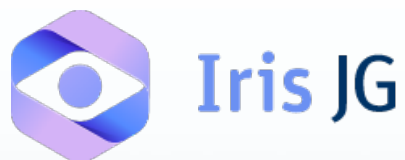


ingenieros **JG**

---

**Protocolos IoT para la integración  
de sistemas en Smart Buildings**



Noviembre de 2023



## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA INTERIOR	4
3. COMUNICACIÓN CABLEADA INTERIOR	11
4. COMUNICACIONES EXTERNAS	16
5. CONCLUSIONES	20
REFERENCIAS	22

## 1. INTRODUCCIÓN

El internet de las cosas (IoT) es un paradigma dónde un sinnfín de objetos y dispositivos se comunican entre si a través de todo tipo de tecnologías y redes de comunicación, tanto cableadas como inalámbricas. El término internet de las cosas puede llevar a confusiones ya que los dispositivos no necesitan estar estrictamente conectados a la internet pública, si no formar parte de una red y ser direccionables individualmente. Este entorno se consigue gracias a la utilización de sensores, normalmente dotados de baterías, con la capacidad de recopilar información de su entorno y enviarla a otros dispositivos o almacenarla en la nube. Todos estos datos son el motor para las aplicaciones, análisis y servicios que se ofrecen mediante la tecnología IoT.

Son muchos los campos que se pueden aprovechar del IoT para ofrecer servicios más robustos y completos. Por ejemplo, en el ámbito de la salud a través de la monitorización de constantes vitales en el día a día del paciente, en la industria con el seguimiento y control de la producción industrial y en las ciudades inteligentes permitiendo mejorar la gestión del tráfico y la seguridad, entre otros.

En el tema que nos atañe, los edificios inteligentes, el IoT también juega un papel relevante. En estos la monitorización de todos los sistemas y parámetros es clave para ofrecer una mejor respuesta en la gestión del edificio y sus equipos, obteniendo así edificios más eficientes y que ofrezcan el máximo confort a los usuarios. Aunque las posibilidades que ofrece el IoT propone un futuro muy prometedor, también conlleva riesgos que no se deben olvidar. Los sistemas críticos que se conectan a la red pueden ser objeto de ciberataques, poniendo en riesgo el funcionamiento normal del edificio y la privacidad de todos los datos.

En este informe se presentan diferentes protocolos y estándares utilizados para la comunicación de dispositivos en la operación normal de los edificios, categorizados en función del uso o no de cableado y según el alcance interior o exterior del edificio.

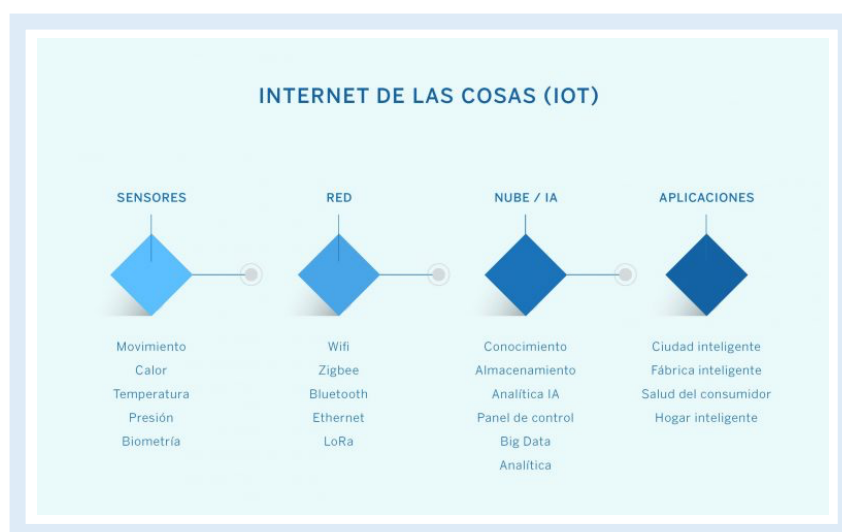


Figura 1: Estructura de un entorno IoT. Fuente: BBVA Openmind.

## 2. COMUNICACIÓN INALÁMBRICA INTERIOR

Estas tecnologías permiten la comunicación de los dispositivos sin cables. Dado su rango de operación limitado, son utilizadas en entornos acotados, como en el interior de los edificios.

### Wifi

Wi-Fi es una tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos a través del espectro de las ondas de radio, y describe todos aquellos dispositivos que utilizan la norma IEEE 802.11. Estos dispositivos pueden conectarse entre sí de forma inalámbrica a Internet a través de puntos de acceso de red conectados por cable. El Wi-Fi se ha convertido en una de las formas más populares de acceso a internet, siendo la tecnología más ampliamente utilizada en hogares, oficinas, espacios públicos y en la industria.

#### Ventajas Wifi

- Comunicación inalámbrica.
- Tecnología más utilizada: Alta compatibilidad e interoperabilidad entre dispositivos.
- Costes de instalación y operación bajos.

#### Desventajas Wifi

- Saturación del espectro radioeléctrico, especialmente a las conexiones de larga distancia (>100m).
- Poca protección contra accesos no autorizados, aunque para solucionar esto se puede utilizar cifrado (WPA2, WEP...).
- Velocidad de transferencia de datos baja, en función de la banda y protocolo utilizados de 11 Mbps (802.11b 2,4 GHz).

### Bluetooth

Bluetooth es un protocolo de bajo consumo enfocado a ser utilizado para comunicaciones en redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network - WPAN) para la transmisión de voz y datos entre dispositivos en hasta 79 canales mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de 2.4 GHz (*Industrial, scientific and medical*: bandas de radiofrecuencia reservadas para fines de telecomunicación). Bluetooth se ha convertido en el protocolo estándar para la transmisión de audio en altavoces y auriculares inalámbricos.

