

# Comunicaciones para IoT

Ramón Alcarria  
Garrido

Miguel Ángel  
Manso Callejo

Tomás Robles  
Valladares

Borja Bordel  
Sánchez



**POLITÉCNICA**

**Introducción a la Internet de las Cosas**  
**Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos (UPM)**

# PROGRAMA

- Stacks para las comunicaciones inalámbricas
- Tecnologías de acceso y core
- Protocolos de aplicación



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Por su naturaleza no-planificada, las infraestructuras de IoT suelen estar basadas en comunicaciones inalámbricas
- Existen soluciones inalámbricas solo a nivel físico y/o de enlace
  - Por ejemplo, el estándar IEEE 802.15.4

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Sin embargo, resultan mucho más prácticas las tecnologías que implican la definición de toda una torre de protocolos
- Éstas permiten controlar desde los radiocanales hasta el envío de datos de aplicación, incluyendo los enlaces y el nivel de red

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Aunque hay muchas alternativas en la actualidad, cuatro son las tecnologías básicas en la IoT
  - WiFi
  - Bluetooth
  - ZigBee
  - RFID

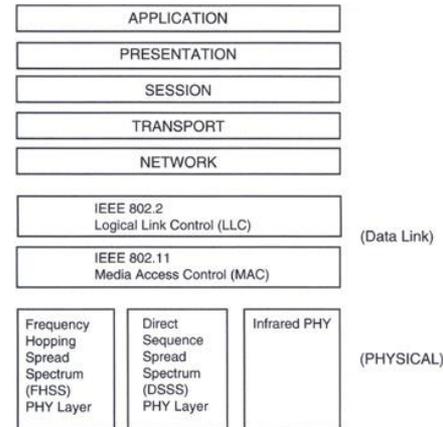
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- La tecnología WiFi se regula mediante la familia de estándares IEEE 802.11
- Es una tecnología WLAN empleada en ambientes de hogar y empresariales ya que sus diferentes estándares abarcan una amplia gama de velocidades y alcance



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- La normativa base define la capa MAC y dos capa físicas



- El término Wi-Fi es una marca comercial empleada por Wi-Fi Alliance,
  - Se centra principalmente en la certificación de interoperabilidad, no en el desarrollo de estándares

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Las redes WiFi suelen estar formadas por un conjunto de dispositivos. Seis diferentes:
  - Puntos de acceso inalámbrico
  - Estaciones
  - Servicio de integración
  - Sistema de distribución
  - Sistema de distribución inalámbrico
  - Identificador del conjunto de servicios

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Los puntos de acceso inalámbricos inicialmente se concibieron como dispositivo semi-duplex, aunque han ido ampliando sus funciones.
- Actualmente la mayoría de entornos emplea los ISR (Integrated Services Routers), que implementan funciones de router, switch y punto de acceso en el mismo dispositivo

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Las estaciones son dispositivos que cuentan con interfaces de red inalámbrica compatibles con el estándar de comunicaciones del punto de acceso
- Un servicio de integración posibilita el intercambio de MTUs entre el sistema de distribución y una red no adscrita al IEEE 802.11

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- El resto de componentes no se suelen emplear salvo el Identificador del Conjunto de Servicios (SSID)
  - Identificador (nombre) lógico de la WLAN



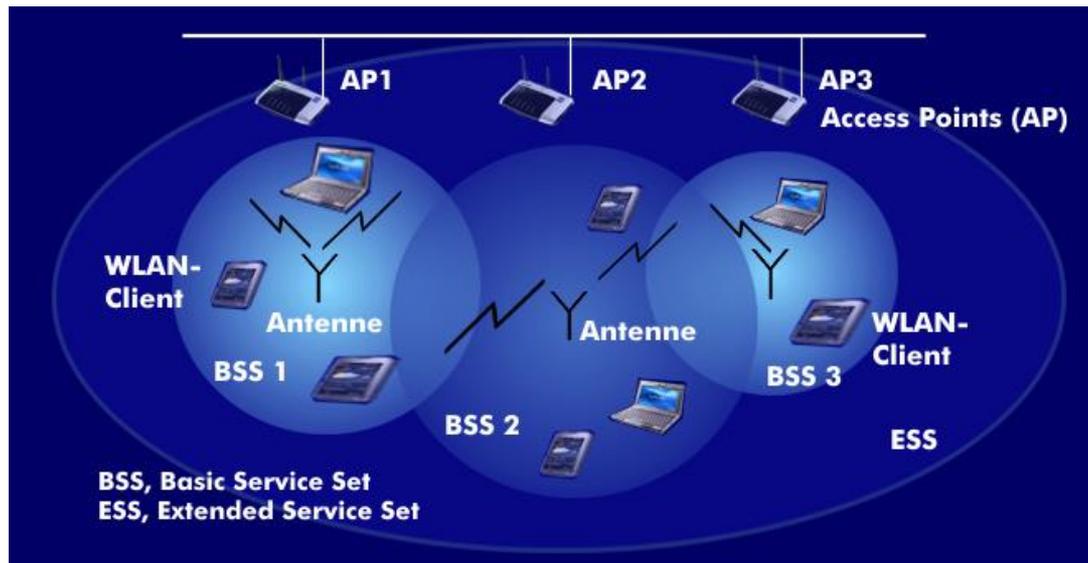
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- El stack WiFi define varias topologías de red
  - Basic Service Set
  - Independent Basic Service Set
  - Extended Service Set
  - Mesh Basic Service Set



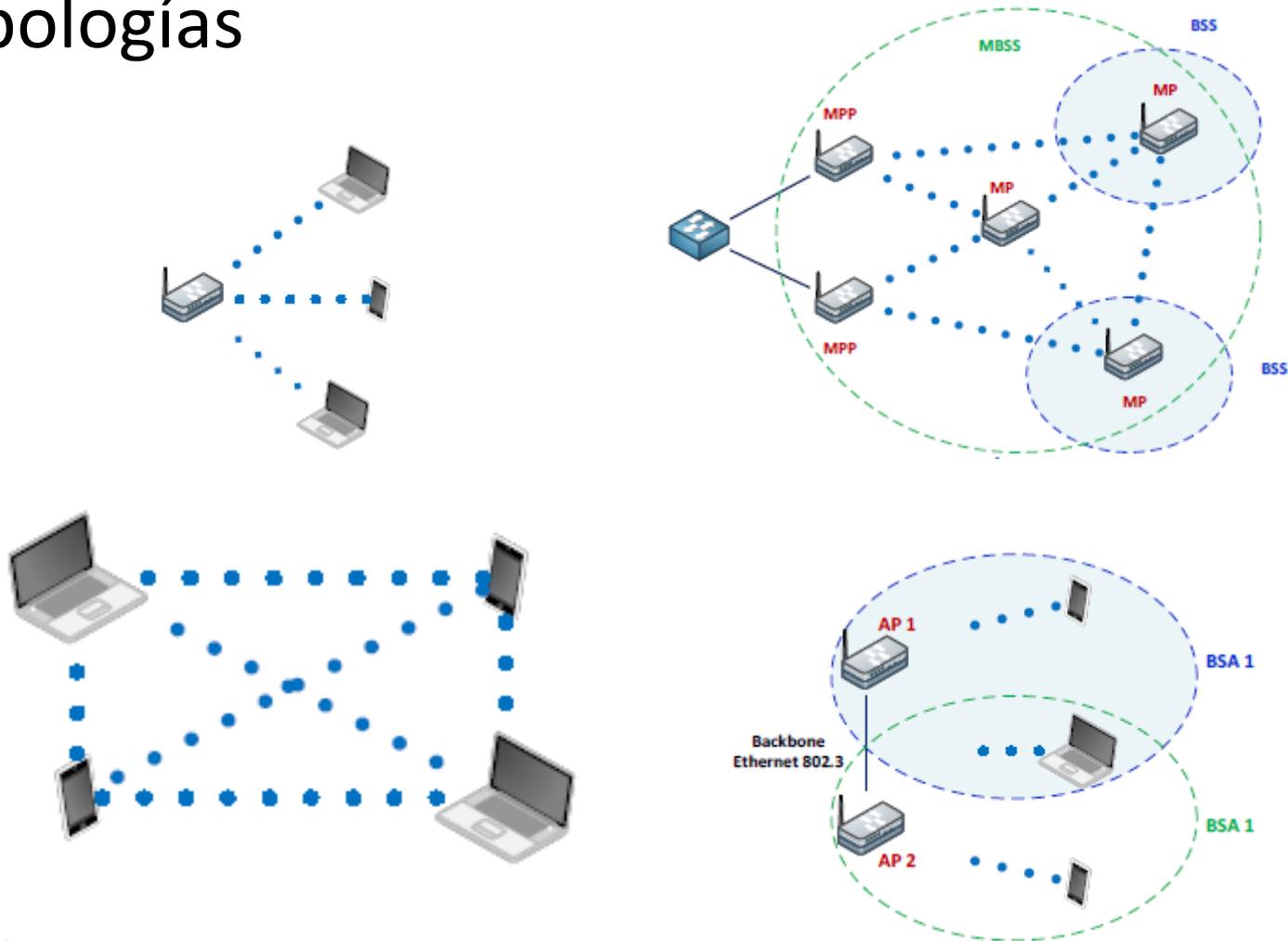
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Cada una presenta unas ventajas e inconvenientes
  - En despliegues reales las redes WiFi suelen ser combinaciones de las anteriores topologías



