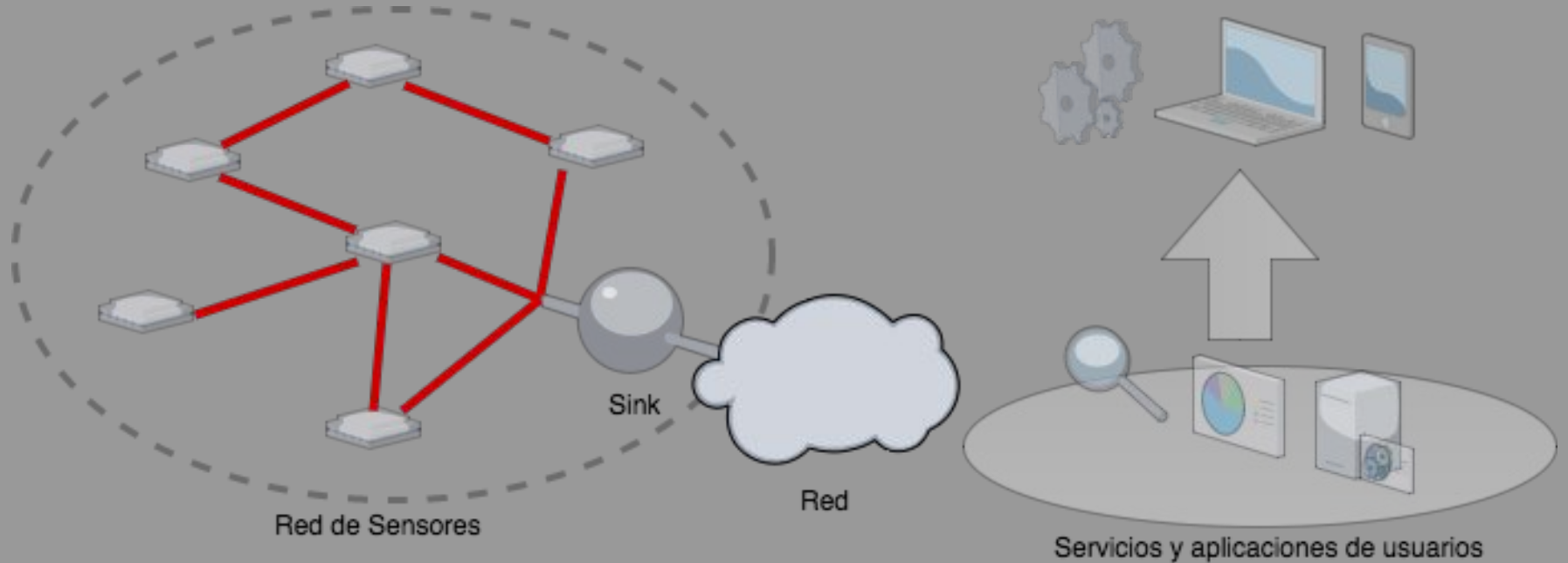
**TinyOS**

**android**things

 **Windows IoT**

**TIZEN** 

# Infraestructura de red



# Consideraciones

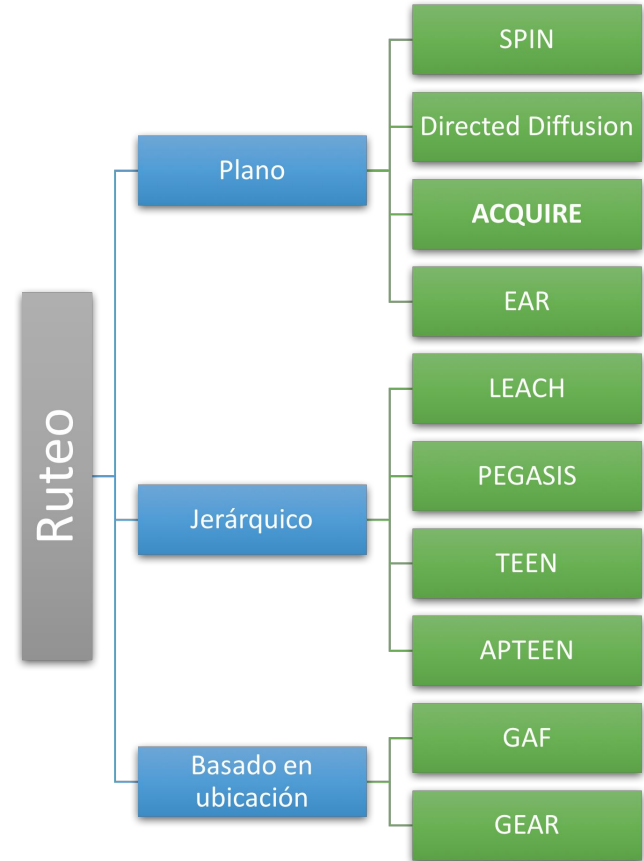
Al momento de elegir qué tipo de red se debe montar y cuáles serán las tecnologías involucradas, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Características que posee la solución: Requerimientos de energía, densidad de nodos, tasa de transferencia, rango de cobertura, movilidad, características ambientales.
- Seguridad, criticidad de los datos.
- Disponibilidad de la tecnología en la región.
- Compatibilidad con la legislación vigente. Uso de bandas no licenciadas.
- Tipo de enrutamiento que se adapte mejor a las condiciones antes mencionadas.