En 2010 apareció el Bluetooth Low Energy (BLE), diseñado para operaciones de muy bajo consumo con una transmisión de datos hasta en 40 canales a 2.4 GHz. El BLE soporta otras topologías de

comunicación a parte del point-to-point entre dos dispositivos, lo que permite que un dispositivo se comunique con un número ilimitado de receptores simultáneamente. Esto ha propiciado la aparición de la *Bluetooth mesh networking*, que permite que decenas de miles de dispositivos se comuniquen entre ellos.

En estas redes, los dispositivos tienen responsabilidades y capacidades asimétricas, dónde los que disponen de una batería relativamente grande (e.g. baterías de smartphones) realizan los cómputos más pesados y los que cuentan con baterías más pequeñas (e.g. pilas de botón) se centran en tareas más ligeras. Esto es ideal para la gestión del control, monitorización y automatización de la gran mayoría de los sistemas de un edificio, alcanzando la automatización real de este (Building Automation and Control System - BACS).

Una de las mayores desventajas de la comunicación con Bluetooth es su corta distancia de comunicación, con un alcance aproximado de 100 metros para los dispositivos de máxima potencia (100 mW). Esta cobertura se puede extender usando transceptores, pero no es ideal para comunicaciones a grandes distancias. Tampoco es una opción para usar en comunicaciones dónde la capacidad supere los 50 Mbits/s.

Comparado con Wi-Fi, este ofrece una potencia de salida mayor que Bluetooth, lo que lleva a conexiones más sólidas y se adecua mejor para redes de propósito general, con conexiones más rápidas y un rango de distancia y seguridad más elevado.

#### Ventajas Bluetooth ✓

- Comunicación inalámbrica.
- Comunicación en entorno Bluetooth mesh networking.
- Bajo consumo energético (BLE).
- Alta compatibilidad de dispositivos con Bluetooth y BLE.

#### Desventajas Bluetooth ✗

- Alcance limitado. Puede requerir uso de repetidores.
- Pueden aparecer interferencias electromagnéticas en entornos con muchos dispositivos y obstáculos.
- Baja velocidad de transmisión.

## Zigbee

Protocolo de comunicación inalámbrica de baja potencia y bajo ancho de banda, es decir, de transmisiones de poca información. Se basa en la utilización de redes de malla para la comunicación de los dispositivos sin la necesidad de un punto central de control. La comunicación se realiza a través de canales de radiodifusión (2,4 GHz) de baja potencia y velocidad (250 Kbps) con un alcance de aproximadamente 10 a 75 metros, resultando en un protocolo de bajo consumo, con dispositivos que pueden funcionar durante años sin la necesidad de cambio de baterías.

Es una tecnología especialmente útil para la creación de redes de sensores para la automatización del hogar, iluminación inteligente, control de energía, monitorización de salud, etc. Además, este protocolo incluye medidas de seguridad para proteger la información transmitida mediante la encriptación de datos y la autenticación de dispositivos.

#### Ventajas Zigbee ✓

- Bajo consumo.
- Seguridad en las transmisiones.
- Estándar abierto.

#### Desventajas Zigbee ✗

- Alcance limitado.
- Complejidad configuración (malla).
- Compatibilidad limitada.
- Mayor coste de instalación.
- Baja cantidad de datos.

## Z-wave

Protocolo de comunicación inalámbrico muy similar a Zigbee, que utiliza las ondas de radio de baja potencia y ancho de banda para la creación de redes de malla. La diferencia más notoria con el protocolo Zigbee, es que Z-wave opera en una frecuencia de radio diferente (908,42 Mhz) que permite una mayor penetración de paredes y otros obstáculos que puedan presentarse.

Este protocolo también ofrece larga duración de las baterías de los dispositivos y medidas de seguridad para proteger la información transmitida. Sus principales aplicaciones se centran en la automatización y monitorización de los edificios, como los sistemas de iluminación, termostatos, automatización de las persianas, sistemas de seguridad...

#### Ventajas Z-wave ✓

- Bajo consumo de energía.
- Alta seguridad en los datos transmitidos (cifrado AES de 128 bits).
- Escalabilidad (una red Z-Wave puede incluir hasta 232 dispositivos).
- Control remoto.

#### Desventajas Z-wave ✗

- Baja velocidad de transmisión de datos (100 kbit/s).
- Elevados costes.
- Alcance menor que Zigbee. Aproximadamente 30 metros.
- La poca popularidad de este protocolo hace que la gama de dispositivos sea reducida y que los recursos invertidos en desarrollar la tecnología sean pocos.

## EnOcean

Protocolo de comunicación inalámbrica de muy bajo consumo utilizado en dispositivos de automatización y monitorización de edificios. La idea de EnOcean consiste en el uso de sensores e interruptores sin baterías gracias a la utilización de tecnologías de recolección de energía, como el aprovechamiento de campos electromagnéticos generados en las tomas de corriente, la energía solar y termoeléctrica y cinética entre otras.

Se utiliza la banda de frecuencia ISM con una frecuencia de transmisión de 868 MHz. La distancia de transmisión puede llegar hasta los 300 metros. Transmite paquetes de datos pequeños (14 bytes) a una velocidad pequeña 120 kbit/s.

Al igual que Zigbee y Z-wave, EnOcean utiliza redes de malla para permitir que los dispositivos se comuniquen entre sí sin la necesidad de un punto central de control y cuenta con medidas de seguridad para la protección de la información transmitida.

### Ventajas EnOcean

- Bajo consumo de energía.
- Alta seguridad en los datos transmitidos (cifrado AES de 128 bits).
- Escalabilidad (una red Z-Wave puede incluir hasta 232 dispositivos).
- Control remoto.

