

Guía Técnica de la Smart City desde el Alumbrado Exterior



Edita: Comité Español de Iluminación
© **Copyright de la edición:** Comité Español de Iluminación
Producción editorial: Editorial MIC · www.editorialmic.com
DL: LE 243-2018

Todos los derechos reservados.
Queda prohibida la reproducción total o parcial sin permiso expreso del Comité Español de Iluminación.

Guía Técnica de la Smart City desde el Alumbrado Exterior



Guía Técnica de la Smart City desde el Alumbrado Exterior

1 OBJETO, Y ALCANCE Y OPERATIVA	6
1.1 Introducción	6
1.2 Objeto	6
1.3 Alcance	7
1.4 Público objetivo del documento.....	7
1.5 Operativa.....	7
2 LEGISLACIÓN, NORMATIVA Y ESTÁNDARES EXISTENTES RELACIONADAS CON LA SMART CITY	8
2.1 Legislación.....	8
2.2 Normas UNE / ISO	8
2.3 Guías y Desarrollos	9
3 ¿COMO DESARROLLAR UNA SMART CITY DESDE EL ALUMBRADO?	10
3.1 ¿Qué es una Smart City?.....	10
3.2 La importancia de construir una Smart City liderada por un Técnico de alumbrado	10
3.3 Estrategia y objetivos	12
3.4 Punto de partida	13
3.5 Diagnóstico local.....	13
4 TIPOS DE ARQUITECTURAS SEGÚN EL TIPO DE CAPA	14
4.1 Capa de Hardware	15
4.1.1 Elemento - Luminaria (0,1,2,3)	15
4.1.2 Elemento - Centro de Mando/Cuadro (0,1,2,3)	19
4.2 Capa de comunicación	21
4.2.1 Nivel de gestión / acceso	21
4.2.2 Opciones de comunicación	22
4.3 Capa de Software.....	29
4.3.1 Modo de acceso	30
4.3.2 Funcionalidades principales.....	31
4.3.3 Interoperabilidad	31
5 OPERACIÓN Y GESTIÓN	34
5.1 Documentación y formación.....	34
5.2 Gestión del traspaso de información.....	34
5.3 Mantenimiento de equipos y plataformas	34
5.4 Operación de la red.....	35
6 CIBERSEGURIDAD	36
7 CONSIDERACIONES FINANCIERAS	38
7.1 Estructura de costes.....	38
7.2 Modelos de despliegue	38
7.3 Financiación.....	39
8 DEFINICIONES	40
9 BIBLIOGRAFÍA	43
10 CONCLUSIONES	44
11 PREGUNTAS FRECUENTES	45

1. Objeto, alcance y operativa

1.1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 60 años, el número de personas que viven en las ciudades ha aumentado drásticamente. En 2007, el mundo alcanzó un hito histórico cuando la cantidad de personas que vivían en las ciudades superó la cantidad de personas que vivían en el campo y, en 2019, esta cifra aumentó al 57%. Para 2050, se espera que más de dos tercios de la población mundial viva en áreas urbanas. Como resultado, las ciudades son cada vez *más grandes* y necesitan *una mejor gestión de los recursos*. El aumento natural de la población es el principal impulsor del crecimiento de las ciudades, aunque la migración del campo a la ciudad de personas que buscan trabajo y un nivel de vida más alto también es un factor importante. En este marco y gracias a las innovaciones tecnológicas surge el concepto de **Smart City** como una herramienta para conseguir ciudades más eficientes y sostenibles.

La Smart City o ciudad inteligente se define como un sistema holístico que interactúa con el capital humano y social utilizando soluciones basadas en las TIC. Su objetivo es lograr el desarrollo sostenible y la calidad de vida en la ciudad de forma eficiente, basándose en la cooperación entre distintos agentes articulados por la ciudad.

Las ciudades inteligentes pueden ofrecer beneficios importantes, que incluyen:

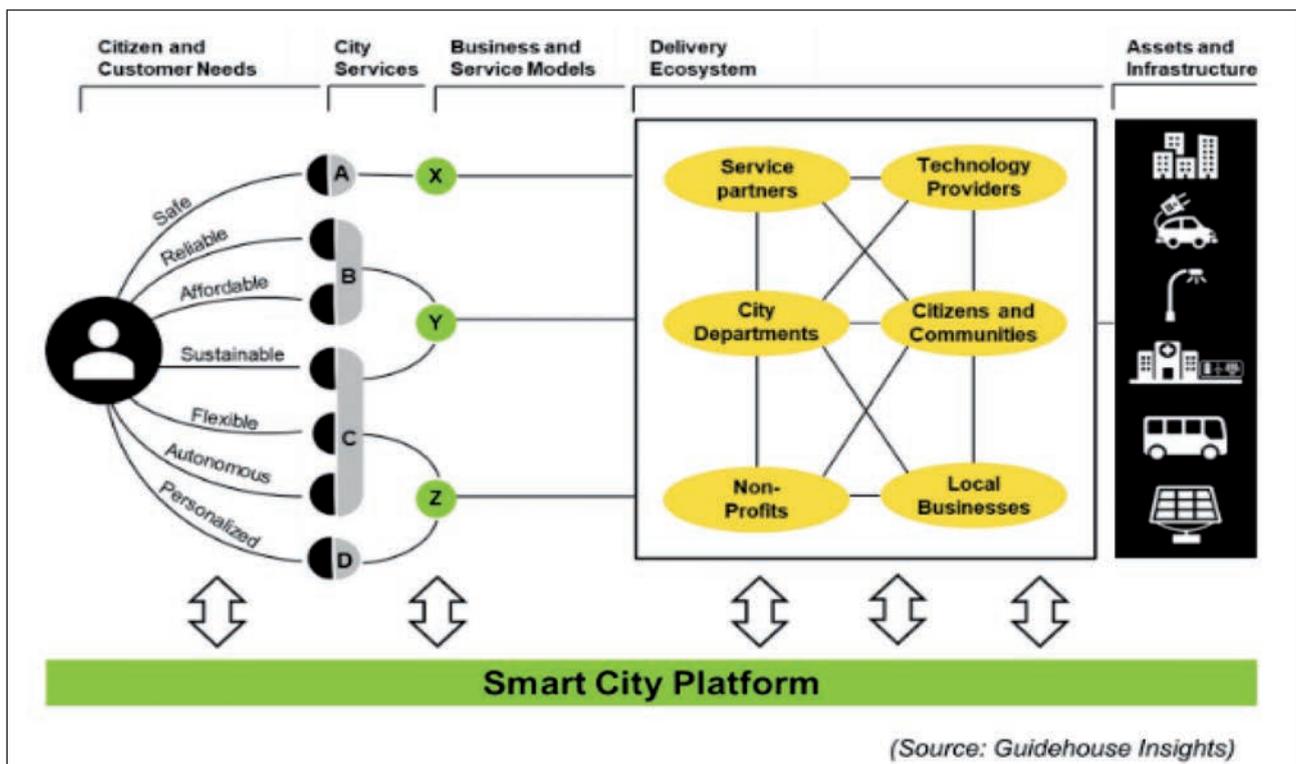
- Planificación y operaciones urbanas más eficientes
- Mejora de los servicios de la ciudad

- Mayor sensación de seguridad y protección
- Ahorros de energía significativos y costes reducidos
- Mayor potencial de sostenibilidad de la ciudad
- Permitir que la comunidad interactúe con los datos del Internet de las Cosas (*IoT*)

La red de alumbrado público constituye la única red pública y conectada de una población que cubre la totalidad o la práctica totalidad del territorio de esa población, por lo que las infraestructuras de alumbrado van a jugar un papel muy importante en el concepto de las Smart Cities.

1.2 OBJETO

La enorme variedad de sistemas de control y regulación, sistemas de transmisión de información, sensórica y sistema de gestión de la información basados en diferentes tecnologías y funciones hace que los técnicos encargados de desarrollar proyectos de iluminación exterior que quieren implementar estas soluciones no sepan cuál es mejor para su proyecto. Asimismo, en muchos casos, el desconocimiento real de las posibilidades técnicas, ventajas y limitaciones de cada tecnología, se traduce en la especificación de un sistema muy general en el que no se puede distinguir entre una solución tecnológica específica u otra similar. En otros casos, puede ocurrir que se acabe definiendo un sistema que, debido a los muchos requisitos que se le imponen, sea imposible de suministrar e implementar.



▲ (Fuente: Guidehouse Insights: "Smart Cities: Connected Public Spaces IoT Research Series 2019".)

Para lograr este objetivo, esta guía desarrolla los siguientes puntos:

1. Identificar las diferentes tecnologías disponibles en el mercado para sistemas de control y regulación, comunicación, sensórica y gestión de la información, aptas para su aplicación en la concepción de una Smart City, y sus características, funciones y beneficios clave.
2. Ayudar a decidir cuál es el sistema más adecuado y la tecnología para cada proyecto según las necesidades y requisitos que se deban cubrir.
3. Definición del proceso de selección de las distintas alternativas posibles.
4. Conocer la normativa y estándares vigentes hasta la fecha que se aplican a las Smart Cities y a los diferentes sistemas que puedan estar relacionados.

1.3 ALCANCE

El alcance de este documento es el de todas aquellas tecnologías, luminarias y sistemas vigentes hasta la fecha (enero de 2024) que se apliquen a la iluminación exterior y que se vayan a integrar en el ámbito de una Smart City (hardware y software). Cabe destacar que el avance de la tecnología puede provocar que sistemas, componentes o tecnología que actualmente son vigentes y operativos, puedan quedar obsoletos en pocos años, siendo necesaria su sustitución o adaptación a los nuevos estándares, por lo que es muy importante plantear su fácil actualización en la infraestructura de alumbrado sobre la que se integran.

