



# ARQUITECTURA DE REFERENCIA PARA REDES IOT EN ESPACIOS URBANOS INTELIGENTES



## ÍNDICE

Introducción .....	3
Modelo de datos.....	4
LwM2M .....	4
IPSO .....	5
CoAP .....	5
CBOR .....	6
Tecnologías de conectividad.....	6
WI-SUN .....	6
Implementación mesh de referencia de Wi-SUN .....	7
Tecnologías de conectividad complementarias.....	8
Conclusiones .....	8

## Introducción



Este documento describe la arquitectura de red IoT de referencia para la ciudad de Madrid, promovida por el IoTMADLab. El objetivo de esta arquitectura es lograr la **interoperabilidad directa entre dispositivos IoT**, pudiendo ser éstos de diferentes fabricantes, e incluso de distintos servicios municipales. El IoTMADLab se centra en los niveles inferiores del ecosistema IoT, es decir, a nivel de red, incluyendo la capa de conectividad y el modelo de datos (ver Figura 1).

En aplicaciones de IoT para Smart City uno de los requisitos necesarios es un reducido overhead en la codificación de la información y la utilización de protocolos de comunicación ligeros para reducir la cantidad de información transmitida y las necesidades de procesamiento de forma que se puedan utilizar dispositivos sencillos de bajo coste y consumo de recursos. También es importante que el modelo de datos y los protocolos utilizados estén basados en estándares abiertos, maduros y con amplia implantación en el ámbito de las tecnologías de la información. Esto simplifica el desarrollo de dispositivos y aplicaciones por diferentes actores permitiendo el desarrollo de un ecosistema de productos y proyectos que favorece la competitividad y la innovación.

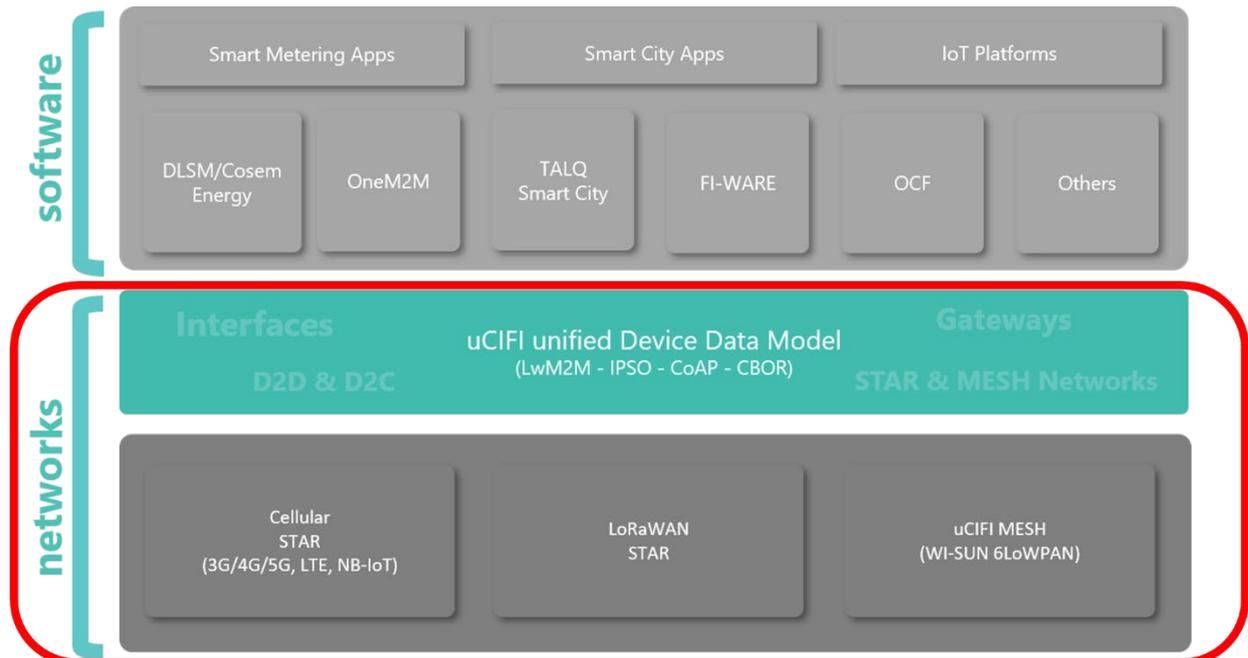


Figura 1. El IoTMADLab define los niveles más cercanos a los dispositivos de la Arquitectura IoT.