### Desventajas EnOcean

- Baja velocidad de transmisión de datos (100 kbit/s).
- Elevados costes.
- Alcance menor que Zigbee. Aproximadamente 30 metros.
- La poca popularidad de este protocolo hace que la gama de dispositivos sea reducida y que los recursos invertidos en desarrollar la tecnología sean pocos.

## RFID

El *Radio frequency identification* (RFID) es una comunicación inalámbrica que incorpora el uso del acoplamiento magnético o electrostático en la porción de radiofrecuencia del espectro electromagnético, utilizada para identificar objetos, animales o personas. Normalmente es usado en escaneo y identificación de dispositivos y activos, identificadores para controles de acceso, pagos y cobros con tarjeta, entre otros.

Una ventaja de esta tecnología de comunicación es que permite utilizar identificadores pasivos, es decir, dispositivos que no requieren de una batería, pues las ondas electromagnéticas de la antena del lector producen una corriente inducida en el identificador. Sin embargo, estos

identificadores tienen un rango de lectura más reducido. Los *Smart labels* son adhesivos imprimibles con identificadores incrustados.

El rango de distancia de lecturas del identificador viene marcado en gran medida por la potencia del lector, del identificador o por la interferencia del entorno. Estos sistemas pueden consumir muy poca energía usando frecuencias bajas (30-500 kHz) para cubrir distancias desde pocos centímetros hasta 1,5 metros aproximadamente. Sin embargo, el uso de altas frecuencias permite la lectura desde 8 metros y con identificadores con baterías puede ampliarse la distancia hasta 90 metros.

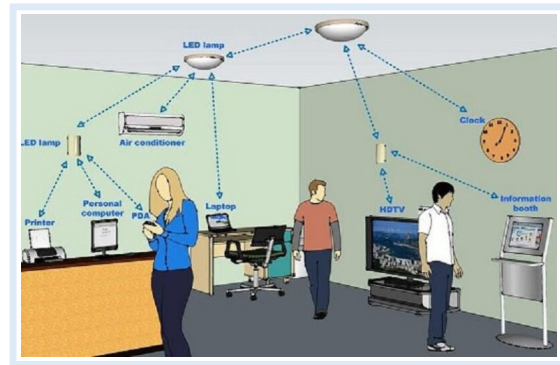
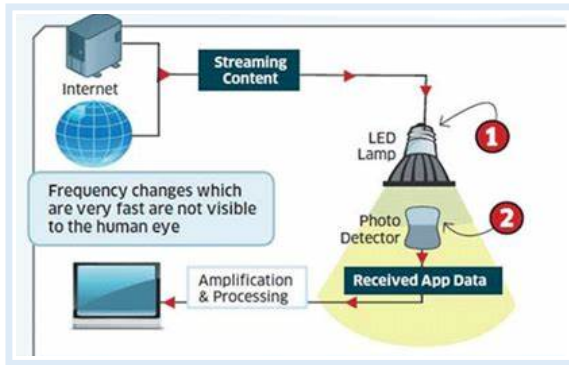
Ventajas RFID ✓	Desventajas RFID ✗
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisión de información sin necesidad de una línea de visión directa.</li> <li>• Penetración de obstáculos: los dispositivos RFID pueden leer y escribir información a través de ciertos obstáculos.</li> <li>• Reducción de errores: al automatizar la recolección de datos, se reduce la posibilidad de errores humanos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo: la tecnología RFID puede ser costosa, especialmente si se requieren muchos dispositivos o si se desea utilizar la tecnología de forma extensiva.</li> <li>• Interferencia: los dispositivos RFID pueden verse afectados por la interferencia de otros dispositivos electrónicos cercanos.</li> <li>• Los dispositivos RFID pueden ser interceptados y utilizados para obtener información confidencial.</li> <li>• Los dispositivos RFID no pueden leer a través de materiales metálicos y algunos otros materiales específicos.</li> </ul>

## Li-Fi

La tecnología de comunicación Li-Fi (Light Fidelity) es una tecnología inalámbrica bidireccional de rápida comunicación y de bajo coste que utiliza la transmisión de luz visible o ultravioleta cercana (UV) e infrarroja cercana (NIR) del espectro electromagnético en lugar de utilizar las ondas de radiofrecuencia. Por lo tanto, forma parte del subconjunto de comunicaciones ópticas inalámbricas, para conectar dispositivos electrónicos a la red.

Concretamente, utiliza la luz LED para transmitir información a cualquier dispositivo que esté dentro del área de incidencia de esta mediante el parpadeo de la luz (hasta 10 mil millones de veces por segundo), transmitiendo información binaria (0 y 1). De esta manera se consigue una comunicación muy rápida, alcanzando velocidades superiores a 10 Gigabits por segundo (llegando hasta 224 Gigabits por segundo en laboratorio) y llegando a ser hasta 100 veces más rápido que algunas tecnologías Wifi.





Figuras 2 y 3: Arquitectura de la comunicación Li-Fi y ejemplo de operación de comunicación Li-Fi mediante luz LED.  
Fuentes: Techworld y Wikipedia.

Esta tecnología evita muchos problemas de piratería presentes en la comunicación Wi-Fi, ya que la información se transmite mediante parpadeos muy rápidos de luz captables solamente con sensores in-situ. Sin embargo, las distancias de comunicaciones son más cortas, ya que la luz no puede travesar paredes u obstáculos. Aproximadamente, el alcance de esta tecnología es de 10 metros. Al utilizar luz visible para la comunicación, es una tecnología altamente útil en zonas sensibles a las señales electromagnéticas, como cabinas de aviones, hospitales y centrales nucleares ya que la luz no causa interferencias. Otras áreas de utilización de esta tecnología son la iluminación inteligente aprovechando la transmisión de datos con las bombillas LED, comunicación en vehículos autónomos de los datos de sensores y cámaras al centro de control, comunicación de datos privados de pacientes en hospitales, información en tiempo real en museos y galerías...