1.4 PÚBLICO OBJETIVO DEL DOCUMENTO

Este documento está destinado a ayudar a los técnicos/as, o personas relacionadas con el desarrollo de los proyectos, a comprender los conceptos básicos de las Smart Cities y como la infraestructura de iluminación se integra en ellas, las tecnologías básicas disponibles en el mercado, comprender los pros y los contras de cada sistema o tecnología, y comprender las normativas que se deben cumplir. La aplicación, y por lo tanto la selección de los sistemas correctos para el proyecto, se basa en las necesidades de cada ciudad y en los requerimientos que se le vayan a exigir para cumplir con las necesidades previstas.

Ha sido diseñado como una herramienta de apoyo para diversos tipos de profesionales:

- Técnicos de todas las administraciones públicas responsables de las infraestructuras de alumbrado público.
- Técnicos o departamentos técnicos de estudios privados contratados para la realización de proyectos de alumbrado exterior de ciudades, poblaciones, urbanizaciones, etc.
- Empresas mantenedoras e instaladoras de alumbrado y empresas de servicios energéticos.
- Cualquier otra persona del ámbito del alumbrado público.

1.5 OPERATIVA

El documento gira alrededor de la tabla de soluciones, localizada en el apartado 4, y a partir de la misma se puede de forma interactiva buscar el apartado que explique cada subapartado escogido de tal manera que no es necesario leerse todas las posibles soluciones y al mismo tiempo está compuesto por temas generales que son importantes como son como por ejemplo la legislación, las posibles estructuras de costes, el mantenimiento necesario, la formación, etc.

2. Legislación, Normativa y estándares existentes relacionadas con la Smart City

Hoy en día no existe una legislación específica que regule de forma global los distintos aspectos técnicos que se incluyen en la definición, implantación y funcionamiento de una Smart City. No obstante, se puede encontrar legislación y normas que definen y especifican aspectos parciales de esta y que, por lo tanto, sí que es obligatorio su cumplimiento. También existen organizaciones que, desde distintos ámbitos, elaboran documentos de recomendaciones para la implantación y correcto funcionamiento de las Smart Cities. Esta guía forma parte de este último grupo.

A continuación, se enumeran algunas de estas normas y organización.

2.1 LEGISLACIÓN

Que tengan relación con el ámbito de la Smart City, existen diferentes legislaciones y normas que aplican y son de obligado cumplimiento a los diferentes componentes que pueden integrarse en la arquitectura de una Smart City. A continuación, se enumeran:

<p>Instalación de Alumbrado</p> <p>Reglamentos específicos como el REEAE, RD1890/2008 Reglamento de eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior, el cual ya tiene las primeras bases para que las instalaciones sean actualizables, mantenibles y escalables en función del tipo de Smart City que se quieran desarrollar, o el REBT; reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, tiene por objeto «establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión, con la finalidad de preservar la seguridad de las personas y los bienes, asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios y contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones. También el documento el documento: “Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior”, que, en sus continuas actualizaciones y aun no siendo, no es una legislación por sí sola, es una buena práctica muy extendida la cual también va evolucionando según está tendencia.</p>
<p>Directiva Radioeléctrica - Directiva RED 2014/53/EU</p> <p>https://avancedigital.mineco.gob.es/equipos-telecomunicacion/Documents/Directiva-RED.pdf</p> <p>Directiva centrada en equipos radioeléctricos los cuales cada vez serán más habituales en las Smart Cities ya sean montados en luminarias, como en el mobiliario urbano: respecto a la responsabilidad, diseño y las normativas que deben cumplir todos esos equipos para su correcta integración en el entorno.</p>
<p>Ciberseguridad - Directiva NIS2</p> <p>Directive on Security of Network and Information Systems (NIS 2): https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-directive-measures-high-common-level-cybersecurity-across-union</p> <p>Directiva promovida por los 27 estados miembros Es una revisión de la Directiva relativa a las redes y sistemas de información y que debe estar incorporada en todas las legislaciones nacionales a partir de octubre de 2024. La directiva revisada pretende defender mejor a las entidades esenciales frente a las vulnerabilidades de la cadena de suministro, los ataques de ransomware y otras ciberamenazas. Esta directiva es vital a la hora de implementar un sistema con seguridad.</p>

Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2018-16673>

Su literal: «la ley limitará el uso de la informática para garantizar el honor y la intimidad personal y familiar de los ciudadanos y el pleno ejercicio de sus derechos», lo explica por sí sólo.

Esta ley es vital tenerla en cuenta en el momento que ya no solo hablemos de controlar las instalaciones si no que se pueden aportar servicios en los que se encuentren involucradas personas y datos de estas.

2.2 NORMAS UNE / ISO

- **UNE 178201:2016**
Ciudades inteligentes. Definición, atributos y requisitos
- **UNE 178201-2** Sistemas de gestión de la Ciudad Inteligente e Indicadores de cuadros de mando
- **UNE 178104:2017**
Sistemas Integrales de Gestión de la Ciudad Inteligente. Requisitos de interoperabilidad para una Plataforma de Ciudad Inteligente.

<https://www.aenor.com/certificacion/administracion-publica>



Desarrollo económico. Ciudades inteligentes

- › **UNE 178501-2** Destino turístico inteligente
- › **UNE 178301** Open Data
- › **UNE 178303** Gestión de activos de la ciudad
- › **UNE 178201-2** Indicadores de gestión en base a cuadros de mando de gestión de ciudad
- › **UNE 166006** Vigilancia e inteligencia
- › **UNE 166002** Gestión de la I+D+i
- › **EA 0047** PYME innovadora
- › **ISO 55001** Gestión de activos
- › **ISO 41001** Gestión de Inmuebles
- › **UNE 66182** Gobierno municipal
- › **UNE 37120** Desarrollo sostenible en las ciudades

UNE. CTN 178 - Ciudades inteligentes
El comité CTN 178 de Ciudades Inteligentes es quien se encarga de la normalización de los requisitos, directrices, técnicas, indicadores y herramientas que contribuyan al desarrollo de las comunidades hacia comunidades inteligentes, cubriendo el concepto de comunidad a cualquier unidad finita de una entidad local.
ISO/TC 268. Ciudades y comunidades sostenibles.
El objetivo de este comité técnico es el desarrollo de requisitos, marcos de trabajo, orientación técnica y herramientas de apoyo para ayudar a todas las ciudades y comunidades a ser más sostenibles.
SyC Smart Cities. Aspectos electrotécnicos de las Smart Cities.
Su objetivo es fomentar el desarrollo de estándares en el campo de la electrotecnia para ayudar a la integración, interoperabilidad y eficacia de los sistemas urbanos.
CEN/CLC/ETSI/SF-SSCC. Foro sectorial. Ciudades y comunidades inteligentes y sostenibles.
Su objetivo es servir de enlace entre organizaciones, analizar y recomendar normas para su desarrollo por parte de CEN, el CE-NELEC y el ETSI, organizar eventos, asesorar partes interesadas informar de avances legislativos y finalmente proponer acciones para sensibilizar a los organismos europeos.
CEN/TC 465. Ciudades y comunidades sostenibles e inteligentes.
Estandarización en el campo de las ciudades y comunidades sostenibles, que abarca el desarrollo de requisitos, marcos, orientación y herramientas y técnicas de apoyo.
CEN/WS SCS. Descripción y evaluación de buenas prácticas para soluciones de ciudad inteligente.
Este grupo de trabajo está desarrollando un acuerdo marco que defina los requisitos para describir y evaluar las buenas prácticas de Smart City Solutions. Este documento servirá de apoyo para la toma de decisiones de las partes interesadas de las Smart Cities (municipios, empresas de servicios municipales, inversores y órganos políticos).

ISO/CEI 30182. Modelo de concepto de ciudad inteligente – Orientación para establecer un modelo de interoperabilidad de datos.

Describe y brinda orientación sobre un modelo de concepto de ciudad inteligente (SCCM) que puede proporcionar la base de la interoperabilidad entre sistemas de componentes de una ciudad inteligente, al alinear las metodologías de uso en diferentes sectores.

2.3 GUÍAS, DESARROLLOS

Aunque no legislan directamente, sí que se han hecho esfuerzos por dar a conocer la Smart City que pueden ser un buen punto de inicio:

Plan Nacional de Ciudades Inteligentes
<https://plantl.mineco.gob.es/planes-actuaciones/Paginas/plan-nacional-ciudades-inteligentes.aspx>

Plan Nacional de Territorios Inteligentes:
https://avancedigital.mineco.gob.es/es-es/Novedades/Documents/Plan_Nacional_Territorios_Inteligentes.pdf

Agenda Digital Española:
<https://espanadigital.gob.es/>

En resumen, podemos considerar que la falta de marco jurídico completo actual no es un impedimento para impulsar proyectos de Smart Cities. A medida que vayan apareciendo nuevas normas, directivas, etc se irán actualizando en este documento.

Por otro lado, una vez analizado a primer nivel si entramos a nivel de componentes, luminarias, etc. se pueden citar diferentes estándares de asociaciones y grupos globales de estandarización, a nivel mundial, de entidad privada, que se encuentran explicados en el documento como son; Zhaga, Nema, Dali, D4i, etc. y que son utilizados por todo el sector.

3. ¿Como desarrollar una Smart City desde el alumbrado?