# Tipos de enrutamientos en WSN

- **Plano:** En esta clasificación todos los nodos de la red tienen un mismo rol, y trabajan juntos en la tarea de sensado. Es datacéntrico. (Metadatos, propagación/agregación, cache, subconsultas)
- **Jerárquico:** Los nodos con mayores capacidades de energía pre-procesan y traspasan información. En los nodos con menor disponibilidad de energía se prioriza la tarea de sensado. (rotación de clusterheads, umbrales)
- **Basado en ubicación:** Los nodos son direccionables por medio de su ubicación. La distancia entre los nodos puede determinarse en base a la potencia de las señales o por GPS. (ej. grilla con un solo nodo transmitiendo)

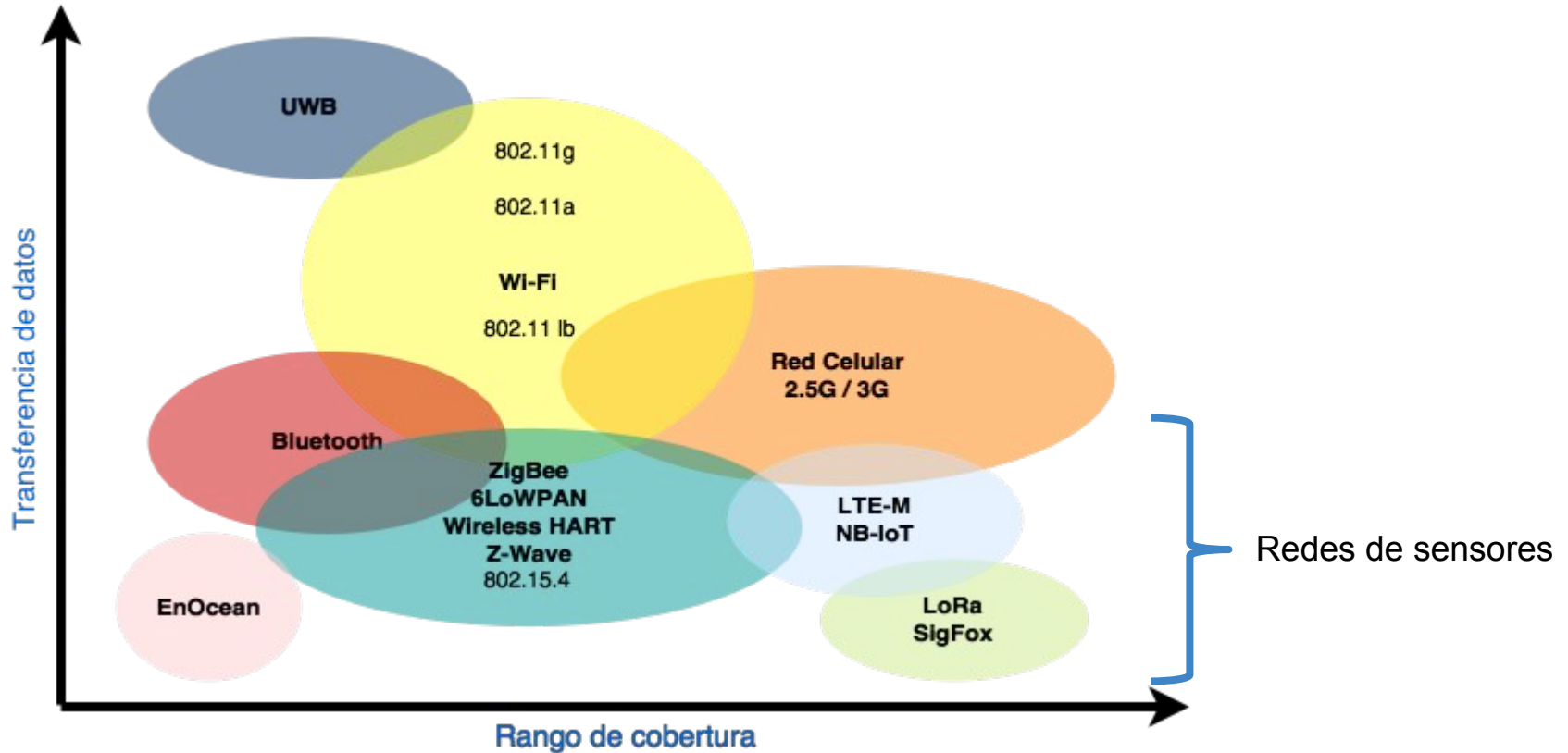
Otras clasificaciones: QoS(SAR), Proactivos o Reactivos (AODV)