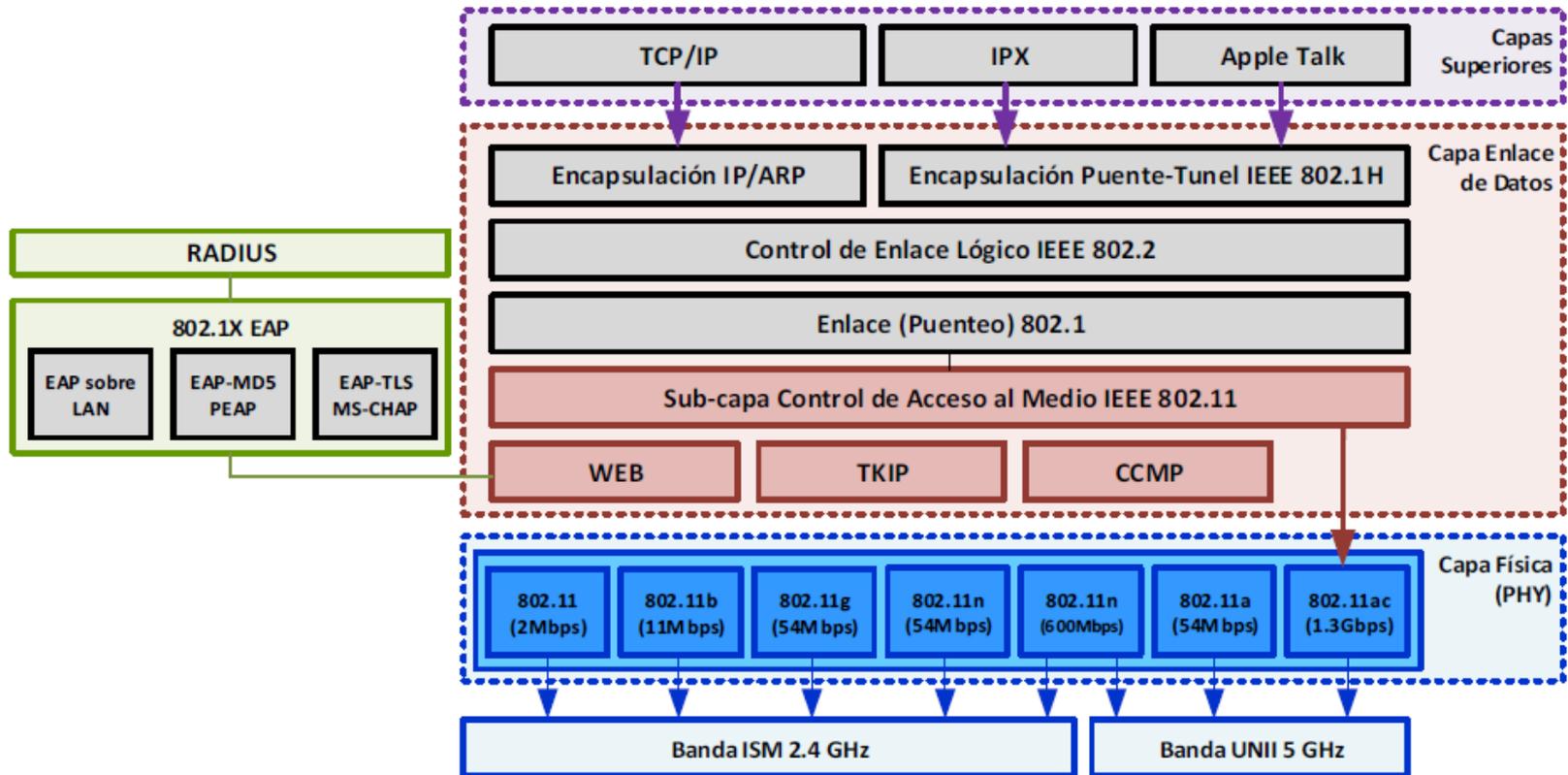
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Topologías



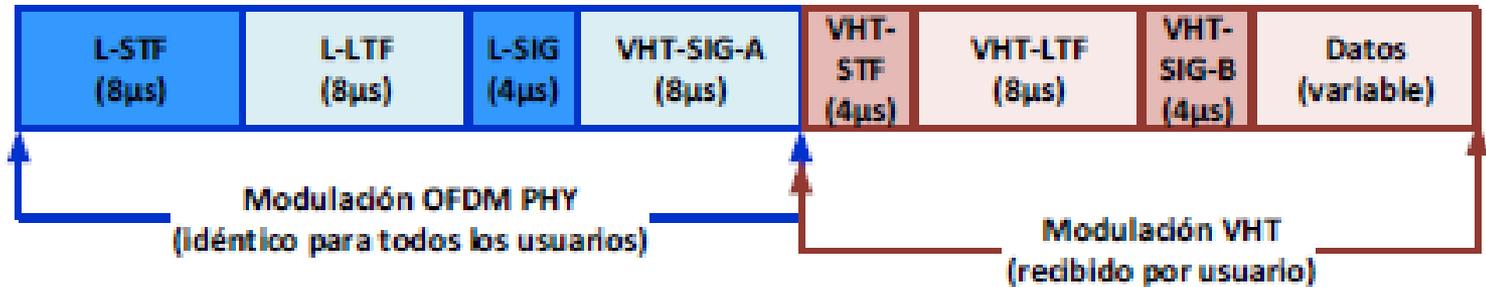
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Stack detallado



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Formatos PDU



Ancho de Banda (2b)	Reservado (1b)	STBC (1b)	ID de Grupo (6b)	Número de Flujos espacio-tiempo (3b)	AID Parcial (9b)	TXPS forbidden (1b)	Reservado (1b)
---------------------	----------------	-----------	------------------	--------------------------------------	------------------	---------------------	----------------

GI Corto (1b)	Desambiguación Corta (1b)	Codificación (1b)	Símbolo Extra LDPC (1b)	VHT-MCS (4b)	Beamform (1b)	Reservado (1b)	CRC (8b)	Colea (6b)
---------------	---------------------------	-------------------	-------------------------	--------------	---------------	----------------	----------	------------

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Formatos PDU

Control de Trama (16b)	Duración / ID (16b)	Dirección 1 (receptor) (48b)	Dirección 2 (emisor) (48b)	Dirección 3 (filtrado) (48b)	Control de Secuencia (16b)	Dirección 4 (opcional) (48b)	Control QoS (16b)	Control HT (32b)	Cuerpo de la Trama (0-91408b)	FCS (32b)
------------------------	---------------------	------------------------------	----------------------------	------------------------------	----------------------------	------------------------------	-------------------	------------------	-------------------------------	-----------

Versión de Protocolo (2b)	Tipo (2b)	Subtipo (4b)	A DS (1b)	Desde DS (1b)	Más Fragmentos (1b)	Reprocesar (1b)	Gestión de Potencia (1b)	Más Datos (1b)	WEP (1b)	Orden (1b)
---------------------------	-----------	--------------	-----------	---------------	---------------------	-----------------	--------------------------	----------------	----------	------------

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Bluetooth es un stack estándar soportado y definido por un grupo de trabajo formado por un conjunto de empresas interesadas
  - <https://www.bluetooth.com/>



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Se trata de un estándar de comunicaciones que define el nivel físico y de enlace.
- Las redes Bluetooth establecen un “*personal operating space*” omnidireccional dentro del cual se pueden mover dinámicamente los dispositivos.