3.1 QUÉ ES UNA SMART CITY

Una posible definición de Smart City sería aquella ciudad capaz de utilizar la tecnología de la información y comunicación (TIC), con una visión holística, con el objetivo de crear mejores infraestructuras para los ciudadanos, o lo que es lo mismo, poner la tecnología disponible al servicio del ciudadano. Desde transporte público, pasando por ahorro energético, sostenibilidad o eficiencia en todos sus aspectos.

En definitiva, es la combinación de personas, tecnología y creatividad para hacer más sostenible y eficiente a cualquier ciudad del mundo. De alguna manera, las smart cities dotan a los ciudadanos de herramientas para que aporten mayor valor a la ciudad.

Los expertos destacan cuatro fases en la evolución hacia una smart city que no tienen por qué seguirse en un orden secuencial:

- **Vertical**, en la que se dota a los servicios urbanos de tecnología para mejorar su gestión.
- **Horizontal**, en la que se desarrolla una plataforma de gestión transversal de los diferentes servicios.
- **Conectada**, en la que se interconectan y comienzan a interoperar los diferentes servicios verticales o sectoriales a través de una plataforma de gestión.
- **Inteligente**, donde se gestiona la ciudad de forma integrada y en tiempo real y se genera un ecosistema basado en la inteligencia compartida entre todos los agentes

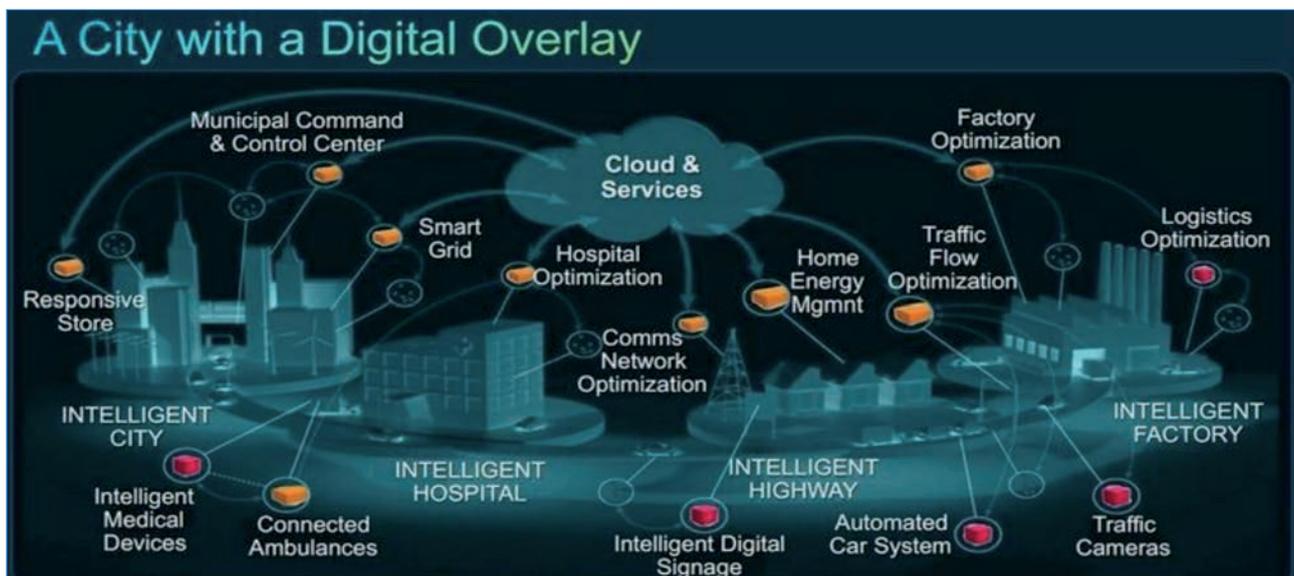
3.2 LA IMPORTANCIA DE CONSTRUIR UNA SMART CITY LIDERADA POR UN TÉCNICO DE ALUMBRADO

Si existe un servicio en la ciudad que es vital para el desarrollo hacia una Smart city, ese es el de alumbrado, y todos los expertos coinciden en ponerle como el servicio inicial a tratar para una Smart city por su topología y funcionalidad. Las soluciones inteligentes de alumbrado público permiten la supervisión, el control y la gestión remota de las redes de alumbrado público.

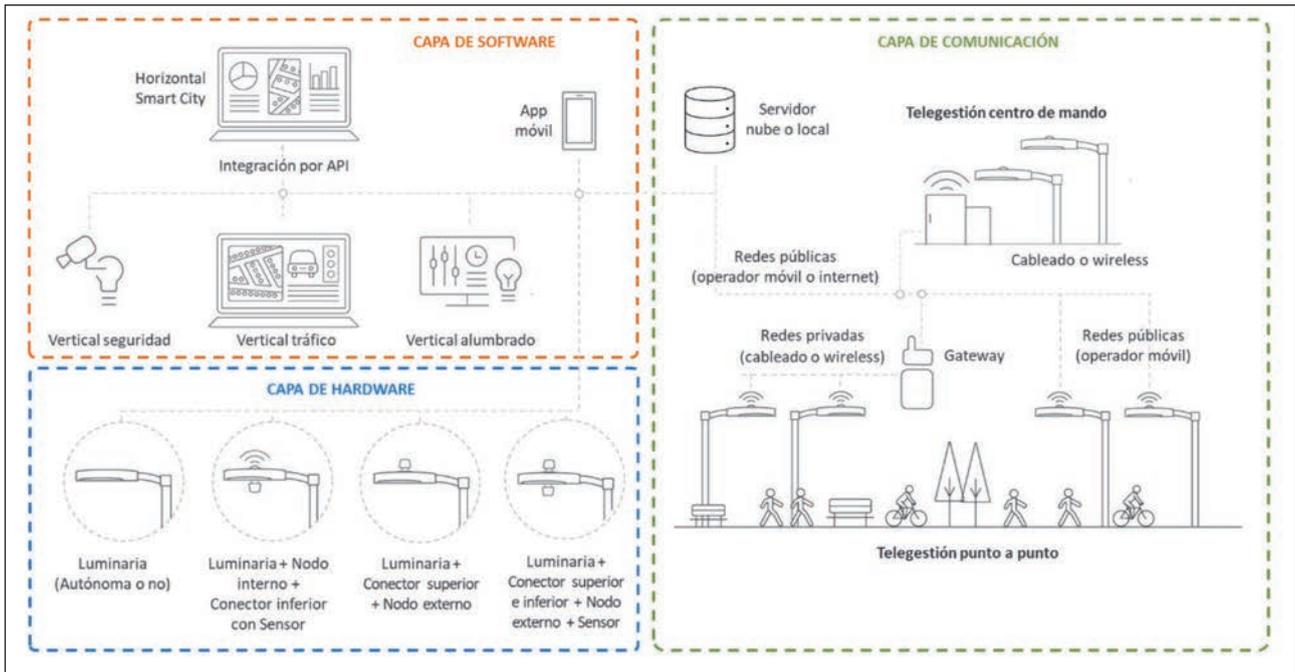
Según el informe de **Berg insight “Connected public spaces”** a finales de 2020, la base instalada mundial de puntos de luz inteligentes controlados individualmente ascendió a 13,0 millones de unidades (excluyendo China). Creciendo a una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) del 23,4 por ciento, se espera que el número alcance los 37,4 millones en 2025. Europa es la zona geográfica que más avanza, representando más del 40 por ciento de la base instalada mundial.

Otra publicación como Guidehouse Insights prevé un crecimiento anual de instalación de luminarias smart de 5.8 millones de unidades en 2022 a 33.5 millones por 2031. Esto representa un crecimiento anual (CAGR) del 21.6%. (Market Data: Smart Streetlighting (guidehouseinsights.com))

Esto demuestra que el inicio para la construcción de una Smart city parte desde la red de alumbrado, que se distribuye a lo largo de toda la ciudad de manera uniforme, abarca todo su territorio, y que está en creciente innovación tecnológica con posibilidad de incluir nodos de comunicación en ella y sensorización para otros servicios.



▲ Una ciudad que hace uso de las TIC para la gestión eficiente de su complejidad y su prestación de servicios (Fuente: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/27/9d/a7/279da792f47931195932654e2f051574.jpg>)