# Estándares

- Realizados por organizaciones o alianzas de empresas
- Definen diferentes conjuntos de capas del modelo OSI
- Generalmente persiguen un propósito o están orientados a una funcionalidad específica

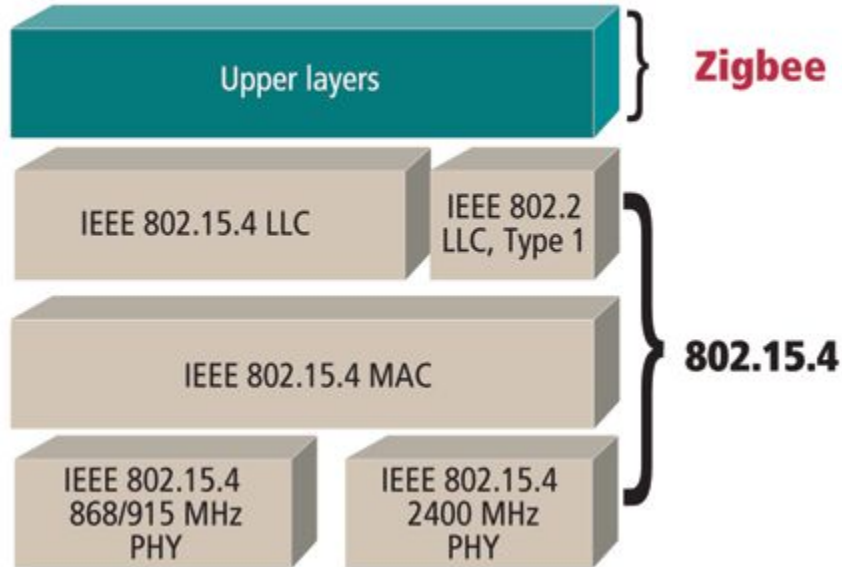
# Comparativa entre estándares





# IEEE 802.15.4

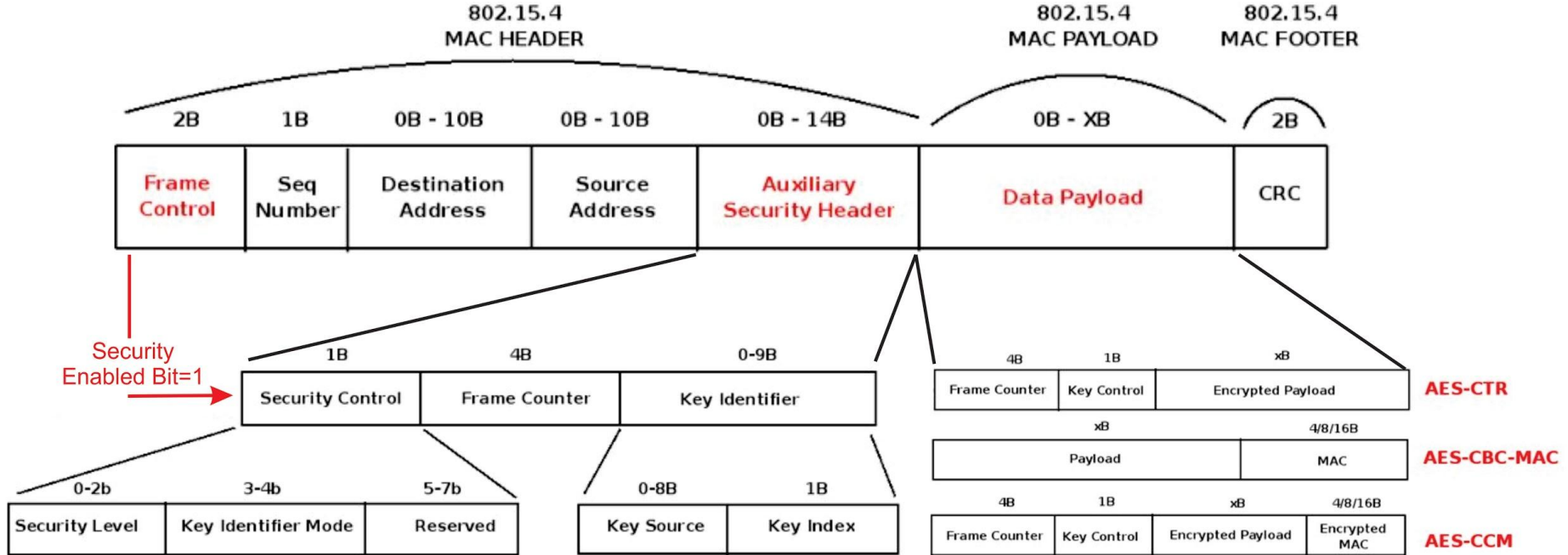
Define el nivel físico y el control de acceso al medio para redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (LR-WPAN)