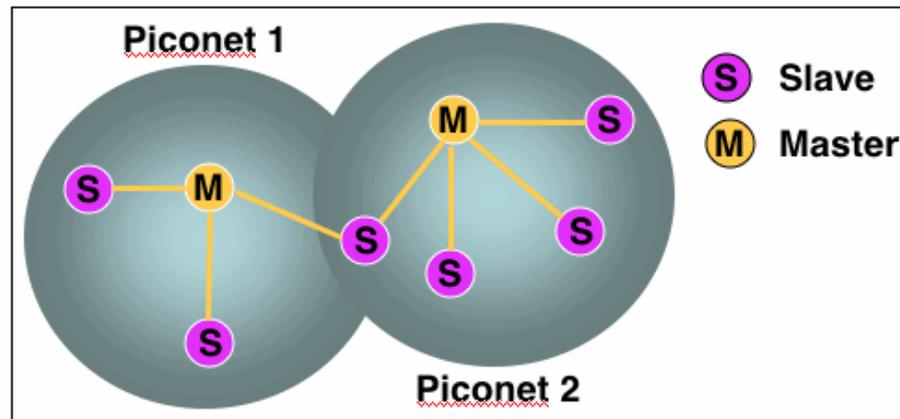
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- El estándar ha ido evolucionando entorno a varias versiones: v 1.0 (1999), v 1.0B (1999), v 1.1 (primer estándar funcional - 2002), v 1.2 (2003), v 2.0 (2004), v 2.1 (2007), v 3.0 (2009), v 4.0 (2010), v 4.1 (2013), v 4.2 (2014) y v 5.0 (2017)



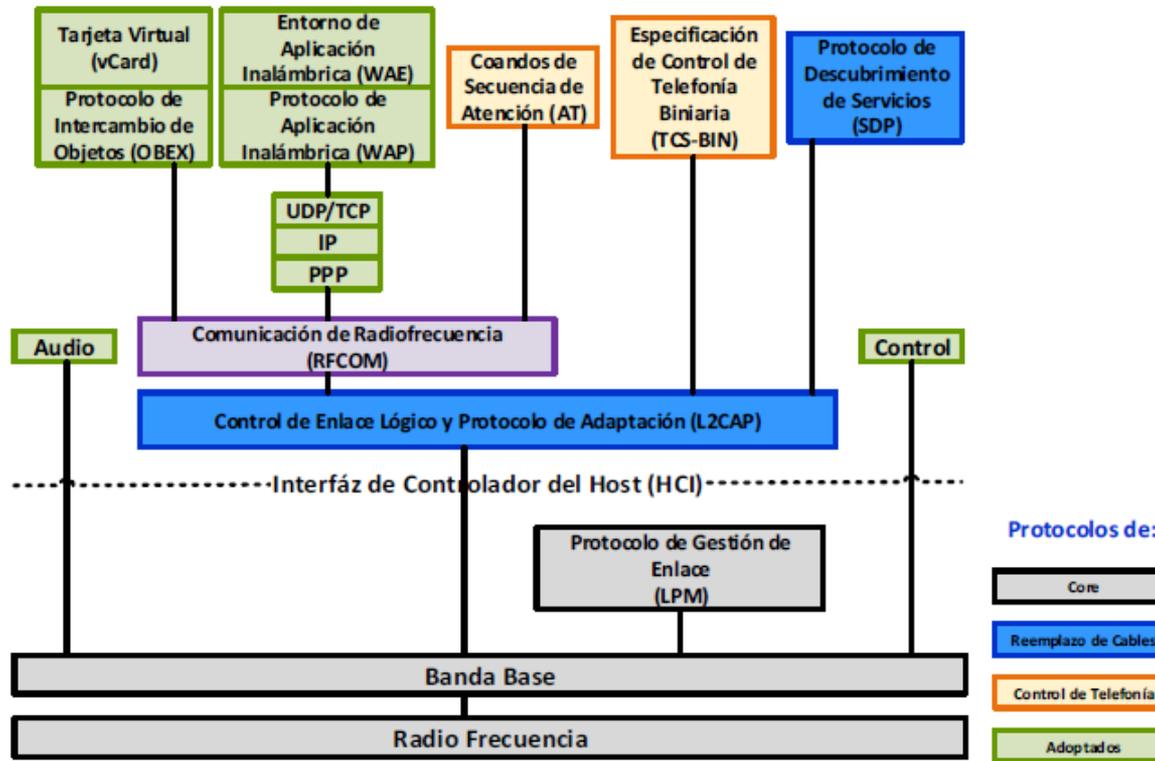
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Topologías de red
  - Piconet: Esta infraestructura soporta hasta ocho dispositivos activos y doscientos cincuenta y cinco esclavos
  - Scatternet: Red Bluetooth que tiene una o más piconets



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Stack de protocolos



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- ZigBee es un nombre para un stack comercial basado en el estándar 802.15.4
- Dicho estándar establece las especificaciones para la capa física y la sub-capa de control (nivel de enlace ) para Low-Rate Wireless Personal Area Network
  - Y dispositivos de alta autonomía energética

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- ZigBee se ha diseñado para operar en bandas de radio frecuencia sin licitación previa (uso libre)
- No obstante, se han establecido tres bandas de frecuencia para su operación
  - Las bandas de frecuencia de 868 y 915 MHz se caracterizan por tener menor interferencia respecto a la banda de los 2,4 GHz

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- En ambientes sin interferencia ZigBee puede presentar alcances de hasta 200 metros
- Sin embargo, en ambientes con interferencia típicamente se puede alcanzar hasta los 30 metros



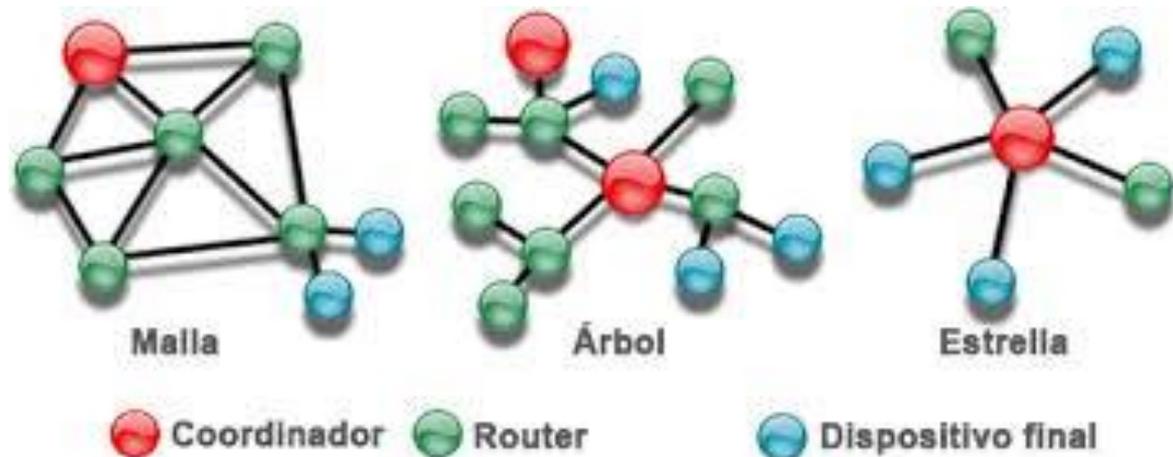
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- El bajo consumo de potencia es uno de los ejes de ZigBee
  - Se define la posibilidad de que los nodos puedan hibernar o apagarse para lograr este propósito