Las principales diferencias con el Wi-Fi es que este utiliza el espacio de las ondas de radiofrecuencia para transmitir los datos y es un método muy común, aunque es susceptible a interferencias de otros dispositivos electrónicos con la misma banda de frecuencia. En cambio, Li-Fi utiliza la luz visible para la transmisión de datos y es más seguro, privado y puede llegar a ser hasta 10 veces más barato que el wifi. Tiene una velocidad de transmisión mucho más alta, pero requiere de una línea de visión directa.

### Ventajas Li-Fi ✓

- Velocidad de transmisión muy elevadas.
- Transmisión de datos más segura y privada.
- Interferencia de otros dispositivos electrónicos mínima.
- Ahorro de energía debido al bajo consumo de potencia para transmitir datos.

### Desventajas Li-Fi ✗

- La transmisión de datos requiere una línea de vista directa entre el transmisor y el receptor.
- Menor alcance de comunicación.
- Actualmente pocos dispositivos están equipados para usar Li-Fi.
- Debido a que la tecnología Li-Fi no está tan desarrollada, su coste de instalación es elevado.

## Tabla resumen

Protocolo	Alcance [m]	Consumo	Frecuencia de transmisión	Velocidad de transmisión	Seguridad
Wifi	100	Alto	2,4 GHz 5 GHz	11 Mbps 2 Gbps	Avanzada
Bluetooth	10 - 100	Bajo Muy bajo (BLE)	2,4 GHz	24 - 50 Mbps	Básica
Zigbee	10 - 75	Muy Bajo	2,4 GHz	250 kbps	Avanzada
Z-wave	30	Muy Bajo	908,42 MHz	100 kbps	Avanzada
EnOcean	30 - 300	Ultra bajo - nulo	868 MHz	120 kbps	Avanzada
RFID	Hasta 8 pasivos Hasta 90 activos	Ultra bajo	13 - 30 MHz	25 - 100 kbps	En función de la implementación
LI-FI	Hasta 10	Muy Bajo	200.000 GHz	10 Gbps	Avanzada

*Tabla 1: Resumen de los protocolos de comunicación inalámbrica interior.*

### 3. COMUNICACIÓN CABLEADA INTERIOR

Protocolos de comunicación alimentados por cable y utilizados para la automatización de los sistemas presentes en los edificios. Esto normalmente son los responsables de la comunicación entre los dispositivos de los sistemas BMS.

#### BACnet

Estándar de comunicación de datos para conectar aparatos electrónicos encargados del control y funcionamiento de los edificios actuales como son las alarmas, sensores, sistema de HVAC, iluminación, seguridad... Fue diseñado por la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) para mejorar la interoperabilidad entre los sistemas y unidades de control de diferentes fabricantes.

BACnet es un estándar ampliamente utilizado en la industria de control de edificios y que se basa en una arquitectura cliente-servidor. Utiliza un protocolo de transmisión de datos mediante Ethernet (definido por ISO 8802-3), con servicios como *Who-Is*, *I-am*, *Who-Has* y *I-Have* para la detección de objetos y Dispositivos y *Read-Property*, *Write-Property* para la lectura o escritura de datos.

Permite la monitorización y gestión remota y centralizada de todos los sistemas de control en edificios de grandes dimensiones, lo que permite un uso óptimo y un ahorro energético.

Debido al decreto EPBDS (*Energy performance of Buildings Directive*) que entrará en rigor el 2025, todos los edificios terciarios deberán utilizar algún estándar BACnet o similar para automatizar sus sistemas.

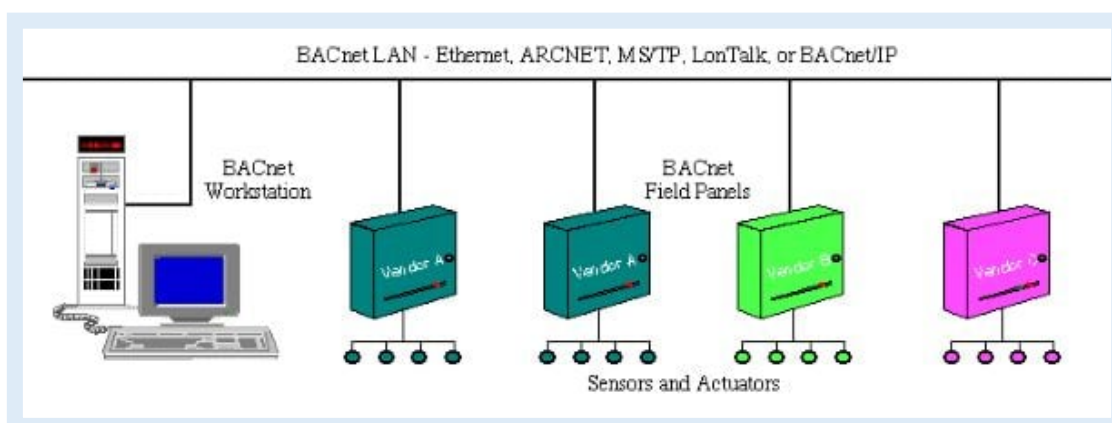


Figura 4: Estructura de comunicación BACnet. Fuente: BACnet.

## Ventajas BACnet ✓

- Gran interoperabilidad entre diferentes sistemas de control del edificio de diferentes fabricantes.
- Permite integrar gran cantidad de sistemas presentes en un edificio.
- Monitorización y control centralizado.
- Mejora eficiencia energética.
- Fácil escalabilidad de los sistemas a medida que las necesidades cambien.

## Desventajas BACnet ✗

- Coste de implementación elevado debido la necesidad de hardware y software especializados y técnicos capacitados.
- Puede llegar a no ser compatible con los sistemas de control de edificios más antiguos.
- Se requiere una red robusta y confiable para garantizar una transmisión de datos continua.