La arquitectura de referencia del IoTMADLab se divide en dos componentes:

- Un modelo de datos que está públicamente disponible en OMA Specworks<sup>1</sup>.
- Unas **tecnologías de que conectividad**, que priorizan el uso de redes mesh (**WI-SUN**) y que, posibilitan su integración con el modelo de datos anterior.

<sup>1</sup> Seleccionar uCIFI owner en <https://www.openmobilealliance.org/lwm2m/resources/registry/objects>

## Modelo de datos

El modelo de datos define la estructura lógica de la información asociada a una aplicación de monitorización, gestión y control de activos como puede ser el sistema de alumbrado público de una ciudad. También puede definir los protocolos de acceso y comunicación de dicha información. Para garantizar la interoperabilidad de los sistemas que componen la aplicación y evitar la dependencia de un único proveedor con soluciones propietarias (vendor lock-in), el modelo de datos debe basarse en especificaciones abiertas y estandarizadas por entidades independientes no afectadas por intereses comerciales.

El modelo de datos está basado en los trabajos de uCIFI reflejados en OMA<sup>2</sup> y se orienta a permitir la interoperabilidad de dispositivos en aplicaciones de Smart City. Se podrá utilizar y/o adaptar con los siguientes protocolos: LwM2M, IPSO, CoAP y CBOR.

## LwM2M

Lightweight M2M es un protocolo abierto de la Open Mobile Alliance (OMA) diseñado para abordar las necesidades de dispositivos IOT de bajo consumo y pocos recursos. LwM2M está siendo adoptado ampliamente por los operadores de telecomunicaciones y se perfila como el protocolo estándar para la gestión de dispositivos y la habilitación de servicios.

El estándar LwM2M define el protocolo de comunicación de la capa de aplicación entre un servidor LwM2M y un cliente LwM2M que se encuentra en un dispositivo IoT. Ofrece un enfoque para administrar dispositivos IoT y permite que dispositivos y sistemas de diferentes proveedores coexistan en un ecosistema IoT. LwM2M se creó originalmente sobre el protocolo CoAP, pero las versiones posteriores de LwM2M también admiten protocolos de aplicación.

Las capacidades de administración de dispositivos de LwM2M incluyen el aprovisionamiento remoto de credenciales de seguridad, actualizaciones de firmware, administración de conectividad, diagnóstico de dispositivos remotos y resolución de problemas. Además, los servicios de LwM2M incluyen lecturas de sensores, activación remota y configuración de dispositivos host.

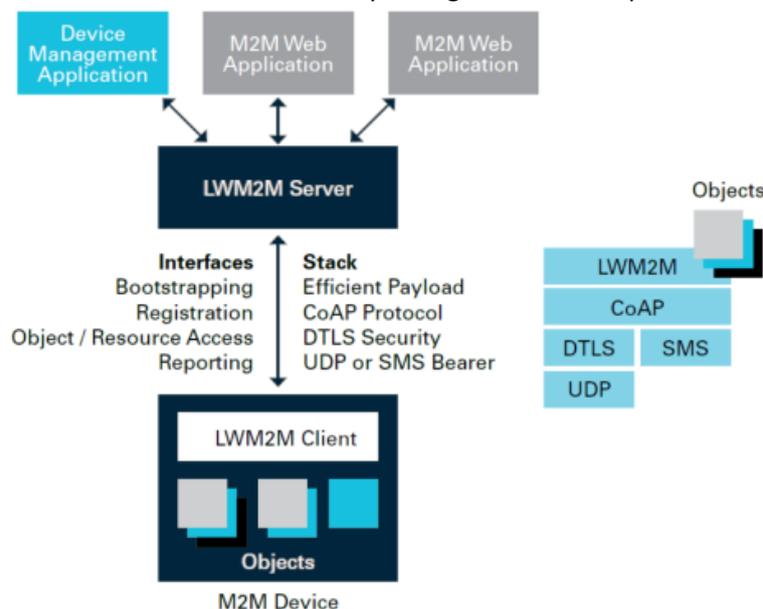


Figura 2. Interfaces lógicas de comunicación entre el Cliente LwM2M y el Servidor LwM2M.