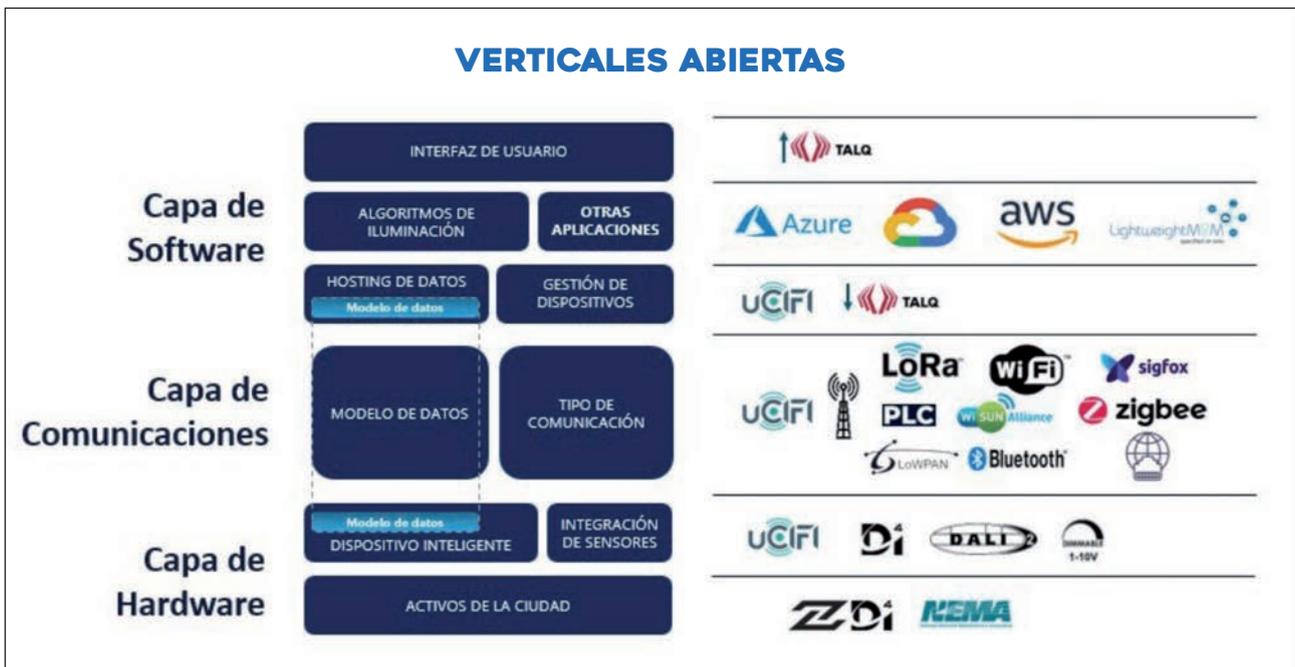
▲ (Fuente: Signify Una ciudad que hace uso de las TIC para la gestión eficiente de su complejidad y su prestación de servicios)

Para garantizar el éxito de la Smart City, es imprescindible que la vertical de alumbrado en su diseño inicial, se base siempre en soluciones robustas, escalables e interoperables en su conjunto, para que pueda interactuar con otras verticales y crear sinergias beneficiosas para los ciudadanos. Es recomendable antes de comenzar la construcción de una Smart city, el realizar una reflexión sobre las necesidades de la ciudad y las posibles aplicaciones que queremos realizar tanto en el entorno Smart City, como en la vertical de alumbrado en particular. El alumbrado en una ciudad inteligente es una de las verticales más importantes, pero tiene muchas similitudes con otras.

En líneas generales, la arquitectura de cualquier vertical en sí misma en una ciudad inteligente está compuesta por tres capas principales:

1. Capa Física o de Hardware
2. Capa de comunicaciones o de red.
3. Capa de Software o aplicaciones

Esta imagen representa por capa algunos de los estándares del mercado hoy en día, sin dejar de lado que pueden existir otros igualmente válidos, que aparezcan o desaparezcan ya que es un mercado en continua evolución.



▲ (Fuente: Schröder)

3.3 ESTRATEGIA Y OBJETIVOS

Estrategia Smart City

El primer paso para abordar el desarrollo de servicios públicos inteligentes es la elaboración de una estrategia holística integrada, la cual delinea las prioridades y acciones que deben realizar las distintas áreas municipales¹. Para ello, se contemplan las siguientes acciones²:

- Análisis de los objetivos estratégicos del territorio y los objetivos operativos de las áreas de gestión.
- Definir el modelo o esquema conceptual que dé una respuesta satisfactoria a las aspiraciones como *smart city*.
- Mapa de prioridades, estableciendo las áreas de aplicación del modelo *smart city* y sus sub-áreas, así como sus respectivos indicadores de medición de ejecución (KPI).

El alumbrado público es un servicio público esencial³. Además, en el caso que nos ocupa, se contempla que desde esta infraestructura se realice el despliegue de una nueva infraestructura “inteligente” que sirva de base o complemento para el desarrollo de otros servicios públicos o privados. No obstante, en ocasiones la propia incorporación tecnológica se prioriza por encima de los objetivos y funcionalidades reales que debe proveer la instalación, olvidándonos de las funcionalidades básicas y primarias del alumbrado público. Por ello, es importante recalcar que el alumbrado debe ser siempre considerada una infraestructura “crítica”, tanto para el propio servicio de alumbrado como el resto de los servicios que puedan verse involucrados en el despliegue *smart city*.

Por otra parte, en cuanto a las capas de conectividad y software, siguiendo un enfoque práctico de los casos de éxito hasta la fecha, es positivo considerarlo como un concepto “paraguas” en el que convivan diferentes soluciones tecnológicas más o menos dedicadas a los casos de uso que el municipio quiera abordar. Habitualmente dicho sistema operativo de una *Smart city* no es una única solución tecnológica, sino más bien una arquitectura que reúne los diversos sistemas que posibilitan la ciudad moderna⁴.

Estrategia Smart Lighting

El despliegue de la *smart city* desde el alumbrado va a suponer, con casi total seguridad, la modificación o adaptación de la infraestructura de alumbrado existente para incorporar las tecnologías que lo transformen en un alumbrado inteligente o *smart lighting*.

Entre las principales razones por las que el alumbrado inteligente es relevante y hacia donde enfoca sus objetivos, destacan las siguientes⁵:

- Sostenibilidad medioambiental:
 - ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂,
 - reducción de la contaminación lumínica,
 - protección del medio natural.
- Gestión y activos del mantenimiento:
 - aumento de la eficiencia y reducción de costes,
 - optimización de inventario de las instalaciones,
 - extensión de la vida de las luminarias.
- Sostenibilidad social:
 - aumento de la sensación de seguridad,
 - mejorar la accesibilidad de espacios públicos,
 - transparencia en la gestión,
 - participación ciudadana.
- Nuevas funcionalidades:
 - promover la identidad y la cultura (activando diferentes escenas temporalmente),
 - apoyo en la respuesta ante emergencias,
 - apoyar alternativas de movilidad.
- Crecimiento organizacional:
 - conexión con otras verticales,
 - liderazgo sobre el despliegue de la estrategia *smart city*,
 - uso de datos para toma de decisiones y nuevas iniciativas.

1. Guía de Buenas Prácticas sobre Smart City para Pequeños y Medianos Municipios. Diputación de Granada. 2018.

2. Estudio y Guía Metodológica sobre Ciudades Inteligentes. MITECO. Noviembre 2015.

3. Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

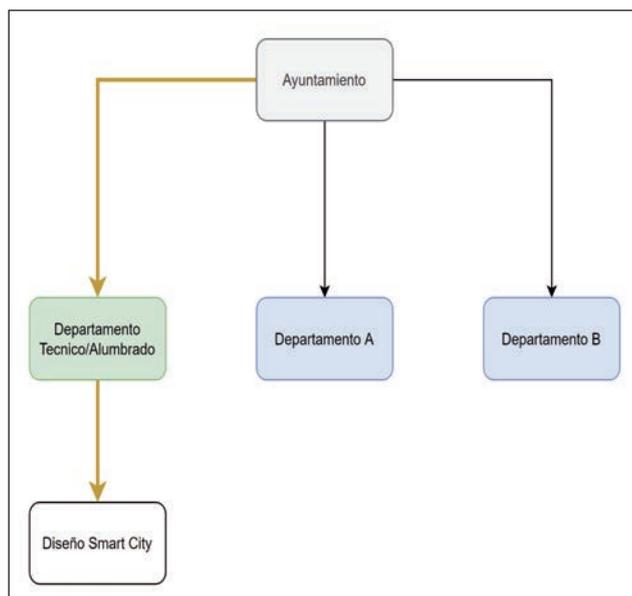
4. Ecosystem Strategy for Smart Cities: Making Platform Strategies Work. Guidehouse Insights. 2021.

5. A Cities' guide to Smart Lighting. LUCI Association. 2021.

3.4 PUNTO DE PARTIDA

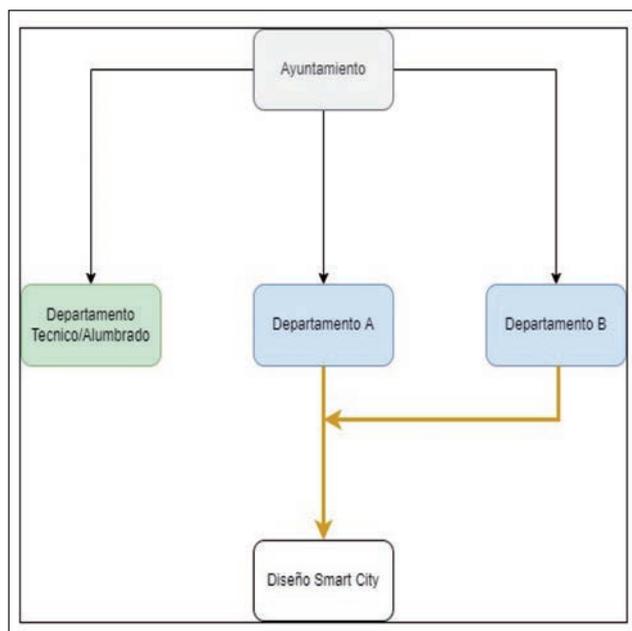
Generalmente se pueden dar dos situaciones como punto de partida hacia el diseño de una Smart City:

1. En este caso, la decisión de comenzar con una Smart City parte del Gestor de alumbrado de la ciudad. Es el que tiene la inquietud, y el que lidera el camino hacia la Smart City mediante soluciones tecnológicas implementadas en la red de Alumbrado.



▲ (Fuente: CEI)

2. En este segundo caso, las decisiones parten de otras áreas del ayuntamiento y condicionan al Gestor del alumbrado hacia la implementación de un Smart Lighting. En este caso muchas más áreas del ayuntamiento entrarán dentro de este sistema con tal de compartir información, etc.