# IEEE 802.15.4 - Características

- I. Define los dispositivos FFD y RFD. Topología en forma estrella o punto a punto.
- II. Alcances típicos entre 10 y 50 mts. Tasas de datos entre 20 y 250 kbps.
- III. Operación en las bandas no licenciadas ICM 868 - 915 y 2400MHz
- IV. Manejo de direcciones únicas de 64 bits o direcciones cortas de 16 bits.
- V. Frames de tamaño reducido (127 bytes). 4 tipos de frames: beacons, data, ack y mac layer frames.
- VI. Reconocimientos de entrega de trama (acks) y validación de las mismas.
- VII. Acceso al canal mediante el uso de CSMA-CA o ALOHA.
- VIII. Manejo de ranuras de tiempo garantizadas con el uso de "Superframes"
- IX. indicador de calidad de enlace en los paquetes recibidos (LQI, link quality indicator).

# IEEE 802.15.4 - Seguridad



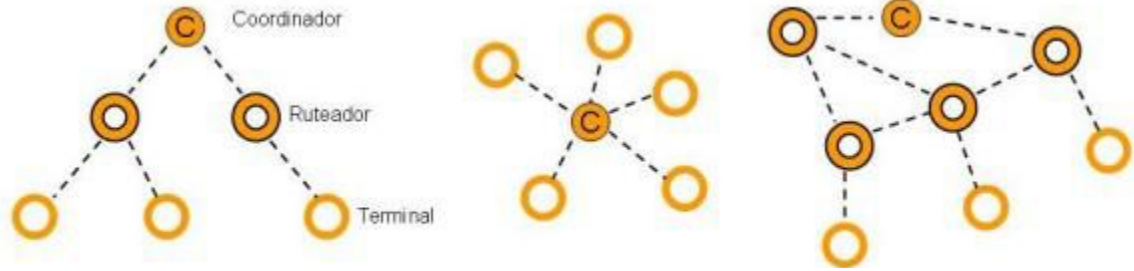
# ZigBee

- Adopta el estándar IEEE 802.15.4 para sus 2 primeras capas, es decir la capa física (PHY) y la subcapa de acceso al medio (MAC) y agrega la capa de red y de aplicación.

## Capa de RED

- Especifica 3 tipos de nodos que pueden estar en una red: coordinador, ruteador y dispositivo final.
- Usa las topologías de IEEE 802.15.4 para transferencia de datos y agrega las topologías de árbol y de malla.
- Existen 3 tipos de comunicación de mensajes: broadcast, multicast y unicast. Uso de AODV como protocolo de ruteo

# ZigBee



## Capa de Aplicación

- Interoperabilidad entre aplicaciones de distintos fabricantes
- Simplificar manejo de la red por parte de las aplicaciones de usuario (Device discovery, rssi, etc.).
- Gestión de perfiles y de clusters de objetos

## Seguridad implementada

- Hereda los mecanismos de 802.15.4
- Se incorpora la figura del “Centro de confianza” o Trust Center. Este nodo será el encargado de gestionar las claves para encriptación de toda la comunicación que se genere en la red: clave maestro, de enlace y de red.

# Otros protocolos

- 6LoWPAN
  - WirelessHART
  - ISA SP100.11a
  - EnOcean
  - Z-Wave
  - LoRa/LoRaWAN
  - SigFox
  - LTE-M y NB-IOT
- Implementa las capas física y de acceso al medio heredadas del 802.15.4
  - Define en su capa de red compatibilidad con el protocolo IPV6, apuntando a simplificar la interfaz entre redes de sensores e Internet.
  - IPv6 garantiza un espacio de direcciones inagotable. SLAAC.
  - Se presenta la complejidad de empaquetar cabeceras IP en 802.15.4. Capa de adaptación para compresión, segmentación y reensamblaje.
  - Seguridad adicional en capa 4 con TLS o DTLS, e IPSEC en capa 3.