<sup>2</sup> Desde diciembre de 2024, uCIFI pasa a formar parte de OMA SpecWorks transfiriendo su trabajo de especificaciones y estableciendo un nuevo grupo de trabajo denominado "Smart City" que será creado dentro de OMA. El modelo de datos de uCIFI seguirá siendo desarrollado por este grupo en OMA.

## IPSO

Los objetos IPSO de OMA SpecWork proporcionan una estructura para definir objetos de dispositivo que son colecciones de recursos que un dispositivo recopila, almacena y expone a aplicaciones externas.

Las especificaciones de IPSO Smart Objects incluyen definiciones legibles por humanos, especificaciones técnicas y descripciones extendidas para cada objeto desarrollado dentro del estándar, lo que facilita la implementación de sistemas IoT.

Además, los objetos IPSO están diseñados para poder usarse en diferentes protocolos que admiten tipos de datos, direccionamiento de URI, formatos de contenido y operaciones básicas (como lectura, escritura, ejecución). Por lo tanto, pueden emplearse en estándares como CoAP, HTTP e incluso MQTT (con algún trabajo de adaptación).

Object Name	ID	Instances	Object URN
Temperature Sensor	3303	Multiple	urn:oma:lwm2m:ext:3303

Resource	ID	Oper.	Mandatory	Type	Units	Description
Sensor Value	5700	R	Mandatory	Float	Defined by "Units" resource	Current measured sensor value
Min Measured Value	5601	R	Optional	Float	Defined by "Units" resource	The minimum value measured by the sensor since power ON
Max Measured Value	5602	R	Optional	Float	Defined by "Units" resource	The maximum value measured by the sensor since power ON
Min Range Value	5603	R	Optional	Float	Defined by "Units" resource	The minimum value that can be measured
Max Range Value	5604	R	Optional	Float	Defined by "Units" resource	The maximum value that can be measured
Sensor Units	5701	R	Optional	String		Measurement units definition e.g. "Cel" for celsius
Reset Min and Max Measured Values	5605	E	Optional	String		Reset the min and max measured values to current value

Figura 3. Ejemplo de un objeto IPSO para un sensor de temperatura.

## CoAP

CoAP (Constrained Application Protocol) es un protocolo de aplicación de Internet especializado para dispositivos de bajos recursos. Está estandarizado en la especificación RFC 7252 de la "Internet Engineering Task Force" (IETF), responsable de los estándares técnicos que componen el conjunto de protocolos de Internet. El Grupo de Trabajo "CoRE" del IETF ha realizado el principal trabajo de estandarización con el objetivo de que el protocolo sea adecuado para aplicaciones IoT y M2M.

CoAP utiliza UDP a nivel de transporte, uno de los protocolos estándar de Internet. También está pensado para traducirse fácilmente a HTTP para una integración simplificada con la web, al mismo tiempo que cumple con requisitos de los dispositivos IoT, como compatibilidad con multidifusión, over-heads muy bajos y simplicidad. CoAP es un protocolo fácil de integrar y puede emparejarse fácilmente con aplicaciones que utilicen proxies entre protocolos. Se integra perfectamente con JSON, XML, CBOR y otros formatos de datos.

El mensaje CoAP más pequeño tiene una longitud de 4 bytes, si se omiten los campos de token, opciones y carga útil, es decir, si solo consta del encabezado CoAP. Cualquier byte después del encabezado, el token y las opciones (si las hay) se consideran la carga útil del mensaje, que tiene como prefijo el "marcador de carga útil" de un byte (0xFF). La longitud de la carga útil es variable y está implícita en la longitud del datagrama.