▲ (Fuente: CEI)

3.5 DIAGNÓSTICO LOCAL

Tras la planificación estratégica y punto de partida se debe evaluar el estado actual de desarrollo de los servicios e infraestructuras que la componen.

Infraestructura de alumbrado público: ⁶análisis de situación actual que permite conocer el funcionamiento y las prestaciones luminotécnicas de unas instalaciones de alumbrado, el estado de la red eléctrica, sus componentes, sus sistemas de regulación, control y seguridad, sus consumos energéticos y sus costes de explotación, con el objetivo de:

- Adecuar y adaptar estas instalaciones a la normativa vigente.
- Mejorar la gestión, la eficiencia y el ahorro energético de estas instalaciones.
- Limitar el resplandor luminoso, su contaminación lumínica y minimizar la luz intrusa.

Infraestructura de conectividad: es un elemento fundamental para aportar inteligencia a los servicios urbanos. Varios de los aspectos cruciales que se deben evaluar son:

- Redes de comunicación existentes (tanto redes locales privadas del propio ayuntamiento, como redes públicas gestionadas por los operadores móviles): tipo de red, ubicación de antenas, cobertura, ancho de banda o tasas de transferencia de datos, velocidad de respuesta (latencia), interferencias con otros servicios (inhibidores RF, conformidad con Directiva RED), protocolos y estándares involucrados, dispositivos conectados en la actualidad y escalabilidad (requisitos para conectar dispositivos adicionales), etc.
- Otros dispositivos de la infraestructura: servidores, gateways, switches, cableados, etc.
- Necesidades energéticas actuales y futuras al añadir nuevos dispositivos. Uno de los puntos críticos en el proceso es decidir si la infraestructura de alumbrado debe estar en tensión durante las 24 horas para otros servicios (sensores, comunicación, etc.) o **únicamente** en los horarios de uso del alumbrado.

Infraestructura de software: se deben inventariar todas las aplicaciones existentes que se usan para interactuar con las infraestructuras, en especial las de configuración, instalación, mantenimiento, análisis, monitorización y control del alumbrado público.

Entre ellas:

- Servidores de almacenamiento de la propia aplicación, locales o en la nube.
- Modelo software-como-servicio (SaaS) o de licencia con/sin mantenimiento.
- Desarrollos de ciberseguridad, privacidad, actualizaciones, interoperabilidad y API de integración con otras aplicaciones.
- Aplicaciones o plataformas de datos y funcionalidades (captación, almacenamiento, procesamiento, analítica, etc.)

6. Protocolo IDAE-CEI de auditoría técnica de instalaciones de alumbrado exterior. 2020.

4. Tipos de arquitecturas según el tipo de capa

En el siguiente apartado se definen las principales combinaciones entre las tres capas del Smart Lighting: hardware o dispositivos, red o comunicaciones, y software o aplicaciones. Se ha tratado de cubrir todas las posibles alternativas, aunque desde un punto de vista genérico.

En la siguiente tabla se presentan dichas combinaciones, diferenciadas entre los dos principales elementos de actuación del alumbrado:

do: luminarias y centros de mando. A su vez, se definen los niveles 0, 1, 2 y 3, que hacen referencia al nivel de automatización o funcionalidades que permiten los dispositivos. Ver tabla en el apartado 4.

- Nivel 0: ningún nivel de automatización.
- Nivel 1: mínimo nivel de automatización
- Nivel 2: nivel de automatización medio
- Nivel 3: nivel de automatización máximo

La tabla se interpreta de arriba abajo y de izquierda a derecha.

CAPA DE HARDWARE			CAPA DE COMUNICACIÓN		CAPA DE SOFTWARE			TIPO DE ARQUITECTURA
ELEMENTO	ARQUITECTURA	INTERFAZ DE CONEXIÓN (puede tener ninguno, uno o varios)	NIVEL DE GESTIÓN	OPCIONES DE COMUNICACIÓN (puede tener ninguno, uno o varios)	MODO DE ACCESO	FUNCIONALIDADES PRINCIPALES	INTEROPERABILIDAD	NIVEL
LUMINARIA	Luminaria No autónoma (sin curva de regulación programada)	Ninguno	Local (NO conectividad externa)	Ninguna	No aplica (SI conectividad externa)	No aplica (SI conectividad externa)	No aplica (SI conectividad externa)	0
	Luminaria autónoma (con curva de regulación programada)	Conector Zhaga y/o NEMA						Cableada: Regulador Estabilizador de Flujo Cabecera, PIC, Pulsos, DMX, DALI Inalámbrica: Bluetooth, NFC, RFID
		Interna en el driver	Dispositivo adicional	2				
Luminaria (autónoma o no) + Nodo y/o Sensor/es	Interna o Conector/es Zhaga y/o NEMA	Remota (SI conectividad externa)		En el Nodo y/o Sensor: cualquiera de tipo inalámbrica (dependiendo de capacidad con o sin Gateway).	Instalación Remota: mediante las anteriores y además acceso web	Las anteriores y además: Funcionalidades de gestión: alarmas, calendario, lectura de propiedades, etc.	A través de API estandarizada o personalizada	3
CENTRO DE MANDO	Cuadro + Fotocélula y/o Astronómica y/o Controlador	Local (NO conectividad externa)	Local (NO conectividad externa)	Ninguna (únicamente encender/apagar las líneas y/o los circuitos por contactores).	Instalación Local: mediante App móvil (USB, NFC, Bluetooth, lector código QR/ barras)	Lectura - escritura (configuración, reprogramación)	No aplica (NO conectividad externa)	0
	Cuadro + Controlador y/o Regulador Estabilizador de Flujo Cabecera	Local (NO conectividad externa)	Local (NO conectividad externa)	Cableada: Regulador Estabilizador de Flujo Cabecera, PIC, Pulsos, DMX, DALI Inalámbrica: Bluetooth, NFC, RFID	PC portátil (los anteriores y además: Ethernet, RS485)			1
	Cuadro + Controlador + Gateway (componente externo o integrado en controlador)	Local (NO conectividad externa)	Local (NO conectividad externa)	Cableada: igual que la anterior	Instalación Remota: mediante las anteriores y además acceso web	Las anteriores, y además: Funcionalidades de gestión: alarmas, calendario, lectura de propiedades, etc.	A través de API estandarizada o personalizada	2
	Cuadro + Controlador + Gateway + Router/SIM (componente externo o integrado en controlador)	Remota (SI conectividad externa)	Remota (SI conectividad externa)	Cableada: igual que la anterior Inalámbrica: cualquiera de tipo inalámbrica (dependiendo de capacidad del Gateway o Router).	Instalación Remota: mediante las anteriores y además acceso web	3		

EJEMPLOS DE USO DE LA TABLA

La tabla se divide en Luminaria o Centro de mando, en función del elemento Hardware que se quiera clasificar. Se interpreta de izquierda a derecha en función de las necesidades del usuario y de la instalación y de su propia gestión y/o control.

A continuación se presentan algunos casos habituales como ejemplo:

¿Cómo clasificaríamos en la tabla una Luminaria con Telegestión punto a punto? La luminaria vendría equipada con conector Zhaga (ZD4i) y nodo con conexión a la capa de comunicaciones por medio inalámbrico (varios protocolos posibles) y acceso remoto desde internet a través de una plataforma

TIPO DE ELEMENTO	TIPO DE COMUNICACIÓN	NIVEL DE GESTIÓN	OPCIONES DE COMUNICACIÓN	MODO DE ACCESO	FUNCIONALIDADES PRINCIPALES	INTEROPERABILIDAD	NIVEL
Luminaria	Conector Zhaga y/o NEMA	Local	Ninguna	No aplica	No aplica	No aplica	0
Luminaria	Conector Zhaga y/o NEMA	Local	Cableada	Instalación Local	Lectura/Escritura	No aplica	1
Luminaria	Conector Zhaga y/o NEMA	Local	Inalámbrica	Instalación Local	Lectura/Escritura	No aplica	1
Luminaria	Conector Zhaga y/o NEMA	Remota	En el Nodo y/o Sensor	Instalación Remota	Lectura/Escritura	API	3

¿Cómo clasificaríamos en la tabla un Centro de Mando Telegestionado? El Centro de mando dispone de un controlador del cuadro eléctrico con distintas posibilidades de gestión eléctrica y acceso remoto desde internet a través de una plataforma software de gestión.

TIPO DE ELEMENTO	TIPO DE COMUNICACIÓN	NIVEL DE GESTIÓN	OPCIONES DE COMUNICACIÓN	MODO DE ACCESO	FUNCIONALIDADES PRINCIPALES	INTEROPERABILIDAD	NIVEL
Centro de Mando	Conector Zhaga y/o NEMA	Local	Ninguna	Instalación Local	Lectura - escritura	No aplica	0
Centro de Mando	Conector Zhaga y/o NEMA	Local	Cableada	PC portátil	Lectura - escritura	No aplica	1
Centro de Mando	Conector Zhaga y/o NEMA	Local	Inalámbrica	PC portátil	Lectura - escritura	No aplica	1
Centro de Mando	Conector Zhaga y/o NEMA	Remota	En el Nodo y/o Sensor	Instalación Remota	Lectura - escritura	API	3

Por último, cabe resaltar, que es posible que una necesidad o funcionalidad requerida implique una solución tecnológica que nos lleve a una arquitectura combinada de Luminaria y Centro de mando. Por ejemplo, un Centro de mando telegestionado desde donde se puedan cambiar los perfiles de regulación de las Luminarias.