# Otros protocolos

- 6LoWPAN
  - WirelessHART
  - ISA SP100.11a
  - EnOcean
  - Z-Wave
  - LoRa/LoRaWAN
  - SigFox
  - LTE-M y NB-IOT
- Es la versión wireless del protocolo industrial HART.
  - Adopta 802.15.4 para la comunicación inalámbrica
  - Agrega topología de malla
  - Implementa el Burst Mode o Modo Ráfaga que optimiza la comunicación inalámbrica.
  - Seguridad robusta: AES128 con clave única por mensaje, doble validación de autenticación, saltos de canal y validación en integridad en todas las capas
  - Capa de aplicación para control de dispositivos compatibles HART

# Otros protocolos

- 6LoWPAN
- WirelessHART
- ISA SP100.11a
- EnOcean
- Z-Wave
- LoRa/LoRaWAN
- SigFox
- LTE-M y NB-IOT

- Uso industrial. Desde 2014 estándar de la IEC.
- Capas física basada en 802.15.4
- Define capa de enlace con soporte de salto de canal, detección de mensajes perdidos y sincronización de reloj
- Capa de red es 6LoWPAN
- Capa de transporte basada en UDP con seguridad mejorada
- No define capa aplicación, pero soporta otros protocolos, entre ellos HART



# Otros protocolos

- 6LoWPAN
- WirelessHART
- ISA SP100.11a
- EnOcean
- Z-Wave
- LoRa/LoRaWAN
- SigFox
- LTE-M y NB-IOT

- ISO/IEC 14543-3-10 (wireless short packet protocol) define capas física, enlace y red.
- EnOcean define capa de aplicación EEP
- Utiliza “Energy Harvesting”, por lo que el emisor puede prescindir de fuente
- Frecuencia de 315MHz o 868,3MHz con buen alcance y pocas colisiones
- “Escuchar antes de hablar” para acceso al medio.
- Principalmente unidireccional

# Otros protocolos

- 6LoWPAN
- WirelessHART
- ISA SP100.11a
- EnOcean
- Z-Wave
- LoRa/LoRaWAN
- SigFox
- LTE-M y NB-IOT

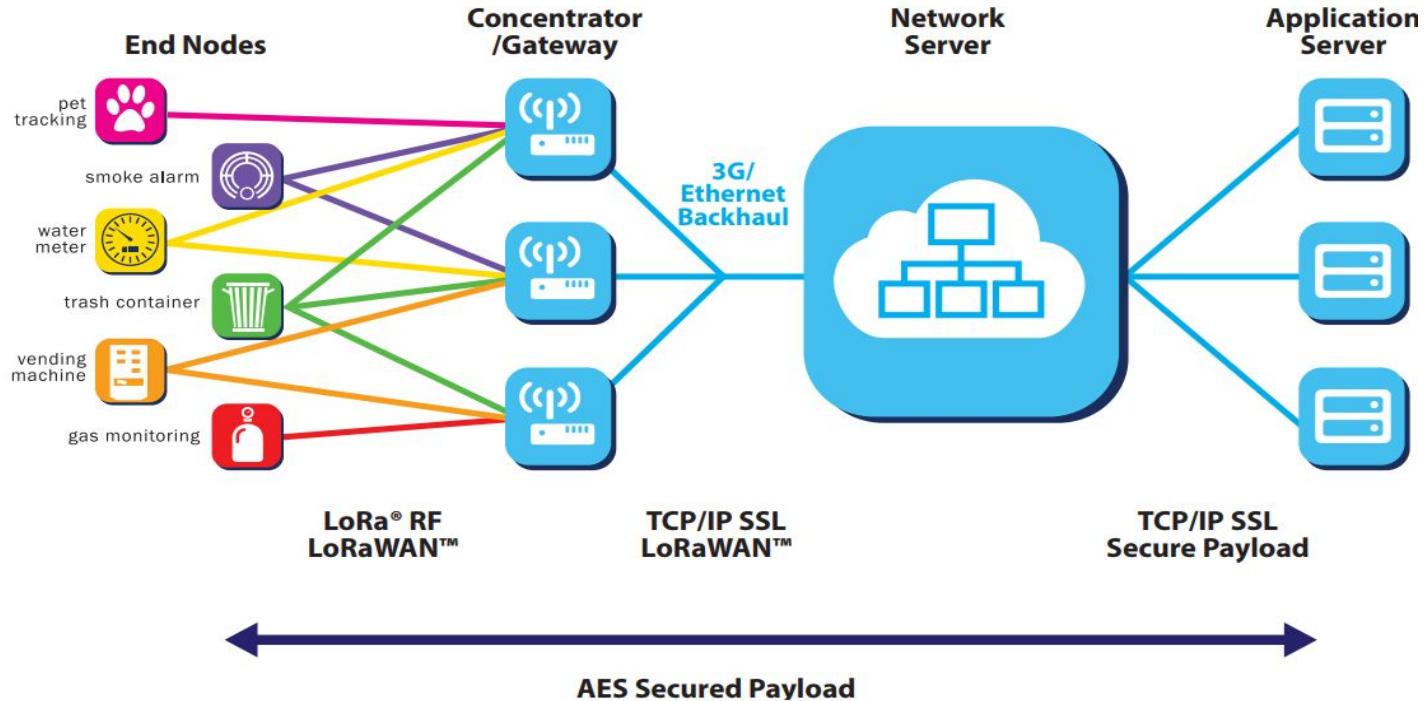
- Pensado para domótica (las redes se identifican por HomeID)
- Basado en G.9959 de la ITU, para capas física y de acceso al medio
- Soporta diferentes frecuencias dependiendo el país.
- Los nodos pueden dormir en intervalos de tiempo predefinidos
- La información de ruteo se encuentra en el nodo Controller.
- Implementa varios mecanismos de seguridad. Desde encriptación hasta uso de códigos QR para la identificación de los dispositivos