KNX



KNX (Konnex bus) es un estándar abierto (ISO/IEC 14543) para la automatización de edificios comerciales y domésticos, con el que controlar sistemas como la iluminación, persianas, HVAC, sistemas de seguridad, gestión energética, etc.

Esta comunicación es un protocolo de transporte de paquetes (telegrama) que se realiza generalmente mediante cable de par trenzado, pero también mediante PLC (comunicación mediante la línea de potencia eléctrica), IP (cableado con Ethernet o inalámbrico con Wi-Fi) o radiofrecuencia. Gracias a estos 4 medios de comunicación se adapta a cualquier reto arquitectónico.

Una de sus principales ventajas es que la información no debe pasar por la unidad de control central, ya que las funciones se alojan en los buses individuales. Esto se traduce en que los sensores envían directamente los comandos de control a los sistemas del edificio. Estas funciones se configuran con el software abierto ETS (*Engineering Tool Software*). Ya que KNX no está basado en hardware específico, la unidad de control central para gestionar las comunicaciones entre sensores y actuadores puede ser desde un microcontrolador de 8 bits a un PC.

Otra ventaja es la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes (certificados) en una única solución integral.

A parte de los diferentes protocolos de comunicación, la principal diferencia entre KNX y BACnet, es que KNX se desarrolló a partir de estándares europeos anteriores (EIB y BatiBUS) y es ampliamente usado en Europa, mientras que BACnet se desarrolló y es mayoritariamente usado en Estados Unidos.

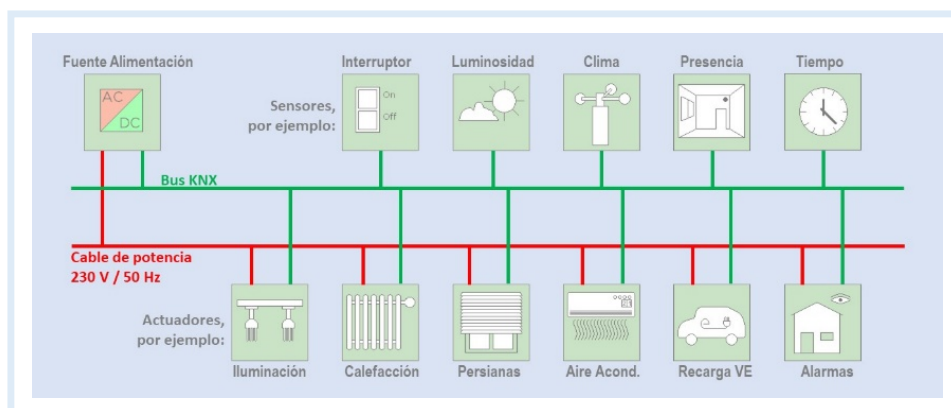


Figura 5: Comunicación de los telegramas mediante Bus entre sensores y actuadores. Fuente: KNX.

### Ventajas KNX ✓

- Los sensores pueden enviar la señal de control directamente.
- Buena interoperabilidad entre sistemas y dispositivos al ser un estándar abierto.
- Altamente flexible y escalable para proyectos de diferentes tamaños.
- Mejora eficiencia energética.

### Desventajas KNX ✗

- Requiere diseño previo adecuado y personal calificado.
- Se requiere una red robusta y confiable para garantizar una transmisión de datos continua.

## LonWorks



LonWorks es un estándar abierto (ISO/IEC 14908) construido sobre un protocolo de comunicación creado por *Echelon Corp.* para automatizar los sistemas de los edificios (HVAC, iluminación, etc.) y para usos industriales. La comunicación se puede realizar mediante cable de par trenzado, PLC, radiofrecuencia o fibra óptica.

La comunicación con LonWorks requiere de dispositivos con la tecnología propietaria desarrollada por *Echelon Corporation* (Neuron chip) y estos están conectados a dispositivos de control separados.

Las principales diferencias con el estándar KNX son que este es mejor en interoperabilidad y escalabilidad en comparación con LonWorks ya que no utiliza hardware propietario y cuenta con una comunidad más extensa. Por otro lado, KNX es un sistema relativamente complejo que requiere de capacitación especializada para la instalación y su configuración, mientras que LonWorks es más fácil de usar y configurar, aunque normalmente más caro de implementar.

## Ventajas LonWorks ✓

- Buena interoperabilidad entre sistemas y dispositivos al ser un estándar abierto.
- Altamente flexible y escalable para proyectos de diferentes tamaños.
- Sistema de control descentralizado más robusto en caso de fallada de un dispositivo.
- Flexibilidad en la utilización de distintos tipos de cableado.

## Desventajas LonWorks ✗

- Costos de implantación elevados.
- Se requiere una red robusta y confiable para garantizar una transmisión de datos continua.
- Complejidad programación y configuración.

## DALI



*Digital addressable lighting Interface* (DALI) es un protocolo de iluminación que permite el control y automatización de aplicaciones de iluminación a través de un bus de comunicación digital bidireccional de dos hilos (potencia y datos) y que agrupa en un solo sistema unificado y central el control de las luminarias, balastos, sensores y otros dispositivos relacionados. Entre sus funciones se encuentran las de atenuar, encendido/apagado, controlar la temperatura del color, control de grupos y escenas, etc. Típicamente son sistemas cableados, aunque existen soluciones inalámbricas. Es necesario un controlador para convertir la señal digital del sistema DALI a una señal analógica necesaria para el control de las luminarias. Cada dispositivo lumínico se le asigna una dirección entre 0 y 63, con lo que cada controlador puede gestionar hasta 64 dispositivos. Existen otros protocolos para el control de la iluminación a escoger en función de las necesidades del proyecto y del usuario. Por ejemplo, protocolos como BACnet, KNX o LonWorks son soluciones que controlan diferentes sistemas del edificio, iluminación incluida, para proyectos relativamente grandes, mientras que DALI es específico a la iluminación, resultando en un protocolo rentable, con un bajo coste de cableado y utilizado normalmente en proyectos de envergadura pequeña o mediana. Con la aparición del IoT y la transmisión y control de datos inalámbricos, queda por ver cómo los sistemas de control de iluminación cableados DALI encajan en este nuevo paradigma.