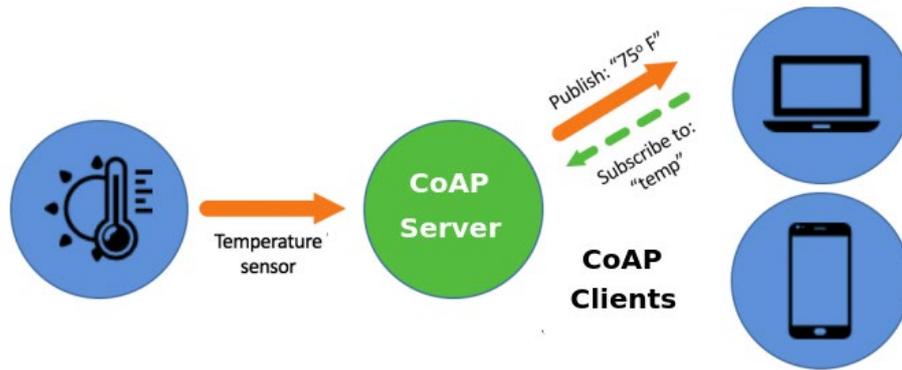


Figura 4. CoAP utiliza el método de comunicación de request/response (pregunta/respuesta).

## CBOR

CBOR ("Concise Binary Object Representation") es un formato binario de serialización de datos basado en JSON. Al igual que JSON, permite la transmisión de objetos de datos que contienen pares de nombre y valor, pero de una manera más concisa. Esto aumenta las velocidades de procesamiento y transferencia a costa de la legibilidad humana. Está estandarizado por el IETF en el RFC 8949.

Los datos codificados con CBOR se ven como un flujo de elementos de datos. Cada elemento de datos consta de un byte de encabezado que contiene un tipo de 3 bits y un contador corto de 5 bits. A esto le sigue un contador extendido opcional (si el contador corto está en el rango de 24 a 27) y una carga útil opcional.

Existen varias implementaciones de codificadores y decodificadores del formato en diferentes lenguajes de programación y con diferentes licencias de uso.

Plain Text JSON	CBOR Binary Data	CBOR Decode
<code>{"Name": "Sam" }</code>	A1 64 4E 61 6D 65 63 53 61 6D	A1 # map(1) 64 # text(4) 4E616D65 # "Name" 63 # text(3) 53616D # "Sam"

Figura 5. Ejemplo de codificación con CBOR.

## Tecnologías de conectividad

Después de analizar las tecnologías de conectividad actuales se han seleccionado aquellas que son (o pueden serlo en el futuro) compatibles con el modelo de datos y que debido a sus características cubren todos los requisitos de los posibles casos de uso.

Para la primera fase de la implementación de Espacios Urbanos Inteligentes se ha escogido WI-SUN dado que tiene un rango amplio de aplicación y su compatibilidad con el modelo de datos ha sido validada de forma fehaciente.

## WI-SUN

La Alianza Wi-SUN (Wireless Smart Ubiquitous Network) está formada por más de 250 empresas (proveedores microchips, proveedores de software, empresas de servicios, instituciones académicas, gubernamentales y organismos reguladores) y define la especificación Wi-SUN FAN (Field Area Network o Red de Alcance de Campo), que ha dado lugar al estándar IEEE 2857-2021, es un protocolo de red mesh, que trabaja sobre 6LoWPAN y se basa en varias normas IETF, IEEE y ANSI/TIA.