RED DE ALUMBRADO EN LA SMART CITY

En la siguiente tabla se presentan las posibles soluciones que la red de alumbrado puede ofrecer tecnológicamente para el diseño de una Smart city partiendo desde el servicio de alumbrado.

En ella se presentan todas las posibilidades divididas en tres capas principales:

Capa de Hardware:

En esta capa se presentan las diferentes opciones de dispositivos Hardware (Luminarias, Centros de mando) con sus diferentes accesorios de elementos de control y comunicación así como sensorización.

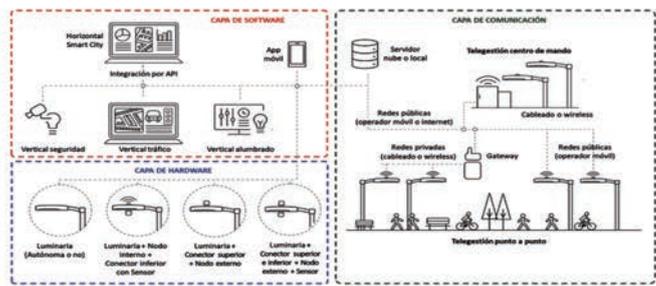
Capa de Comunicaciones:

En esta capa se exponen los niveles de gestión, entendiendo por este concepto si el Hardware se puede comunicar de forma local o remota (in situ si requiere presencia física en la instalación o a través de internet) y las opciones de comunicación que engloban tanto el medio físico (tanto cableada como wireless), como el protocolo de comunicación utilizado (que pueden ser varios).

Capa de Software:

En esta capa se definen tanto los posibles métodos de acceso a la plataforma Software de gestión, así como sus funcionalidades y la interoperabilidad con otros Softwares.

Todo ello en función de las posibilidades tecnológicas que disponemos hoy en día más habituales dadas en el mercado, y los diferentes niveles de precisión que queramos ofrecer a la arquitectura, dando como resultado las diferentes arquitecturas posibles en 4 niveles (0-3) en función de su complejidad.



4.1 CAPA DE HARDWARE

Esta capa es la física, en la que están todos los posibles elementos físicos que pueden encontrarse en la ciudad, necesarios para un buen funcionamiento. Es la capa más “tonta”, ya que únicamente dispones de elementos que se comunican hacia arriba y que envían y reciben datos del software seleccionado.

Hemos agrupado estos elementos en dos grandes grupos: los elementos asociados a la luminaria y los elementos asociados al cuadro de distribución eléctrico.

4.1.1 Elemento - Luminaria

Los elementos asociados a la luminaria pueden apostar niveles de operatividad 0,1,2 y 3

Desde las antiguas lámparas de halogenuros metálicos y vapor de sodio hasta las actuales lámparas de LEDs hay un amplio recorrido. La implantación del LED como tecnología que proporciona grandes ahorros energéticos ha hecho que se imponga en el sector del alumbrado. Por otra parte, su versatilidad para configurar diferentes potencias, formas y colores han ayudado a que se produzca rápidamente. Otra de las ventajas es la durabilidad difícilmente superable por otras tecnologías.

Según el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior, podemos disponer de luminarias en instalaciones de tipo funcional o ambiental, distribuyéndose por tanto en luminarias funcionales, decorativas, faroles o proyectores, tal y como se detalla en el documento de Requisitos mínimos exigibles para luminarias LED publicado por el CEI-IDAE.

Sea cual sea la tipología de la luminaria y su fin, lo más habitual es que disponga de un driver para el correcto funcionamiento de los LEDs y su integración en el sistema de gestión y control que se quiera utilizar.

Los equipos dedicados a alimentar y gestionar los módulos LED, drivers, en muchos casos están dotados de características a tener en cuenta. La regulación automática de flujo a lo largo de la noche, o la reducción inicial del nivel y en consecuencia del consumo para compensar el factor de mantenimiento, son prestaciones que aportan valor de ahorro y están implícitas en muchos modelos.

También pueden aportar entradas de comunicación y regulación mediante los protocolos de comunicación DALI/DALI2 o 0/1-10V, pueden aceptar el uso de reguladores de tensión en cabecera y pueden aceptar otros medios de comunicación como sistemas NFC (Comunicación de campo cercano), RFID, PLC (Comunicación a través de la línea de potencia) y Bluetooth.

Independientemente de la tipología ¿de comunicaciones? es conveniente tener en cuenta la integración en las luminarias de sistemas auxiliares de control y comunicación (mediante nodos y/o sensores). En esta integración hay que considerar también su conexión mediante los dos estándares de conectores imperantes que habilitan esta convivencia. Son conectores

que se montan de fábrica en la envolvente de la luminaria para poder conectar externamente dispositivos a las luminarias, ya sean nodos o sensores principalmente, y están destinados a la iluminación inteligente del alumbrado público.

4.1.1.1 Luminaria No autónoma (sin curva de regulación programada)

Arquitectura

Una luminaria de alumbrado público sin regulación autónoma es un dispositivo de iluminación utilizado en espacios públicos, como calles, carreteras, parques y plazas, que no tiene la capacidad de ajustar automáticamente su nivel de luminosidad en función de las condiciones ambientales o la hora del día. En otras palabras, estas luminarias no cuentan con sensores o sistemas de control que les permitan adaptar la intensidad de la luz que emiten.

En lugar de la regulación autónoma, estas luminarias suelen operar con un encendido y apagado manual o programado según un horario preestablecido. Por lo tanto, su iluminación permanece constante a lo largo de la noche y no se ajusta para ahorrar energía en momentos de menor tráfico o cuando hay suficiente luz natural.

Este tipo de luminarias de alumbrado público se utiliza en áreas donde no es necesario un control de iluminación sofisticado y se puede mantener una iluminación constante durante todo el período de operación. Flujo Fijo.

Interfaz de Conexión (conector)

Tenemos hasta dos tipos de conectores; Zhaga libro 18 y Nema que además ambos pueden coexistir según las últimas versiones.



▲ (Fuente: Zhaga Consortium Libro 18.)

Zhaga: conector de baja tensión en corriente continua, que combina las especificaciones de conectividad para exteriores del Libro 18 versión 3 o posteriores del consorcio Zhaga, con las especificaciones de la DaliAlliance (DiiA) para el protocolo DALI2 intralumina. En el caso de montar un conector zhaga y un driver D4i, se puede certificar la Luminaria como ZD4i.

Zhaga-D4i es una certificación de DALI Alliance y Zhaga que asegura la conectividad física mediante una arquitectura probada, que indica la interoperabilidad plug-and-play a través de un conector de bajo voltaje entre nodos de comunicación Drivers, sensores, y luminarias en su conjunto. El ecosistema de productos de iluminación Zhaga-D4i convierte a las luminarias LED en inteligentes y preparadas para el futuro con conectividad IoT.

La certificación D4i expedida por el DiiA, Alianza para la Interfaz de DALI (Digital Adressable Lighting Interfaz) en Iluminación, estandariza y asegura la compatibilidad entre las luminarias equipadas con estos drivers y los dispositivos de control asociados.

DALI-2 D4i Driver		Otorgado por DiiA como parte de la certificación DALI-2 y publicado en bdd de producto
Zhaga-D4i Nodo		Otorgado por DiiA Otorgado por Zhaga
Zhaga-D4i Luminaria		Otorgado por Zhaga, publicado en bdd de producto

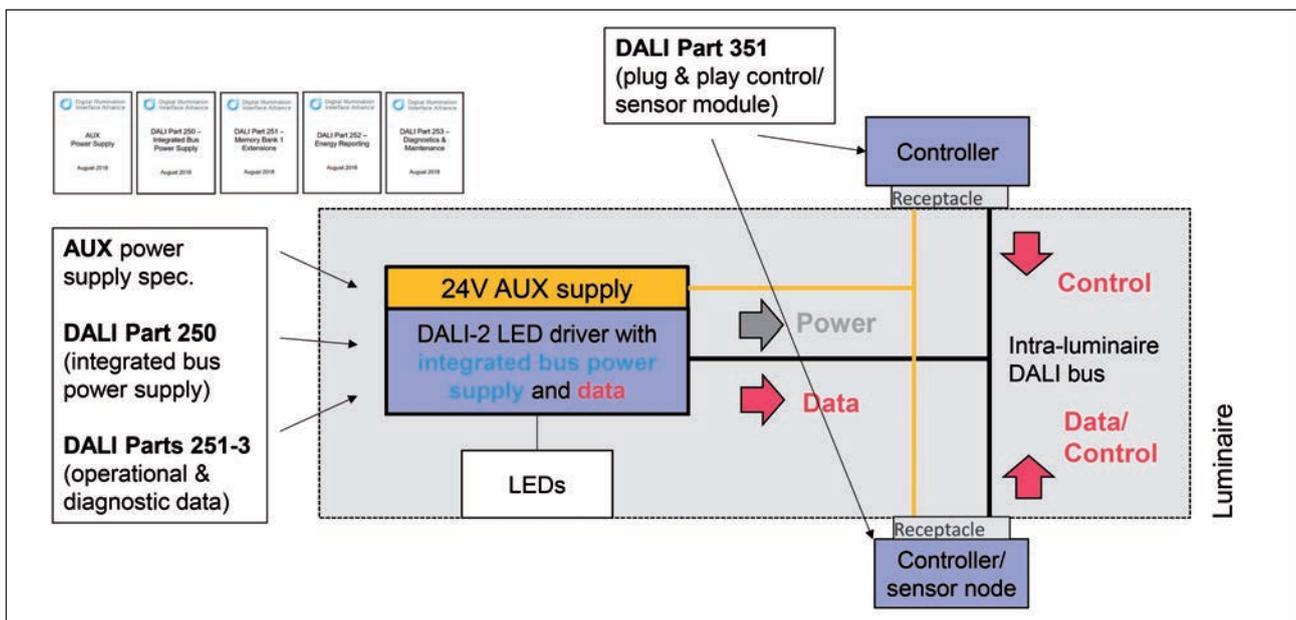
▲ (Fuente: Zhaga Consortium.)