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- En este caso solo cuatro topologías son admitidas
  - Estrella
  - Punto a punto
  - Malla
  - Árbol



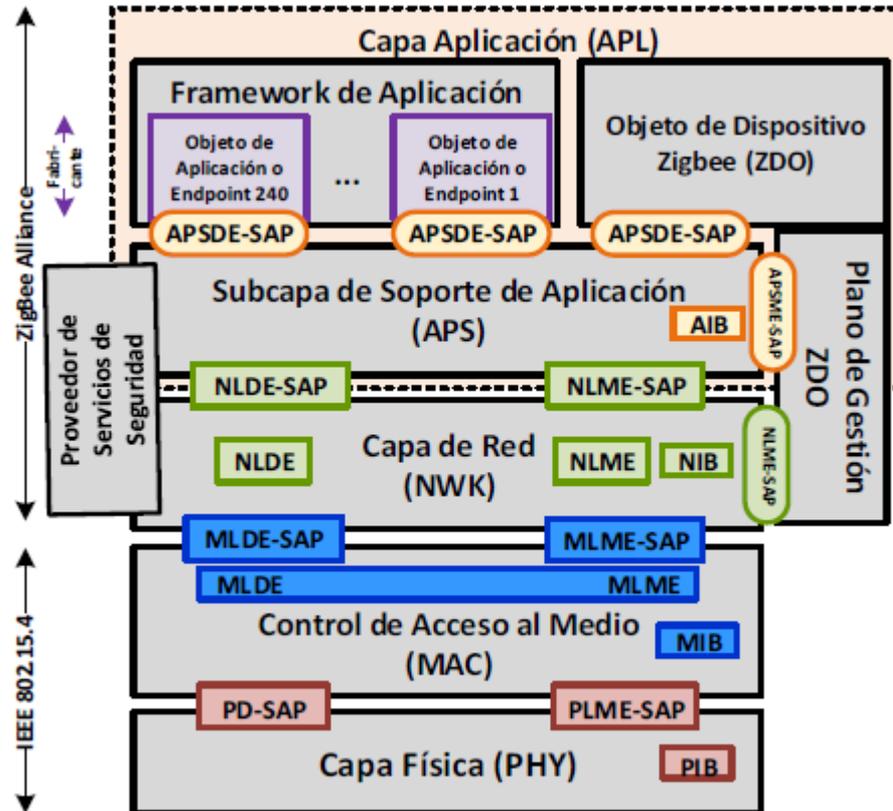
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Configuraciones a nivel físico

Banda de Frecuencias (MHz)	Rango de Frecuencia (MHz)	Forma de Modulación	Velocidad de Datos (KBps)
868/915	868-868.6	BPSK	20
	902-928		40
868/915 (opcional)	868-868.6	ASK	250
	902-928		250
868/915 (opcional)	868-868.6	O-QPSK	100
	902-928		250
2450	2400-2483.5	OQPSK	250

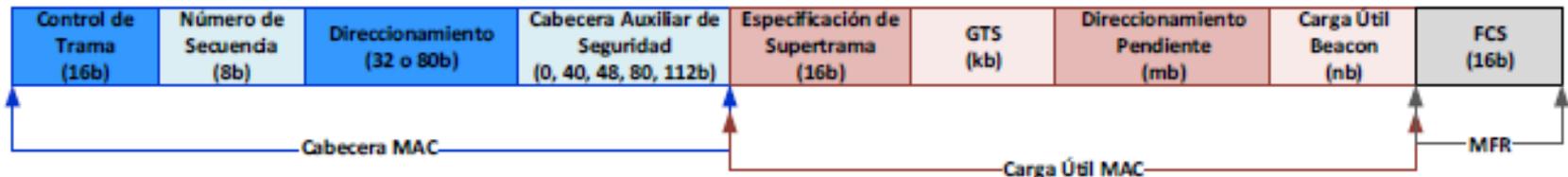
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Stack protocolos



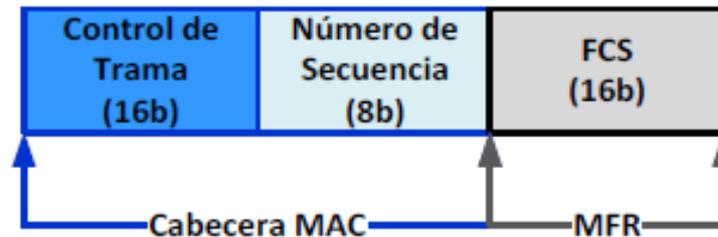
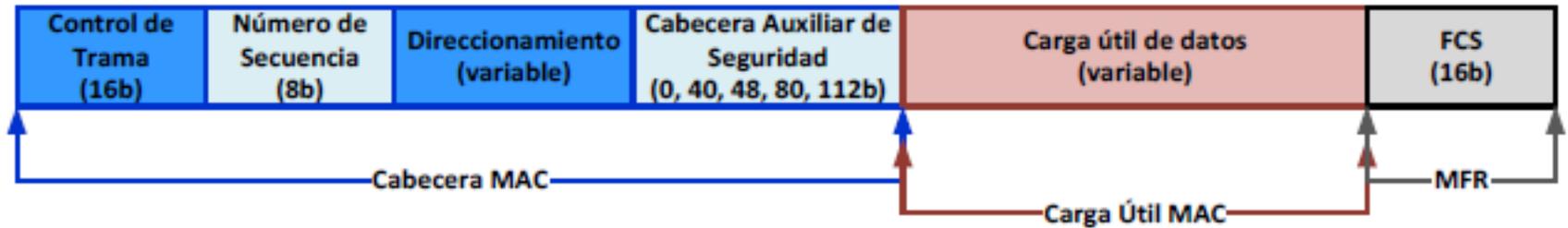
# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Formato PDU



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Formato PDU

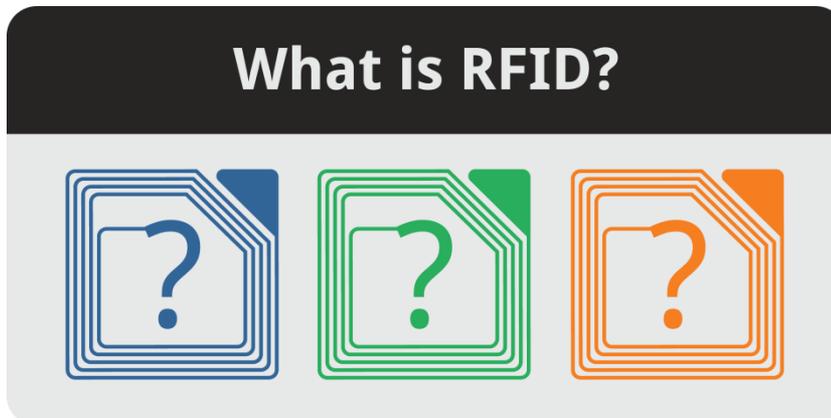


# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Brevemente RFID se refiere a una serie de tecnologías de identificación que usan mecanismos de comunicación inalámbrica para dar seguimiento a objetos físicos mediante la asignación de una identidad electrónica única
- Su invención se realizó hace más de 50 años y ha estado patrocinada por diversas entidades estatales y transnacionales