# Otros protocolos

- 6LoWPAN
- WirelessHART
- ISA SP100.11a
- EnOcean
- Z-Wave
- LoRa/LoRaWAN
- SigFox
- LTE-M y NB-IOT

- Comunicaciones de largo alcance (se estima entre 2km a 5km en entornos urbanos y hasta 15km en zonas despejadas), manteniendo el bajo consumo de los equipos
- Trabaja en bandas no licenciadas (ICM) como 169MHz, 433MHz, 868MHz y 915MHz.
- LoRaWAN brinda servicios de red confirmación de mensajes, encriptación, multicasting y activación/registración en la red "over the air".
- Topología estrella con End Nodes y Gateways
- Esquema de velocidad de datos adaptativa (ADR).
- 3 clases de dispositivos finales: Clase A, B y C.
- Seguridad basada en Dirección del nodo, clave de red y clave de aplicación

# Otros protocolos - LoRa



# Otros protocolos

- 6LoWPAN
- WirelessHART
- ISA SP100.11a
- EnOcean
- Z-Wave
- LoRa/LoRaWAN
- SigFox
- LTE-M y NB-IOT

- Tecnología propietaria para la comunicación por radiofrecuencia en las bandas no licenciadas de 868MHz y 915MHz.
- Topología estrella single hop similar a la de una red celular, con **estaciones bases** que reciben los paquetes de datos transmitidos desde los **nodos finales**.
- La información es subida a la nube de la empresa SigFox, quién la distribuye a los servidores de aplicación de sus clientes.
- Hasta 140 paquetes por día con un payload máximo de 12 bytes y un downlink de 4 mensajes diarios con un payload de 8 bytes.
- Acuerdos con distintos proveedores de telecomunicaciones, para combinar infraestructuras y plataformas de gestión ya desplegadas.
- Seguridad: clave secreta para encriptación de los paquetes, frecuencias de envío y tiempos de "escucha" aleatorios.

# Otros protocolos - SigFox

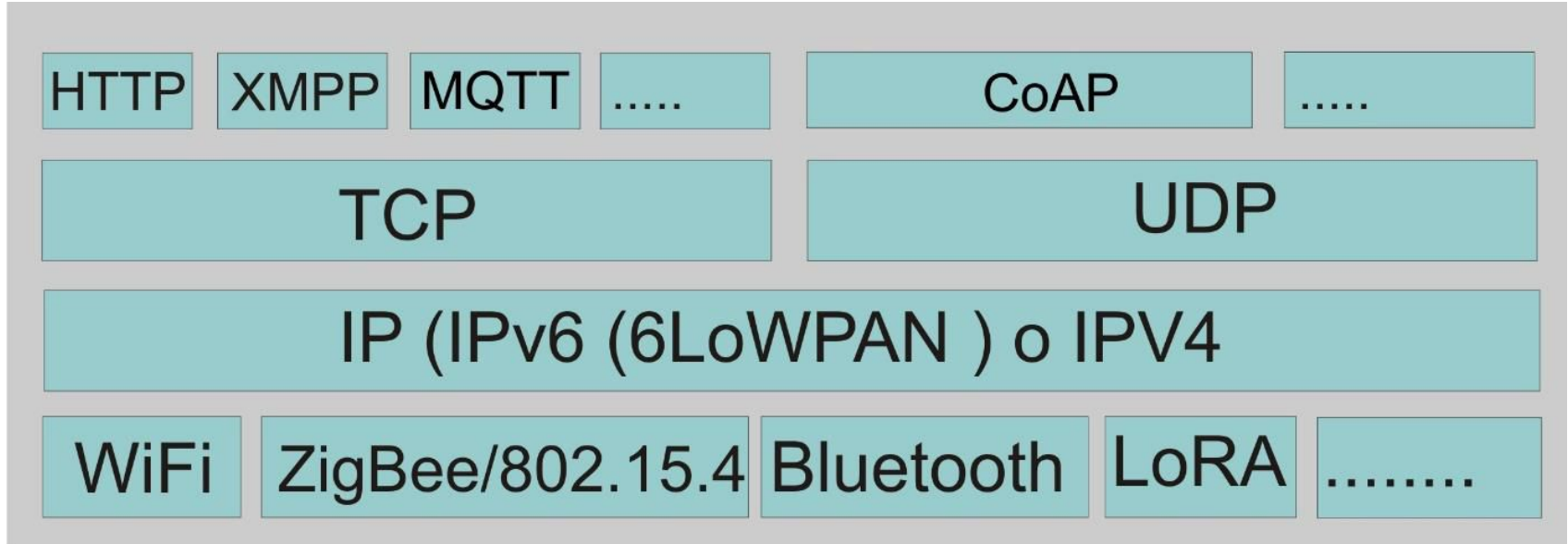


# Otros protocolos

- 6LoWPAN
- WirelessHART
- ISA SP100.11a
- EnOcean
- Z-Wave
- LoRa/LoRaWAN
- SigFox
- LTE-M y NB-IOT