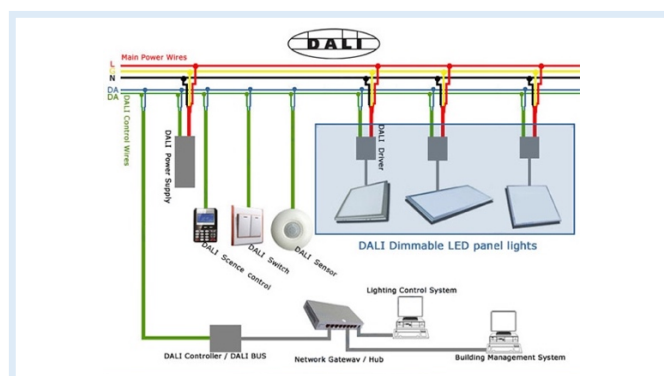


Figura 6: Esquema de instalación de control de iluminación DALI. Fuente: SGSLight.

Ventajas DALI ☑	Desventajas DALI ☒
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de la eficiencia energética.</li> <li>• Los sistemas DALI son escalables (hasta 64 luminarias por controlador) y fácilmente programables.</li> <li>• Reducción de las tareas de mantenimiento.</li> <li>• Interoperabilidad con un gran número de dispositivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mas caro que otros sistemas tradicionales.</li> <li>• Los sistemas DALI no son compatibles con otros sistemas de iluminación, con lo que se necesita nueva planificación.</li> <li>• Instalación no es plug and play.</li> <li>• Los sistemas DALI pueden ser vulnerables a ciber ataques en instalaciones críticas.</li> </ul>

## Tabla resumen

Sistema	Protocolo	Descripción
HVAC	BACnet KNX LonWorks	Sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Se permite el control y monitoreo de la temperatura, humedad, flujo de aire y calidad del aire ambiente.
Iluminación	BACnet KNX LonWorks DALI	Control y monitoreo de la intensidad de luz, encendido y apagado de las luces, programación escenas... Se pueden usar todos los protocolos, pero DALI es el más completo.
Seguridad	BACnet KNX LonWorks	Sistemas que incluyen cámaras y sistemas de alarma, detectores, controles de acceso... Se monitorea la actividad interior del edificio, activación alarmas, monitoreo entradas y salidas de usuarios...
Audio y video	KNX LonWorks	Sistemas de audio y video, dónde se controla y monitorea la reproducción de audio y video en diferentes áreas del edificio.

Tabla 2: Resumen de los protocolos de comunicación cableada interior.

## 4. COMUNICACIONES EXTERNAS

Tecnologías de comunicaciones de largo alcance y con infraestructura propias enfocadas a ofrecer conectividad a los dispositivos ubicados en el área de operación de sus redes.

### 5G

5G es la quinta generación de tecnología de radiocomunicación de telefonía móvil. Su área de servicio está dividida en pequeñas regiones geográficas conocidas como celdas. Todos los dispositivos de una misma celda están conectados mediante una antena por ondas de radio a Internet y a la red telefónica. Esta tecnología soportará mayor ancho de banda que sus predecesoras, con una velocidad de descarga mayor que puede llegar a superar los 10 Gbps (gigabits por segundo). Dado este aumento de capacidad, se espera que estas redes puedan ser de uso general en ordenadores y se esperan nuevas aplicaciones en áreas como IoT.

Este aumento de velocidad con las ondas de radio de altas frecuencias provoca el inconveniente de reducir el rango físico con respecto a su predecesor (4G), con lo que se debe aumentar el número de celdas y antenas, haciendo que su colocación tenga sentido en sitios concurridos o entornos urbanos densamente poblados. Otro inconveniente de las ondas de alta frecuencia es que experimentan problemas en atravesar algunos elementos como paredes o ventanas.

El 5G afectará a todos los componentes del IoT directa o indirectamente, ofreciendo un mayor ancho de banda para aumentar el número de dispositivos e información transmitida, siendo esta mucho más rápida. El tamaño de los sensores y equipos también se podrá ver reducido pues el aumento del uso de la nube para realizar los cómputos y análisis de datos en tiempo real evitará la necesidad de equiparlos con múltiples procesadores y grandes baterías.

#### Ventajas 5G

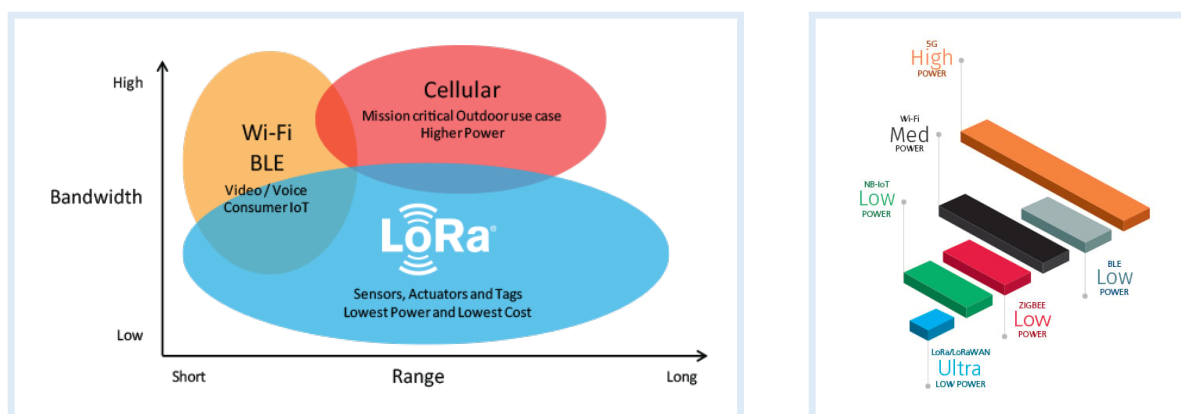
- Mayor velocidad de carga y descarga respecto a las generaciones anteriores.
- Menor latencia útil para comunicaciones en tiempo real.
- Mayor densidad de dispositivos conectados.
- Mayor eficiencia energética respecto a las generaciones anteriores, con mayor duración de la batería de los dispositivos.