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

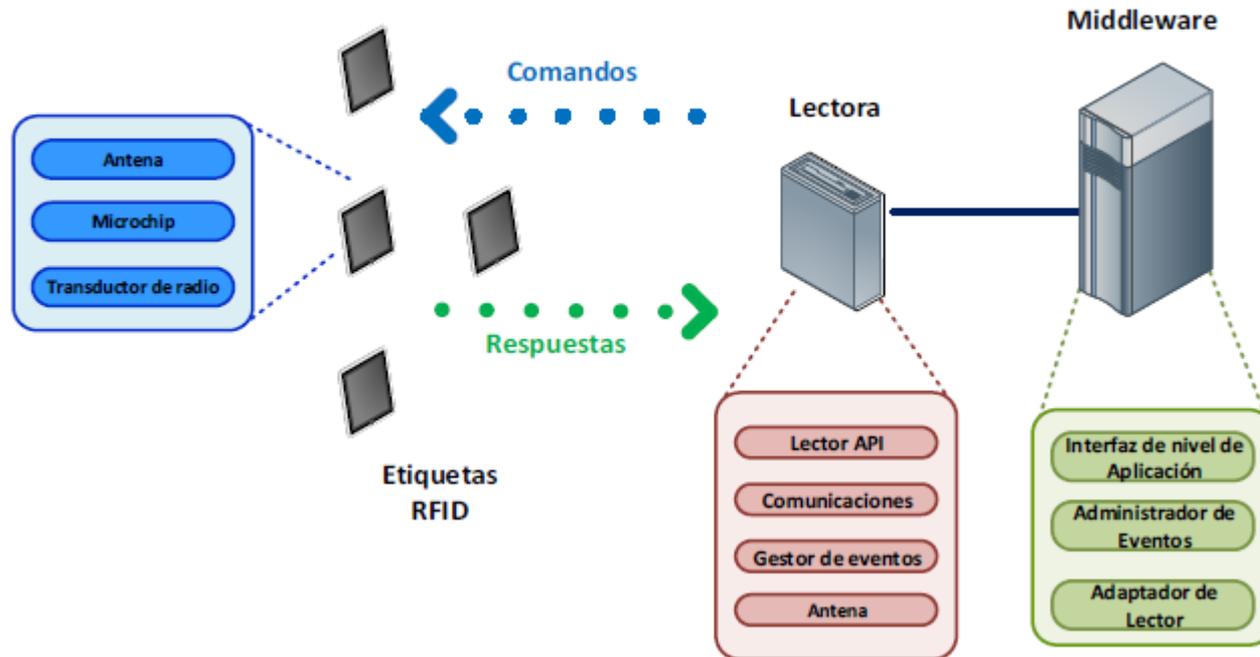
- La normativa que rige a RFID es la implantada por EPCglobal e ISO
- En la actualidad hay soluciones totalmente propietarias, interoperables, híbridas...





# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Esquema básico de funcionamiento

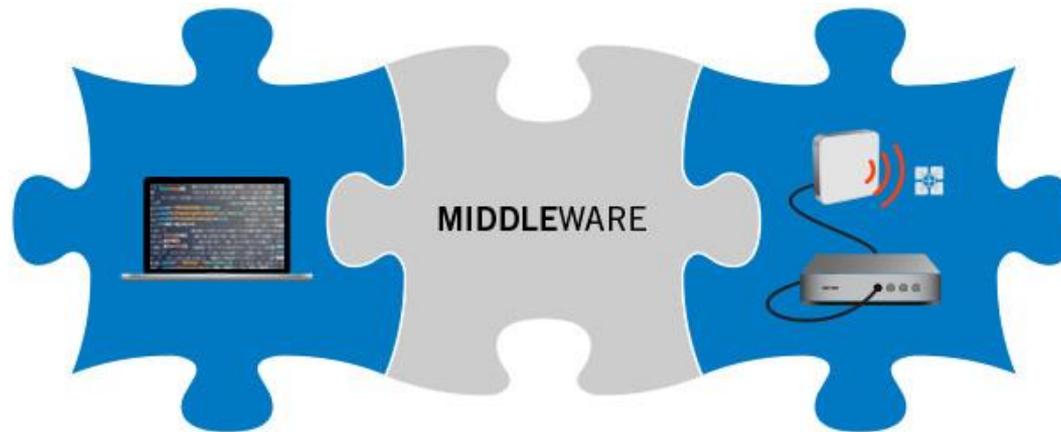


# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Etiqueta: dispositivo colocado en el elemento que se desea rastrear, contienen información que se envía al lector mediante radio frecuencia
- Lector: dispositivo de borde de la red, que reconoce etiquetas y extrae la información que contienen, para enviarla al middleware

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Middleware RFID: software con el que se comunica el lector para informar a aplicaciones de la presencia de dispositivos etiquetados.



# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Tabla comparativa de tecnologías

Nombre	Rango de Frecuencias	Rango de Longitud de Onda	Frecuencias ISM [MHz]	Rango de Lectura para Etiquetas Pasivas [m]
Baja Frecuencia (LF)	30 - 300 KHz	1 - 10 Km	0.125 - 0.135	< 0,5
Alta Frecuencia (HF)	3 - 30 MHz	10 -100 m	6.78 8.11 13.56 27.12	< 3
Ultra-alta Frecuencia (UHF)	300 MHz -3 GHz	10 cm -1 m	433 869 915	< 9
Microondas	1 - 300 GHz	1 mm - 30 cm	2440 5800	> 10

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

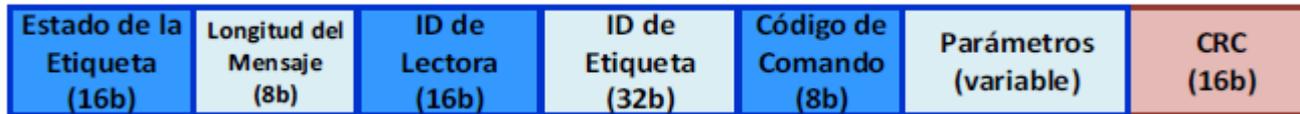
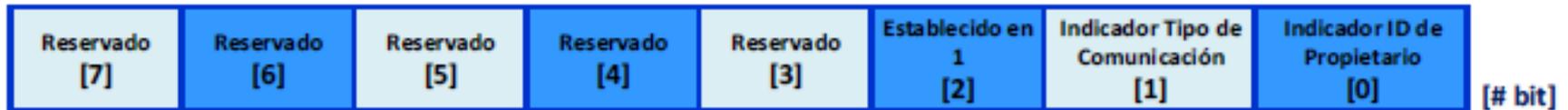
- Se revisará la norma ISO/IEC 18000-7
- Estándar ratificado y publicado en 2004 para la tecnología RFID, implementa una regulación de parámetros para la interfaz aire de dispositivos que funcionan como etiquetas activas en la banda de los 433 MHz.

# STACKS PARA LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

- Formato de PDU

MSB

LSB



# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- En ocasiones, si se desea emplear algún protocolo propietario los sistemas de IoT se sustentan en tecnologías de acceso y core.