▲ (Fuente: Base Zhaga TE Connectivity.)

Esta certificación cubre todas las características y funciones críticas, como la adecuación mecánica, la comunicación digital, la generación de informes de datos y los requisitos de alimentación dentro de una sola luminaria, garantizando una interoperabilidad plug&play de las luminarias y de sensores que pueden ser integrados en la misma luminaria bajo estos mismos conectores.

ZD4i habilita e la compatibilidad entre nodos y luminarias. Esto permite la instalación rápida y sin herramientas de un controlador ZD4i en una luminaria de alumbrado público con conector ZD4i. El conector cuenta con 4 pines dedicados a facilitar tanto la alimentación DC del controlador como la comunicación con el driver de la luminaria.



▲ (Fuente: DALI Alliance Gráfico explicativo – Explicación protocolo DALI 2 para ser D4i)

Tipo Nema: Conector de tensión directa a red eléctrica de 230V y 50 Hz, que conforme a la norma ANSI C136.41, proporciona una conexión entre el Driver de la luminaria y el nodo de control y comunicación. Este conector permite así mismo el uso de sensores de luz natural o fotocélulas que regulan el encendido o apagado de luminarias en redes no dedicadas al alumbrado o el uso de nodos de control y comunicación para la gestión remota del alumbrado y garantizando la interoperabilidad plug&play de las luminarias (drivers) y de sensores que pueden ser integrados en la misma luminaria de manera mecánica en conexión directa.



▲ (Fuente: Base Nema. TE Connectivity.)

4.1.1.2 Luminaria autónoma (con curva de regulación programada)

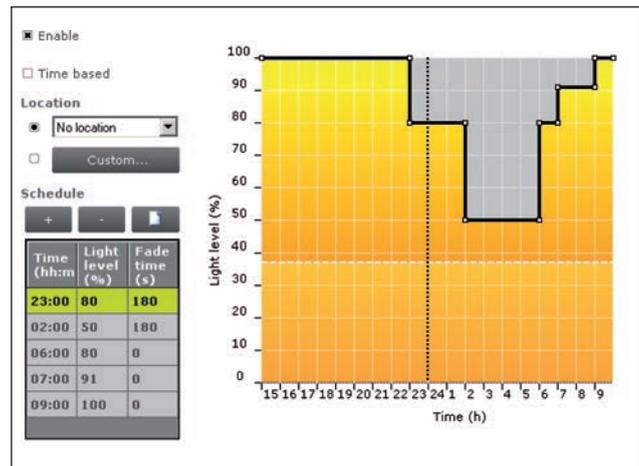
Arquitectura

Una luminaria de alumbrado público con regulación autónoma es un dispositivo de iluminación utilizado en espacios públicos, como calles, carreteras, parques y plazas, que tiene la capacidad de ajustar automáticamente su nivel de luminosidad en función de las condiciones ambientales o la hora de la noche.

En este caso la regulación autónoma permite que sin ningún tipo de sistema de control la propia luminaria, tenga la capacidad de regular durante el tiempo que este encendido el nivel de iluminación gracias a unos niveles de regulación que se encuentran programados en el propio driver y que vienen marcados por la hora de encendido o apagado del alumbrado, etc. por lo tanto la iluminación se ajusta por la noche y se autoajusta para ahorrar energía en momentos de menor tráfico o cuando hay suficiente luz natural.

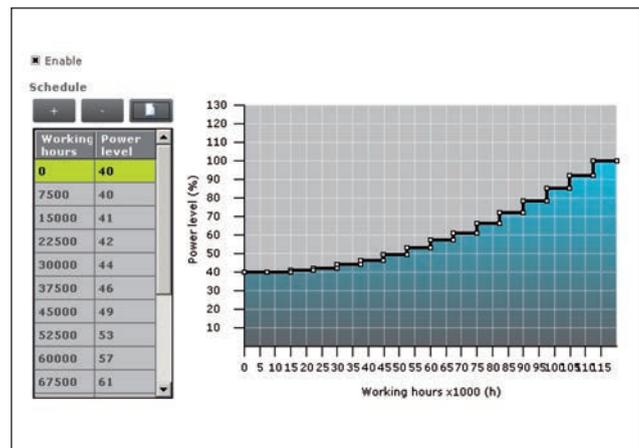


◀ (Fuente: LEC (Light Environment Control) Luminaria con doble cámara))



▲ (Fuente: Signify. (Programación interna driver))

Este nivel de luminaria permite comunicación e interacción con el elemento mediante diferentes interfaces de conexión, ya sean sistemas internos en el driver o externos



▲ (Fuente: Signify. (Programación interna driver))

Interfaz de Conexión: Interna Driver

Un driver para una luminaria de alumbrado público es un componente eléctrico esencial que se utiliza para controlar y alimentar adecuadamente la fuente de luz dentro de la luminaria. También se conoce como fuente de alimentación o balasto en el caso de tecnologías más antiguas como las lámparas de descarga de gas.

La función principal de un driver es proporcionar la corriente y la tensión eléctrica necesarias para que la fuente de luz funcione de manera eficiente y segura. Los drivers están diseñados específicamente para el tipo de tecnología de iluminación que se encuentra en la luminaria, ya sea una lámpara LED, una lámpara de sodio de alta presión, una lámpara de haluro metálico, entre otros.

Los drivers modernos, especialmente para luminarias de LED, son componentes electrónicos sofisticados que ofrecen varias ventajas, como:

- 1. Regulación de corriente:** Los drivers pueden ajustar la corriente suministrada a la fuente de luz para mantener un brillo constante y garantizar una vida útil prolongada.
- 2. Eficiencia energética:** Los drivers de LED suelen ser altamente eficientes en términos de conversión de energía eléctrica en luz, lo que ayuda a reducir el consumo de energía y los costos operativos.
- 3. Protección:** Los drivers a menudo incluyen funciones de protección, como protección contra sobretensiones, sobrecorriente y cortocircuitos, para garantizar la seguridad y la durabilidad de la luminaria.
- 4. Compatibilidad con regulación:** Algunos drivers de LED permiten la regulación de la intensidad lumínica (dimerización) para adaptarse a diferentes niveles de iluminación según las necesidades.



▲ (Fuente: Vossloh-Schwabe (Driver D4i Formato Zhaga))

- 5. Conectividad:** Algunos drivers de LED proporcionan puerto de comunicación por impulsos eléctricos o datos

En definitiva, un driver para una luminaria de alumbrado público es un componente fundamental que garantiza el funcionamiento adecuado de la fuente de luz en la luminaria y puede influir en la eficiencia energética, la durabilidad y las capacidades de control de la luminaria.

Interfaz de Conexión: Dispositivo adicional

Además del driver, que es un componente esencial en una luminaria de alumbrado público, existen varios otros componentes y características adicionales que pueden estar presentes en este tipo de luminarias para mejorar su rendimiento, eficiencia y funcionalidad. Algunos de los componentes adicionales comunes incluyen:

- 1. Fotocélula o sensor de luz:** Un sensor de luz, como una fotocélula, se utiliza para detectar niveles de luz ambiental y activar o desactivar automáticamente la luminaria según las condiciones de luz natural. Esto ayuda a ahorrar energía al apagar las luces durante el día y encenderlas por la noche.
- 2. Sistema de control inteligente:** algunas luminarias de alumbrado público están equipadas con sistemas de control inteligente que permiten la regulación y programación de la intensidad de la luz en función de la hora del día, la presencia de personas o el tráfico mediante sensores u otros dispositivos. Estos sistemas pueden ser controlados de forma remota y pueden contribuir significativamente a la eficiencia energética.

- 3. Difusor o reflector:** Estos componentes se utilizan para dirigir y dispersar la luz de manera eficiente. Un difusor puede suavizar la salida de luz y reducir el deslumbramiento, mientras que un reflector puede dirigir la luz en una dirección específica, mejorando la distribución lumínica.

4.1.1.3 Luminaria (autónoma o no) + Nodo y/o Sensor/es

Arquitectura

En este caso hablamos de luminarias como las comentadas anteriormente, pero con la capacidad de montar Nodo de control/ comunicación y/o Sensor a través de los puertos de comunicación del driver. Son aquellas luminarias que alcanzan el mayor grado de control y calidad de uso. Normalmente se montan los Nodos en la parte superior y un sensor en la parte inferior, ambos en estas imágenes con Zhaga.



▲ (Fuente: Zhaga Consortium. (Fuente: ejemplos de luminarias con base Zhaga tanto superior como inferior))

Nodos de control



▲ (Fuente: Zhaga Consortium)

Dispositivo hardware conectado al driver de la luminaria, que funciona como un punto de conexión a una red de comunicaciones. Puede recoger, transmitir y almacenar la información necesaria. Los nodos se utilizan en aquella red de alumbrado donde los dispositivos, o luminarias en este caso, desean ser conectados remotamente a través de redes inalámbricas o redes físicas, ya sea de forma directa o a través de un gateway, con el objeto de poder controlar el Driver en remoto para establecer el nivel de regulación deseado sobre la luminaria y de adquirir datos; características de funcionamiento, etc.