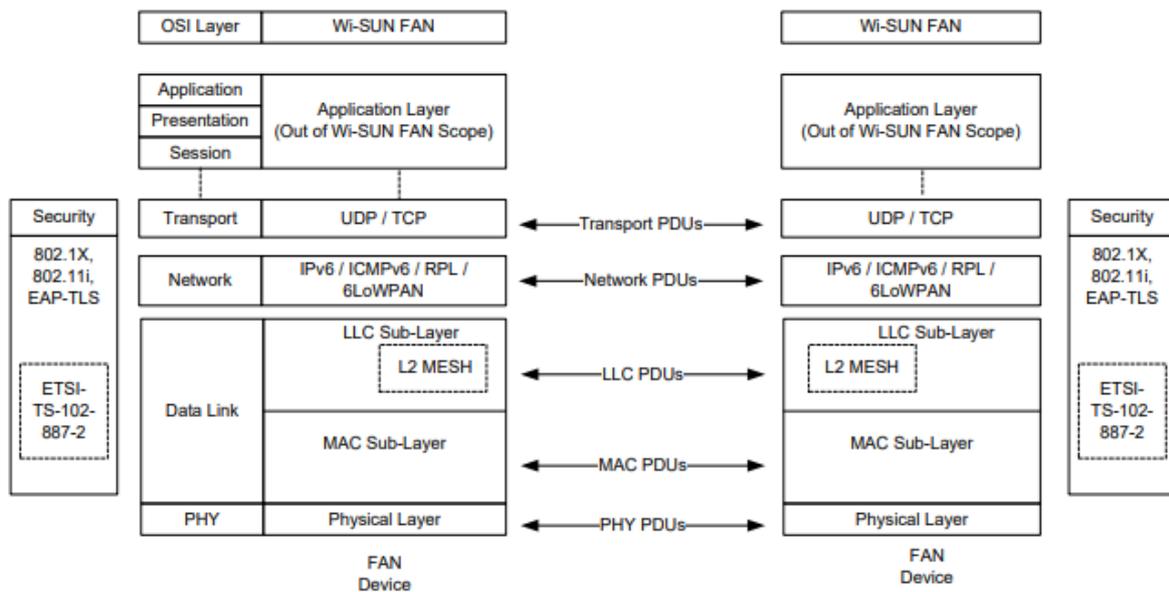


Figura 6. Pila de protocolos de Wi-SUN.

6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network) es un estándar de comunicación diseñado para permitir la conectividad de dispositivos de baja potencia y recursos limitados a través de redes inalámbricas de área personal (WPAN) basado en IEEE 802.15.4. 6LoWPAN se basa en el protocolo Internet Protocol Version 6 (IPv6), lo que permite asignar direcciones IP únicas a cada dispositivo conectado, facilitando su identificación y comunicación en la red. Esta característica es fundamental para el despliegue de una gran cantidad de dispositivos en, ya que proporciona una infraestructura escalable y flexible.

Wi-SUN (6LoWPAN) implementa una topología de red mallada, lo que posibilita la comunicación directa entre dispositivos y utiliza un enfoque de enrutamiento jerárquico y auto-organizado, donde los nodos actúan como enrutadores para retransmitir paquetes entre los dispositivos. Gracias a la topología de malla, se puede llegar a alcanzar varios centenares de metros, dependiendo de la frecuencia utilizada (bandas libres de 868 MHz y 2,4 GHz). Las tasas de transmisión pueden oscilar entre unas pocas decenas de kilobits por segundo, a algún ciento de kilobits por segundo —según la banda utilizada, los requisitos de consumo de los dispositivos, el alcance deseado. En cuanto a la seguridad, se utilizan mecanismos de cifrado y autenticación (AES de 128 bits) para proteger la comunicación entre los dispositivos y la red.

### Implementación mesh de referencia de Wi-SUN

Para garantizar la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes y servicios, se han definido los siguientes parámetros de comunicación dentro de la especificación Wi-SUN FAN que son compatibles con la (futura) implementación mesh de referencia de Wi-SUN (programables mediante firmware):

- Bandas de frecuencia: EU1 (863-870 MHz) y EU2 (870-876 MHz).
- Modo de operación PHY: 2a (100kbps).

### Tecnologías de conectividad complementarias

Para cubrir todos los posibles casos de uso y responder a requisitos especiales de localización, alimentación o comunicación, se contempla la incorporación a futuro (previa validación de su compatibilidad con el modelo de datos de) de LoRaWAN y NB-IoT.

### Conclusiones

La arquitectura de referencia del IoT MAD Lab se basa en un **modelo de datos** normalizado (LwM2M, IPSO, CoAP, CBOR) y la **tecnología de conectividad Wi-SUN** (6LoWPAN, 868 MHz, 2a).

El IoT MAD Lab dispone de la infraestructura para probar equipos que cumplan estas especificaciones, y establece los criterios para emitir sus informes de compatibilidad e interoperabilidad en base a lo especificado en este documento.