Básicamente:

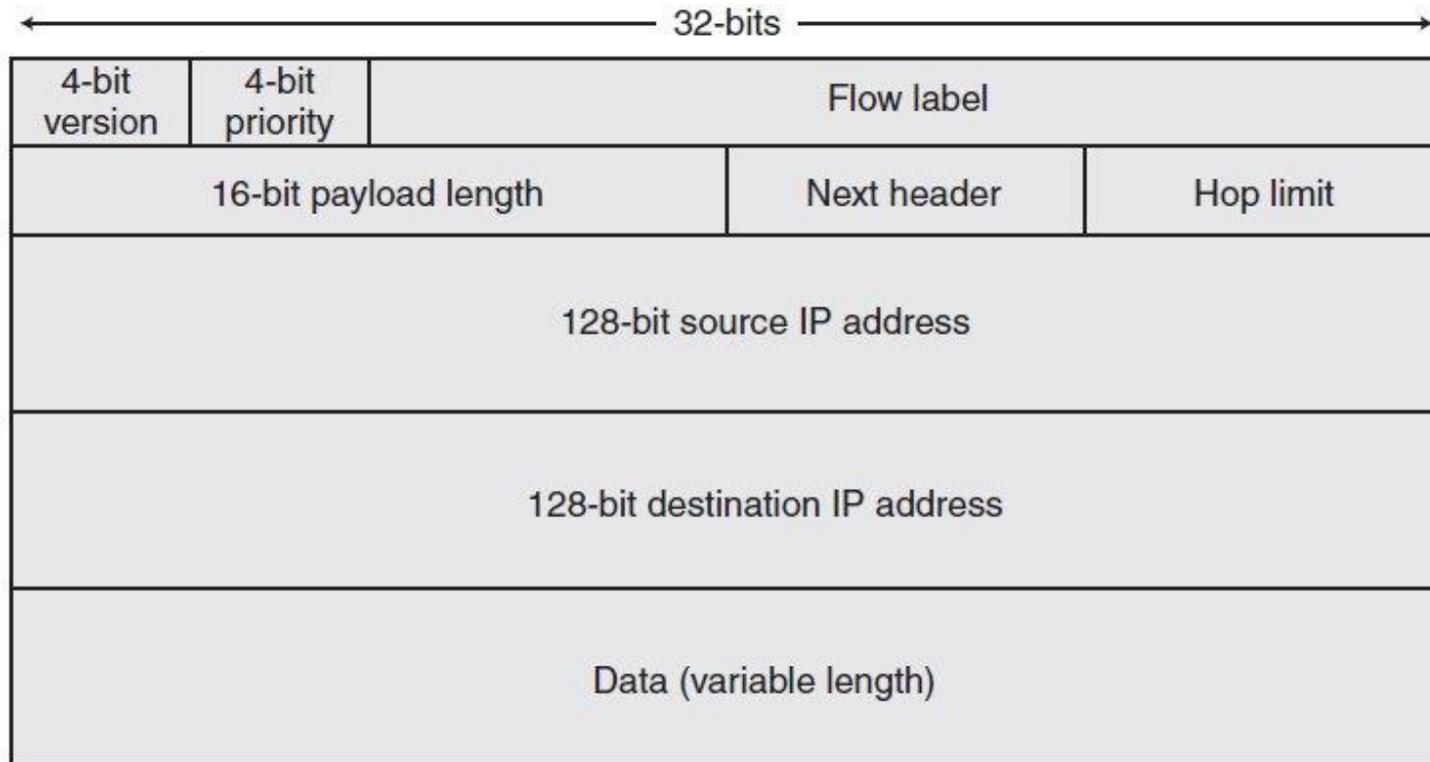
- IPv6
- LoRa
- Sigfox

# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- La nueva versión del protocolo IP se define en el RFC 2460
- El nuevo estándar mejorará el servicio globalmente; por ejemplo, proporcionará a futuras celdas telefónicas y dispositivos móviles sus direcciones propias y permanentes.

# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- Estructura de un datagrama IPv6

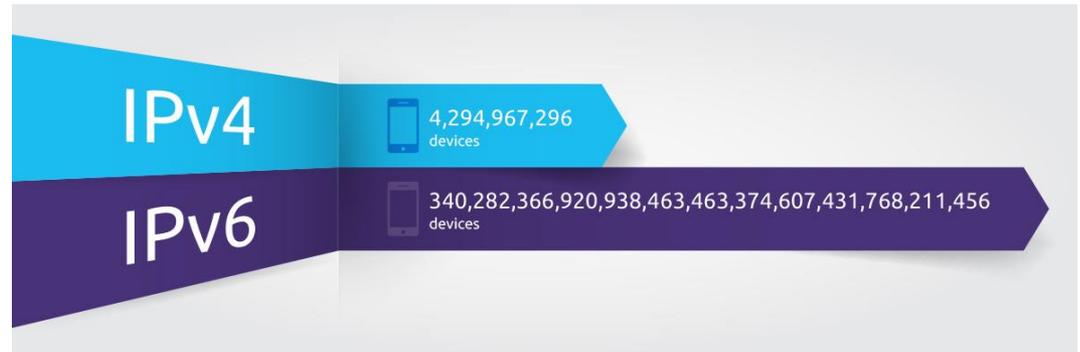


# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- Las características, mejoras y diferencias de IPv6 con respecto a IPv4 son, básicamente
  - Capacidad extendida de direccionamiento
  - Autoconfiguración de direcciones libres de estado
  - Multicast
  - Seguridad de Nivel de Red obligatoria
  - Procesamiento simplificado en los routers
  - Movilidad

# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- Soporte mejorado para las extensiones y opciones
- Jumbogramas



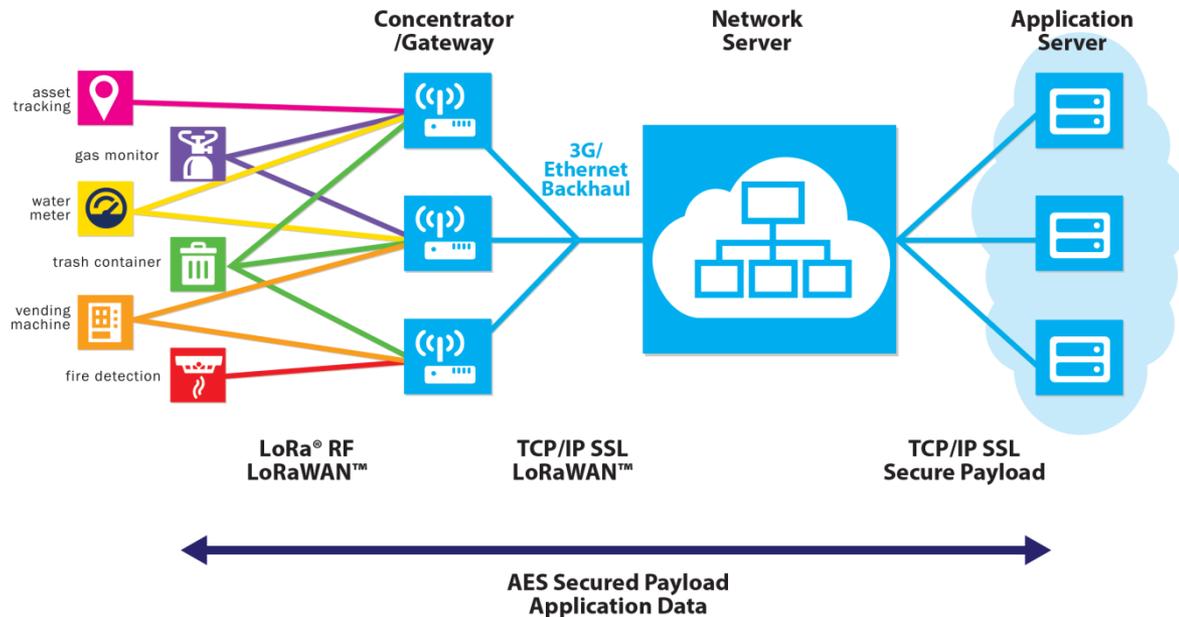
# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- LoRa es una tecnología de Low Power Wide Area Network (LPWAN)
  - [https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_20fe760334f84a9788c5b11820281bd0.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_20fe760334f84a9788c5b11820281bd0.pdf)
- Se centra en dispositivos inalámbricos de batería en escenarios de IoT