#### Desventajas 5G

- Infraestructura de antenas no presente en todas las zonas geográficas.
- Los dispositivos compatibles con las generaciones anteriores deberán remplazarse o actualizarse para aprovechar el 5G.
- Menor capacidad de penetración de obstáculos que las generaciones anteriores.



*Long Range* (LoRa) es una técnica de comunicación de radiofrecuencia inalámbrica de alto rango de alcance efectivo y muy bajo consumo de energía que se ha convertido en la tecnología de comunicación *Low Power Wide Area Network* o redes de bajo consumo (LPWAN) de facto más completa para IoT, ya que la hace ideal para dispositivos con limitaciones de energía y banda de ancha. Aunque depende del entorno y las posibles obstrucciones, generalmente tiene un alcance entre 13 y 15 km, con lo que con una sola puerta de enlace o antena LoRa se pueden cubrir grandes áreas como ciudades o zonas rurales con poca cobertura. LoRa utiliza un sistema de transmisión de paquetes, lo que significa que los datos se transmiten en pequeñas porciones a alta frecuencia, permitiendo una gestión eficiente de la banda ancha y mejor escalabilidad para redes de grandes dimensiones. Sin embargo, no es una técnica adecuada para comunicaciones con gran cantidad de información, cubiertas por ejemplo por 5G. LoRa ha ocupado el espacio dejado por las otras tecnologías de comunicación como Wi-Fi, Bluetooth o comunicaciones celulares, que o bien requieren un alto banda de ancha o consumo, o tienen rango limitado o incapacidad de penetrar ambientes interiores.



Figuras 7 y 8: Espacio ocupado por la tecnología LoRa. Fuente: Semtech.

### Ventajas LoRa

- Alto rango de alcance (13-15 km).
- Comunicación de muy bajo consumo. La vida útil de las baterías de los sensores puede llegar a los 10 años.
- Capacidad de superar obstáculos y alta tolerancia a las interferencias.
- Alta frecuencia de comunicación.

### Desventajas LoRa

- Poca capacidad de comunicación. Se transmite poca información en forma de paquetes.
- Se requiere una red propia de comunicaciones LoRa con su respectiva antena.
- Aunque la mayoría de los sensores actuales cubren esta comunicación, se requiere tecnología específica.

## Fibra óptica

La fibra óptica es una fibra flexible y transparente utilizada para la transmisión de luz entre los dos extremos de un cable de diámetro muy pequeño, ligeramente superior al de un cabello humano. Esta transmisión de luz comúnmente se aprovecha en el campo de las telecomunicaciones por fibra óptica, obteniendo una distancia y una velocidad de comunicación superiores a los cables eléctricos convencionales. Al transmitirse dentro de la fibra óptica mediante el fenómeno de reflexión interna total, la luz sufre menos pérdidas e interferencias electromagnéticas que los cables de metal.

La velocidad de internet depende de varios factores, cómo la infraestructura de la red instalada en la zona, la calidad de los componentes y el plan de internet que se haya contratado. En función de estos parámetros se puede disponer desde 100 Mbps, suficiente para los hogares comunes, y hasta 1Gbps para la descarga de archivos grandes o la transmisión de video de alta definición en directo.

### Ventajas Fibra óptica

- Latencias más bajas, lo que se traduce en una alta velocidad de internet.
- Estabilidad de conexión frente a interferencias electromagnéticas, obteniendo conexiones más robustas y estables.
- La fibra óptica ofrece un mayor ancho de banda, pudiendo así transmitir más datos sin que se vea afectada la velocidad de conexión.

### Desventajas Fibra óptica



- Elevado coste y complejidad de instalación en comparación con los métodos tradicionales de ADSL o cable coaxial.
- La fibra óptica todavía no está disponible en todas las áreas, por lo que las zonas más rurales y alejadas no pueden disfrutar de esta tecnología.
- La fibra óptica es más robusta a las interferencias electromagnéticas, pero es más débil a los daños físicos que los cables de cobre.

## OpenADR

*Open Automated Demand Response* (OpenADR) es un grupo de investigación que desarrolla estándares abiertos para la gestión de energía liderado por compañías de investigación norteamericanas. Su principal aplicación es la de generar señales para gestionar el uso de los dispositivos durante los períodos de alta demanda de energía eléctrica. Su desarrollo está también pensado para integrar las *Smart grids* bajo un mismo estándar común para formar una industria viable de energía limpia.

Este estándar se utiliza para automatizar la comunicación bidireccional entre los proveedores de energía y los consumidores para gestionar y reducir el consumo de energía eléctrica en momentos de alta demanda o sobrecarga de la red para asegurar el equilibrio de la respuesta-demanda. Para ello, utiliza tecnología de comunicación estándar, como HTTPs y XML para el intercambio de información.

Su uso se puede extender a los Smart buildings que formen parte de las Smart grids para modificar la actividad de los sistemas de HVAC, iluminación, calderas, cargadores de vehículos eléctricos... Esto requiere una correcta comunicación entre el proveedor y el BMS del edificio para no alterar su correcto funcionamiento.