- Lanzados en el 2017. Es la opción presentada por la 3GPP, como alternativa a las redes de datos actuales (GPRS, el 3G y 4G-LTE).
- Redes de área amplia y baja potencia.
- Tasa de datos entre 100 kbps (NB-IOT) y 1000 kbps (LTE-M).
- Permite a los operadores usar la infraestructura celular ya desplegada.
- Soporte de seguridad y privacidad como en las redes móviles (autenticación de usuarios y equipos, confidencialidad e integridad de datos)

# Protocolos de aplicación

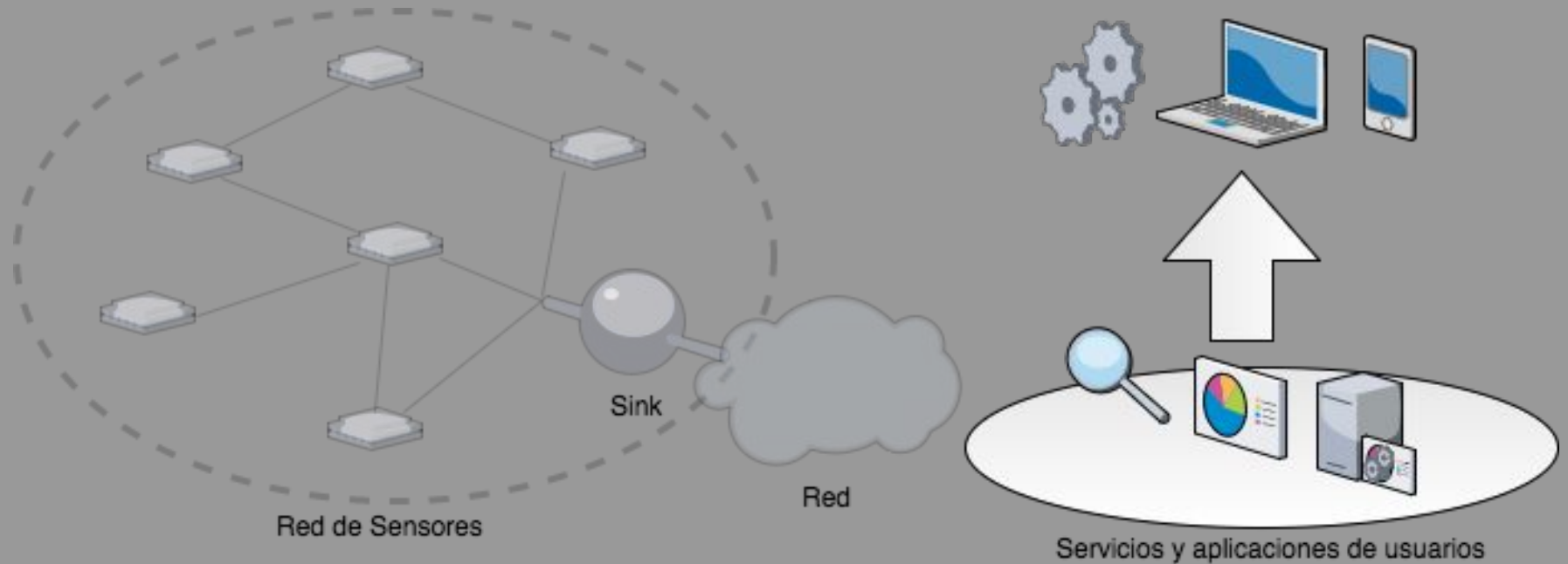




# Protocolos de aplicación - MQTT

- Desarrollado por IBM en el año 1999. Desde el 2014 en su versión 3.1.1 se ha convertido en un estándar del comité OASIS.
- MQTT utiliza un modelo de "**Publicación/Suscripción**" requiriendo el uso de un **broker**.
- El broker encola suscripciones a tópicos de clientes y forwardea la información recibida de los publicadores.
- Transparencia de conexión entre nodos ("Space decoupling"):
- **Asincrónico**: cada nodo puede publicar o consumir información independientemente del estado de otros nodos.
- **Calidad de servicio (QoS)**: soporta distintos niveles de "calidad" (nivel 0,1 y 2)
- **MQTT-SN**: más liviano, no requiere del stack tcp/ip.