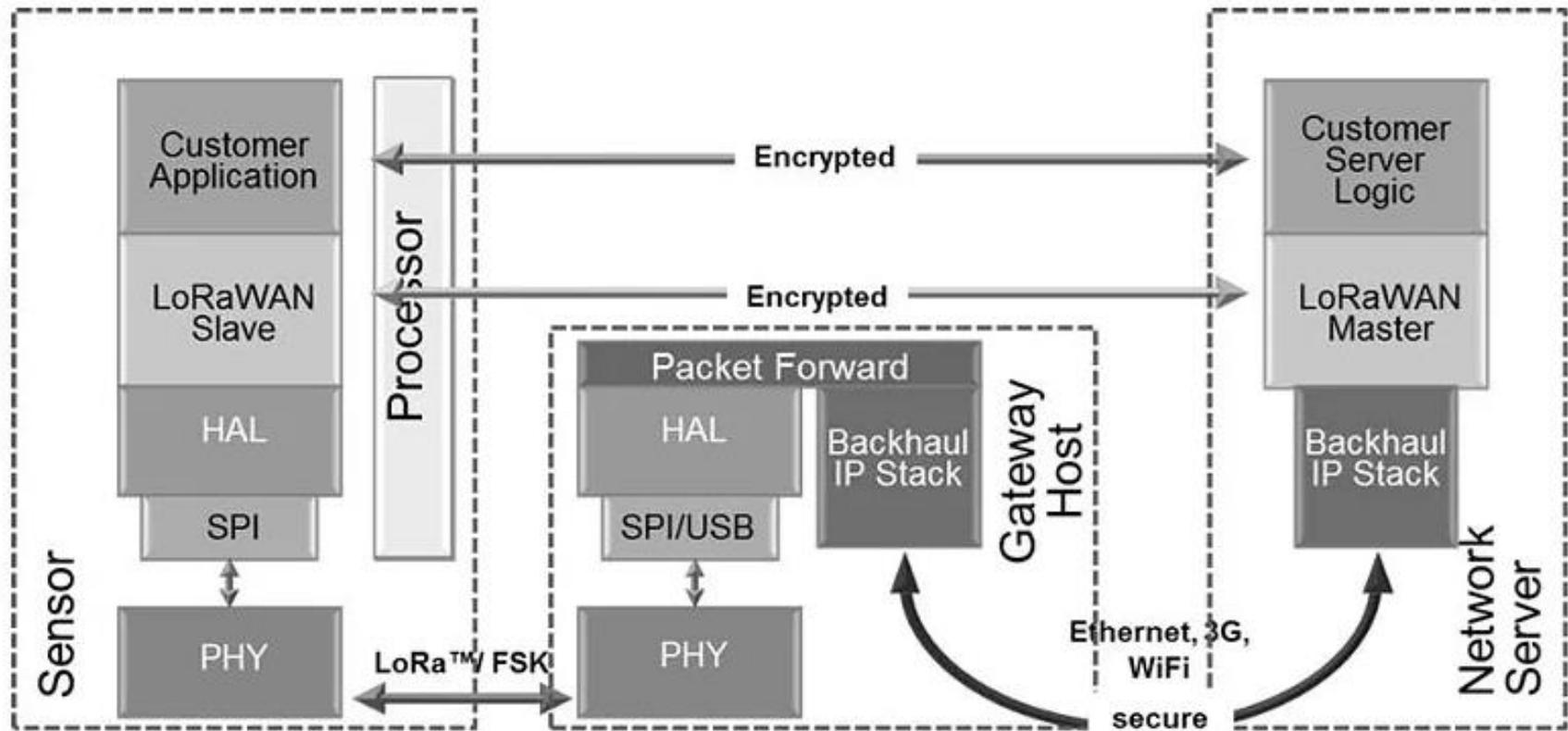
# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- LoRa implementa por defecto muchas las soluciones necesarias en la IoT
  - Como seguridad



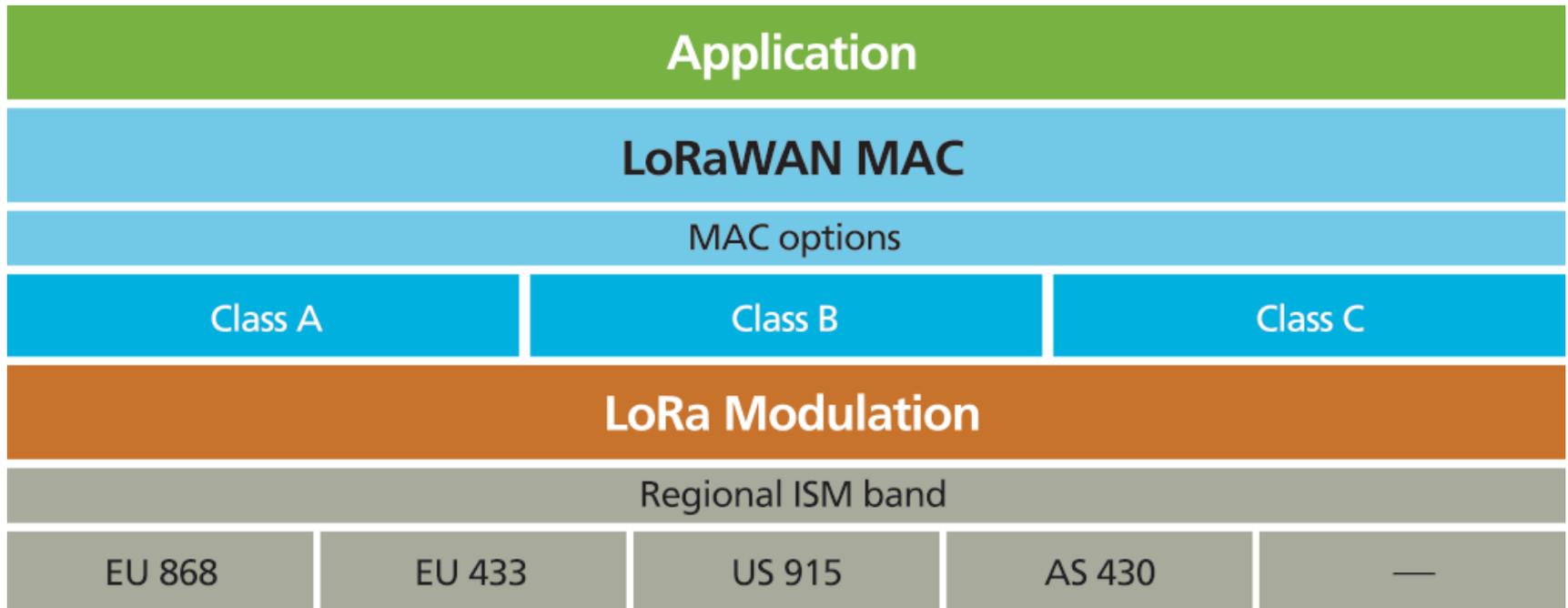
# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- El stack de protocolos



# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- El stack de protocolos



# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- La tecnología Sigfox es una solución propietaria que ha originado una red independiente a la que, para conectarse, es necesario incorporar un chip que sea compatible con la misma
- Los principales fabricantes ya disponen de hardware
  - Texas Instruments, Atmel, Silicon Labs

# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- En la red SIGFOX se transmiten mensajes de 12 bytes, pudiendo enviar 140 mensajes al día
- El enlace de radio SIGFOX utilizan zonas del espectro sin licencia
- Las frecuencias exactas pueden variar de acuerdo a las regulaciones nacionales

# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- En general, en Europa, la banda de 868 MHz es la más utilizada mientras que en EE UU es la de 915 MHz.
- El alcance de una estación base Sigfox es de unos 30-50km en las zonas rurales.
- En las zonas urbanas, puede reducirse a entre 3 y 10 km