Ventajas OpenADR 	Desventajas OpenADR 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interoperabilidad con otros sistemas y aplicaciones gracias al uso de HTTPs y XML.</li> <li>• Reducción de los costos de producción y distribución de energía eléctrica.</li> <li>• Augmento de la eficiencia energética y reducción de emisiones contaminantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación costosa para los consumidores y proveedores que no tienen infraestructura de automatización previa.</li> <li>• OpenADR depende del correcto funcionamiento de la red eléctrica para la correcta capacidad de respuesta de demanda.</li> <li>• Puede verse afectada la privacidad y seguridad por la transmisión de información confidencial entre consumidores y proveedores.</li> </ul>

## Tabla resumen

Protocolo	Alcance [m]	Consumo	Frecuencia de transmisión	Velocidad de transmisión	Seguridad
5G	5	Bajo	0,7 - 3,5 - 26 GHz	Hasta 10 Gbps	Avanzada
LoRa	3 - 15	Muy bajo	863 - 870 MHz	0,3 - 5,5 kbps	Avanzada
Fibra Óptica	40	Medio	---	Hasta 10 Gbps	Avanzada

Tabla 3: Resumen de los protocolos de comunicación externa

## 5. CONCLUSIONES




En este documento se han presentado distintos protocolos de comunicación detallando sus requerimientos de conexión y sus rangos de cobertura. Se han descrito aquellos más conocidos e idóneos para la comunicación de los distintos sistemas que puedan formar parte un smart building. Sin embargo, existe un gran número de protocolos y estándares alternativos y su uso puede llegar a ser el adecuado en función de las especificaciones y características del proyecto.

Es importante recalcar que los valores numéricos presentados para los distintos protocolos pueden variar en función de la disposición del entorno o de los diferentes dispositivos, del fabricante o de posibles interferencias, entre otros muchos factores. Por esta razón, estos deben tomarse sólo como orientativos a la hora de escoger qué protocolo utilizar.

Se han presentado protocolos muy interesantes desde el punto de vista tecnológico. EnOcean propone el uso de sensores sin necesidad de baterías gracias a la alimentación mediante campos electromagnéticos, movimiento, diferencias de temperatura, entre otros. Por su parte, Li-Fi propone realizar la comunicación mediante el uso de luz (visible o no) del campo electromagnético en vez del de radiofrecuencia, muy susceptible a interferencias en determinados entornos. Esto permite comunicaciones mucho más rápidas y teóricamente más baratas. Sin embargo, estos se encuentran aún en fases de desarrollo y pruebas y no existe una implementación a gran escala en el mercado, con lo que pocos proveedores son compatibles con estas soluciones.

La elección de protocolo puede ir más allá de sus especificaciones técnicas. El proveedor, la comodidad de integración o coherencia con otros sistemas del edificio o la propia zona geográfica pueden ser factores con más peso a la hora de tomar una decisión.

### Protocolos de comunicación

 Comunicación inalámbrica interior	 Comunicación cableada interior	 Comunicaciones externas
Wi-Fi	BACnet	5G
Bluetooth	KNX	LoRa
Zigbee	LonWorks	Fibra óptica
Z-wave	DALI	OpenADR
EnOcean		
RFID		
Li-Fi		



## JG INGENIEROS, S.A

**JG** es una empresa de consultoría e ingeniería para edificios de alta complejidad, fundada en 1970 en Barcelona por Juan Gallostra Pedemonte. Cuenta con un equipo de 160 profesionales trabajando en oficinas ubicadas en España, Chile, Perú, Panamá y Marruecos.

La empresa desarrolla su actividad en cuatro áreas de negocio:



Proyectos completos de edificación.



Ingeniería de instalaciones técnicas.



Consultoría y soluciones digitales para contribuir al bienestar de las personas.



La mejora de la productividad y la sostenibilidad ambiental.

Además, JG Ingenieros es miembro fundador del **First Q Network**, red de ingenierías europeas de instalaciones, que tiene como objetivo desarrollar proyectos comunes a nivel europeo.

El conjunto de publicaciones agrupadas bajo el título *Smart Building Series* de JG Ingenieros parte del conocimiento del departamento de consultoría Smart Building de JG e incorpora las diferentes aportaciones y sensibilidades de las diferentes empresas y países del grupo de trabajo de Smart Building del First Q Network, en el cual JG participa de forma activa.

## REFERENCIAS



The Internet of Things: Catching up to an accelerating opportunity. McKinsey & Company.



The Bluetooth Low Energy Primer.



Bluetooth Mesh Models.



Introduction to Bluetooth Mesh Models. All About Circuits (2022).



Ultimate Network Comparison. Semtech.



How Dali Enables Efficient, Future-Proof Lighting Control Systems. White Paper. Dali Alliance.



DALI Quick Start Guide. Digital Illumination Interface Alliance (DiiA).



DALI Lighting Controls: Basic and Beyond. Lumos Controls.



Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective.



Evolution of Wireless Communication Technologies.



The Evolution of Wi-Fi networks: from IEEE 802.11 to Wi-Fi 6E.



IoT: Communication protocols and security threats.



What are LoRa® and LoRaWAN®? Semtech



A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™. Lora Alliance.



LoRa Technology - An Overview.



Li-Fi: An Overview, Part 1 - Purpose and Function.



A Review of LiFi Technology.



Introduction to BACnet for Building Owners and Engineers. Ccontrols.com



¿Qué es KNX? Asociación KNX España.



An Overview of 5G Technology.



Fundamentals of 5G mobile networks. Wiley.



An Overview of Optical Fibers.



BBVA Openmind: La convergencia del internet de las cosas y el 5G.



BACnet.org: BACnet – The new standard protocol.