# Servicios y aplicaciones



# IOT

## ***Por qué hablamos de IoT?***

*Porque parte del auge que están teniendo las WSN, se da porque funcionarán como una infraestructura de soporte ineludible al campo IOT*

## ***Definición de la ITU***

*“Infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la **prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos** (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación presentes y futuras.*

# IOT-Ciudades Inteligentes

*Una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad que aprovecha la infraestructura TIC para:*

- Mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos incluyendo atención médica, bienestar, seguridad física y educación.
- Establecer un enfoque ambientalmente responsable y sostenible
- Simplificar los servicios basados en infraestructura física, tales como transporte (movilidad), agua, servicios públicos (energía), telecomunicaciones y sectores manufactureros.
- Reforzar la prevención y la manipulación de los desastres naturales o provocados por el hombre (resiliencia)
- Proporcionar mecanismos eficaces y bien equilibrados de regulación y gobernanza

# Algunos casos existentes

- **“Smart Energy”** en la provincia de Mendoza-Argentina y casos de estudio de monitoreo en consumo en hogares.
- **“Smart Water”** investigaciones de la Universidad de Birmingham – Reino Unido y un caso de desarrollo para medición de canales de riego en Bio-Bio-Chile.
- **“Smart Buildings”**, en el monitoreo del estado de salud de estructuras en el California-USA.
- **“Smart Transportation”**, en Santander-España y Beijing-China.
- **“Smart physical safety and security”**, control de incendios en Galicia y Asturias-España control de radiación en Fukushima-Japón, y proyecto para asistencia a cuerpo de bomberos.
- **“Smart health care”**, diferentes estudios basados en redes de área personal (Wireless area body networks).

# Entes de estandarización trabajando en la temática

- Unificación de terminologías
- Uso de Plataformas multipropósito
- Indicadores a utilizar
- Performance de sensores y redes de comunicación
- Seguridad de la información
- Fiabilidad y accesibilidad de los datos generados (OpenData).

- ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
- ISO (Organización Internacional de Normalización)
- IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)
- CEN (Comité Europeo de Normalización)
- IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)
- NIST / ANSI (Estados Unidos)
- AENOR (España)
- BSI (Reino Unido)
- DKE/DIN (Alemania)

# Nuestra aplicación de usuario

- Problemática elegida: Tomamos como referencia la “Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre”.
- Arquitectura desarrollada
  - Radios XBee
  - MQTT
  - Thinsgboard
  - Cassandra

# Conclusiones

- Hay muchos factores a tener en cuenta a la hora de diseñar una red de sensores:
  - Que problemática se desea atacar y/o qué servicio se quiere brindar.
  - De donde se puede obtener la información necesaria.
  - Que tipos de sensores se necesitan para obtener esa información.
  - Determinar la densidad de nodos mínima, condiciones ambientales y contexto de funcionamiento sobre el cual se va a trabajar.
  - Que plataforma de hardware es la más adecuada para montar esos sensores.
  - Necesidad de actuadores.
  - Como se comunica la información sensada hacia un backend. Determinando protocolo y configuración del mismo.
  - Dinámica de los datos: volumen, persistencia, criticidad, disponibilidad y necesidad de agregación en distintos niveles.
  - Como se transforman los datos obtenidos en información de valor.



# Conclusiones

- Si bien las WSN fueron pensadas para ámbitos acotados y específicos, comienzan a ser un componente ineludible en el despliegue de soluciones IoT y servicios que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos.
- Se cumplió con el objetivo de realizar un prototipo funcional de extremo a extremo utilizando las tecnologías analizadas.
- Cada dominio de aplicación tendrá un escenario particular y no existe un stack de tecnologías que sea totalmente abarcativo.
- La temática de Ciudades Inteligentes excede el alcance de las TICs e implica perfiles multidisciplinarios.
- La distribución de la información para una gestión eficiente de la ciudad solo será posible si se piensa en una estructura integradora.
- Es de vital importancia el uso correcto de mecanismos de seguridad, teniendo en cuenta la integración que estas tecnologías tendrán con la vida de las personas.

# Trabajos futuros

- Relevamiento y comparativa entre sistemas operativos disponibles para conocer cuáles se adaptan mejor a las diferentes soluciones y hardware.
- Estudio de soluciones para el entorno local: Sistemas de distribución de agua, control de tráfico vehicular y asignación de estacionamientos, cuestiones de seguridad en la vía pública, optimización en la recolección de residuos, entre otros.
- Profundizar sobre OpenData
- Modelos de simulación y predicción basados en BigData
- Buenas prácticas de desarrollo para soluciones IoT
- Investigación sobre mecanismos de seguridad en dispositivos ultra livianos