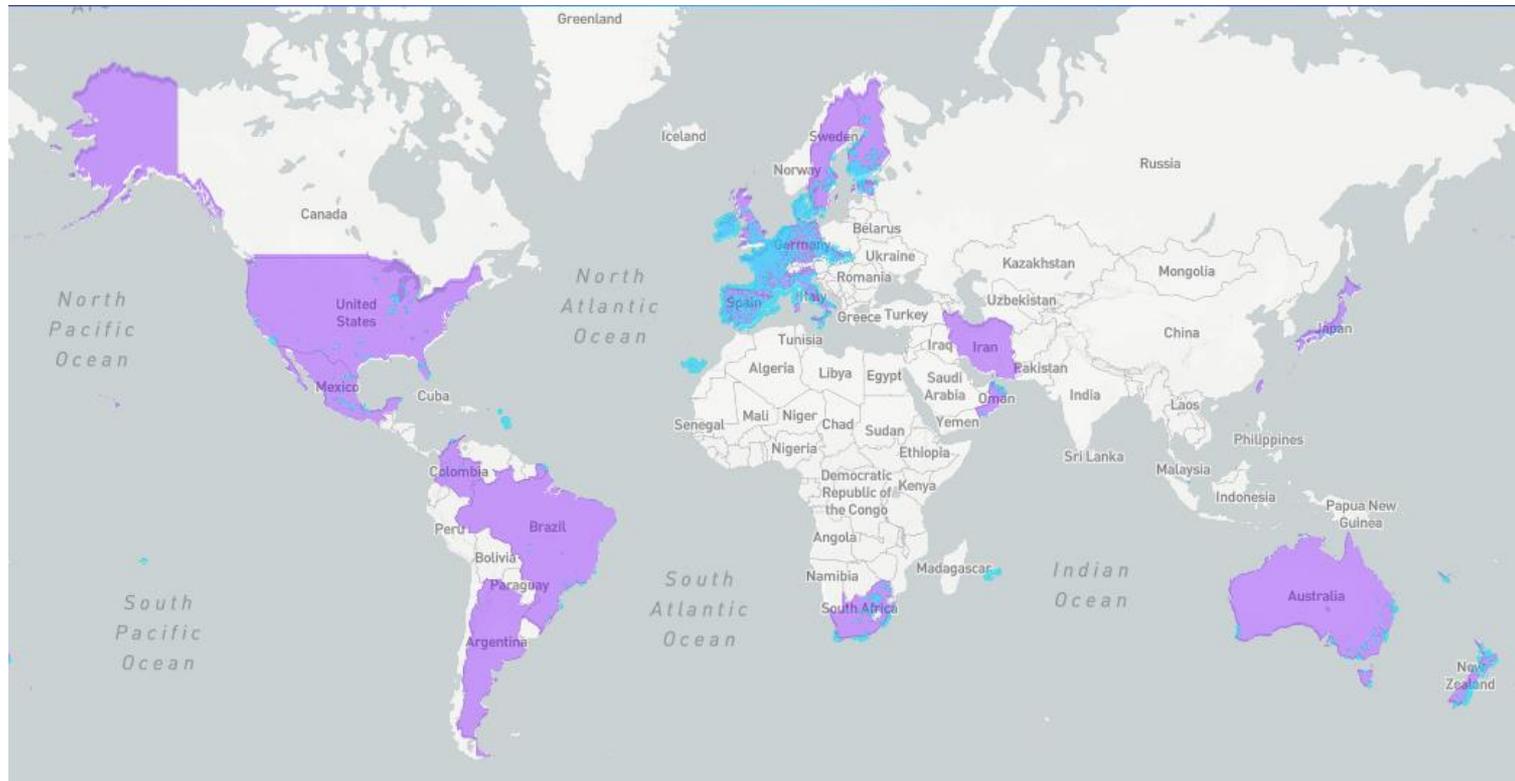
# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- Las distancias pueden ser mucho mayores para los nodos en espacio abierto, donde SIGFOX ha conseguido alcances de más de 1.000 kilómetros, lo que la hace especialmente adecuada para zonas despobladas o lejanas



# TECNOLOGÍAS DE ACCESO Y CORE

- Mapa de cobertura



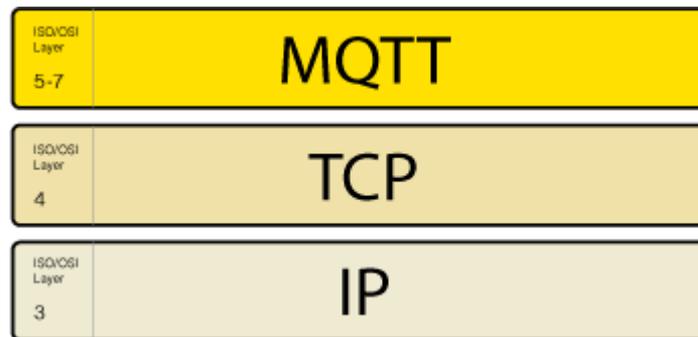
# PROTOCOLOS DE APLICACIÓN

- Existen, finalmente, soluciones que permiten el envío de información a nivel de aplicación
- En la IoT son de interés dos
  - MQTT
  - CoAP



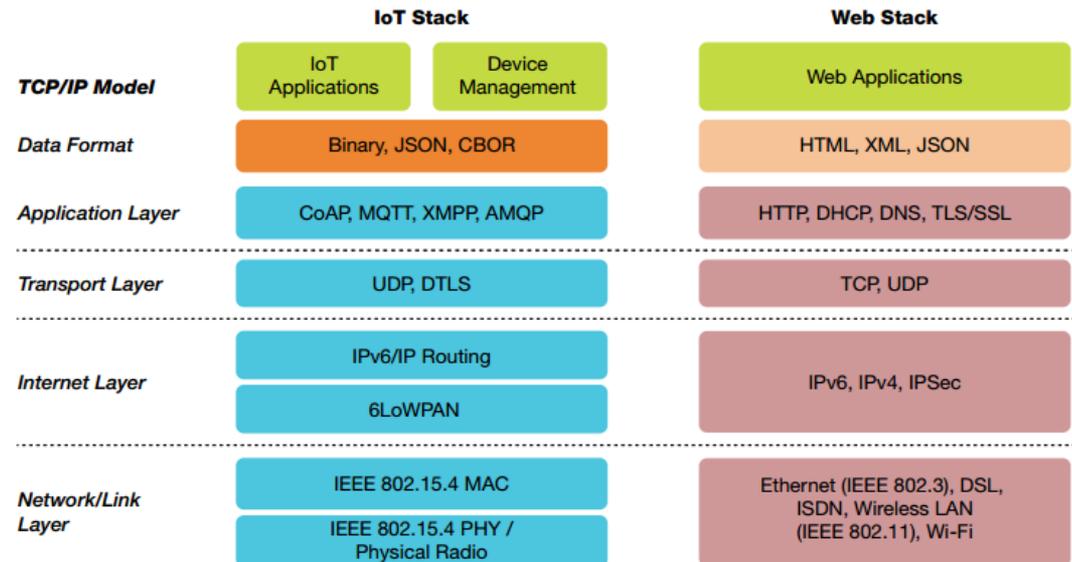
# PROTOSCOLOS DE APLICACIÓN

- MQTT es un estándar de la ISO
  - Message Queue Telemetry Transport
- Es un protocolo que sigue el paradigma de publicación/subscripción, y que se soporta sobre la pila de TCP/IP



# PROTOSCOLOS DE APLICACIÓN

- MQTT solo define cinco operaciones
  - Connect
  - Disconnect
  - Subscribe
  - UnSubscribe
  - Publish



# PROCOLOS DE APLICACIÓN

- CoAP es un acrónimo de Constrained Application Protocol
- Dicho protocolo de se define y regula mediante la forma RFC 7228
- Está pensado para dispositivos de capacidades reducidas

# PROTOSCOLOS DE APLICACIÓN

- CoAP está implementado en multitud de lenguajes de programación
- Está sustentado sobre IPv6
- También los mensajes enviados son compatibles con 802.15.4