Estos nodos pueden ser colocados internamente en las luminarias, con antena interna o externa o con conexión por cable PWL (power line) o empleando los estándares de conectividad inalámbrica Zhaga o Nema antes comentados

Sensores

Los sensores son componentes que cada vez son más comunes en las estructuras de servicios de la Smart city. Algunos de ellos son específicos para servicios y elementos concretos (ambientales, ruidos,,) y otros pueden ser compartidos con el alumbrado inteligente, aportando éstos sensores propios para su uso (presencia, tráfico, luminosidad,..). Estos sensores son los que al final ayudan a que la gestión del alumbrado sea más eficiente y que permitan obtener datos para mejorar la vida de las personas y su relación con el entorno.

Dentro de los sensores diseñados para interactuar con el alumbrado podemos distinguir dos formas:

1. Conexión local cableada a través de la capa de hardware o inalámbrica a través de la capa de comunicación.
2. Conexión remota a través de la capa de Software



▲ (Fuente: Tridonic; Sensor D4i (PIR))

Posibles funcionalidades y Categorías de Sensores según Zhaga:

- **Movilidad;** Contar el tráfico de vehículos, bicicletas y peatones y/o medir la velocidad de los vehículos.
- **Clima;** Medición de temperatura, humedad y otros parámetros climáticos.
- **Polución;** Medición de partículas u otros contaminantes
- **Sonido;** Detectar altos niveles de ruido ambiental (incluida la posible identificación firmas sonoras consistentes con ruido excesivo de construcción o industrial, accidentes automovilísticos, gritos angustiados o ladridos de perros
- **Iluminación;** Detección de movimiento y otros sensores que controlan los niveles de iluminación. (incluidas las fotocélulas)
- **Multi Sensor;** Sensores que combinan dos o más de las categorías de funcionalidad anteriores.



▲ (Fuente: Signify. Ejemplo de Multisensor de exterior, con detección de movimiento radar, ruido, temperatura, vibraciones e inclinaciones)

- **Innovación;** Otros tipos de sensores con funcionalidad no descrita anteriormente para los cuales los entrantes puede presentar argumentos convincentes a favor de los beneficios públicos
- **Investigación;** Cualquier tipo de sensor (no restringido a estar en la lista anterior) desarrollado por un estudiante o investigador de una institución educativa reconocida que la parte que presenta puede presentar argumentos convincentes a favor de los beneficios públicos.



▲ (Fuente: Carandini. Ejemplo de Luminaria de Alumbrado Público con base Zhaga superior e interior para montar sensores y/o nodos de comunicación exteriores.)

4.1.2 Elemento - Centro de Mando/Cuadro (0,1,2,3)

El centro de mando es la parte de la instalación eléctrica en la que se encuentran los elementos de maniobra y de protección de los elementos de alumbrado. Además, puede incorporar equipos de medición para control, telegestión y optimización de la instalación tanto de gestión local como remota.

Se exponen a continuación sus diferentes categorías de menor a mayor funcionalidad 0,1, 2 y 3.

4.1.2.1 Cuadro + Fotocélula y/o Astronómico y/o Controlador

El centro de mando o cuadro de alumbrado tiene como principal actuación la activación / desactivación del alumbrado mediante una señal a los contactores que ponen o quitan tensión de las líneas eléctricas de alimentación. Hay diversos equipos actuadores que generan esta señal a los contactores.

Fotocélula



▲ (Fuente: TE fotocélula – Base Nema)

Un sensor fotoeléctrico o fotocélula es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Procesando así la activación o desactivación de un relé o contacto, en relación con unos parámetros de intensidad lumínica. Esto

implica que el alumbrado se pueda activar durante el día generando un consumo energético no deseado o no actuar adecuadamente en la puesta y salida del Sol. Debido a esto, podría ser una solución que no proporciona una adecuada eficiencia energética y requiera de un mayor mantenimiento, ya que es necesaria una limpieza regular para asegurar su correcto funcionamiento.



▲ (Fuente: Prilux y Arelsa)

Astronómico

Un actuador astronómico es un dispositivo electrónico que dispone de una capacidad de activación o desactivación de un relé o contacto según el horario de salida y puesta de sol en una ubicación concreta. El alumbrado se activa con seguridad sólo en el horario que es necesario. En un dispositivo astronómico tiene poco mantenimiento, requiere ajuste del reloj y revisión de elementos como pilas o baterías.

Controlador



▲ (Fuente: Prilux y Arelsa)

Un controlador de alumbrado es un dispositivo o conjunto de dispositivos electrónicos que disponen de sensores y actuadores que cubren necesidades de un cuadro de alumbrado: activación/desactivación, programación de ahorros, detección de alarmas y eventos, medición eléctrica, etc. Actúa y recoge datos de cada línea y del cuadro en su conjunto, no es capaz de discriminar entre luminarias. El controlador de alumbrado es el elemento de Smart City del cuadro de alumbrado. En esta categoría de cuadro la monitorización del controlador se puede realizar de forma local o remota, caso en el que se requiere un dispositivo de comunicación.

4.1.2.2 Cuadro + Fococélula y/o Regulador estabilizador de Flujo en Cabecera

El cuadro de alumbrado autónomo dispone de un elemento actuador local (fococélula o astronómico) y puede incorporar equipos que generen ahorro energético mediante la actuación sobre el flujo eléctrico (por ejemplo, estabilización-reducción de tensión en cabecera) o señalización de la orden de ahorro a los puntos de luz.

4.1.2.3 Cuadro + Controlador + Gateway (componente externo o integrado en controlador)

El cuadro de alumbrado autónomo dispone de un elemento actuador inteligente (Controlador) que dispone de una capacidad de actuación autónoma y de un dispositivo centralizador de nodos / puntos de luz (Gateway)



▲ (Fuente: Arelsa)

Gateway

Elemento que se utiliza para transportar información de un grupo de nodos desde la instalación hacia los servidores cloud y biceversa. Es un dispositivo que actúa de interfaz de conexión entre los nodos y los servidores, transportando la información a modo concentrador. Funciona como puente de enlace entre la red de comunicación local y la interfaz de telegestión. Puede incorporarse a nivel de cuadro (o de grupo de nodos) o punto a punto por luminaria en cada nodo.



▲ (Fuente: Signify. Gateway de RF.)

4.1.2.4 Cuadro + Controlador + Gateway + Router/SIM (componente externo o integrado en controlador)



▲ (Fuente: Arelsa y Prilux)



▲ (Fuente: Signify)

El cuadro de alumbrado conectado dispone de un elemento actuador inteligente (Controlador) con capacidad de actuación autónoma, un dispositivo centralizador de nodos / puntos de luz (Gateway) y el dispositivo de comunicación (Router/SIM) para ser telegestionado desde un sistema remoto.

Router/SIM

Dispositivo electrónico de comunicación que conecta el cuadro de alumbrado con un sistema de monitorización o gestión remoto. Frecuentemente este dispositivo utiliza la red desplegada por operadores de telecomunicación, lo que requiere algún tipo de contrato o suscripción (tarjeta SIM o equivalente, ethernet, etc).

4.2 CAPA DE COMUNICACIÓN

Esta capa se encarga de transportar los datos recogidos en la capa de hardware hacia la capa de software. En ella se englobarán todas las tecnologías de comunicación que se estén empleando en relación con la red de alumbrado, ya que no existe una única comunicación que cubra todas las aplicaciones. En una misma red de alumbrado gestionada mediante comunicación pueden combinarse diferentes tipos de comunicación entre luminarias y cuadro (por cable o aéreas, siendo éstas de diferentes tipos), tipos de comunicación entre luminarias e internet y tipos entre el gateway del cuadro y los software de la aplicación. No es que sea muy complejo, pero sí que hay muchas posibilidades que aquí queremos desarrollar, en el estado del arte actual. Además, pueden coexistir varias redes de comunicación, cada una de ellas específicamente dedicadas a un servicio urbano (también denominado “vertical”), ya que cada vertical va a tener unos requerimientos de comunicación determinados y diferentes a los de otras verticales.

Al hilo de lo anterior, una de las dudas que se plantea con frecuencia es si la ciudad puede ser interoperable cuando la red de comunicaciones es muy heterogénea. Desde el punto de vista de la red de alumbrado, la respuesta es clara: hoy en día no existe un

protocolo de comunicación universal y específico en la industria de la iluminación. Aunque existen protocolos específicos para iluminación, como DALI y DMX, ambos sólo son aplicables en aplicaciones concretas, ya que requieren cableado y presentan limitaciones técnicas. Por este motivo, la interoperabilidad será más sencilla y funcional en las capas de hardware (mediante conectores estandarizados Zhaga y/o NEMA) y de software (mediante API estandarizadas). De manera que, en la actualidad, resulta más práctico enfocarse en soluciones que, independientemente de la comunicación que utilicen, estén enfocadas en garantizar la robustez y la seguridad del sistema, siendo normal que para ello solo se permita la comunicación asociada a su hardware.

4.2.1 Nivel de gestión / acceso

La primera clasificación que se puede establecer en la capa de comunicaciones es si los dispositivos de la capa hardware, sean luminaria o cuadro, van a poder querer comunicarse de forma local o remota, entendiéndose por este concepto si se requiere presencia física para establecer comunicación con ellos. Es decir, para considerar el acceso remoto, la capa hardware debe disponer de conectividad externa, mientras que el acceso local serían el resto de los casos *in-situ*. Es importante señalar que la referencia a conectividad externa se refiere a la capa hardware de la infraestructura, no a la capa de software donde lo normal es que exista conectividad por el propio dispositivo donde se ejecutan las aplicaciones (PC, dispositivos móviles, etc.) Por lo general, si el dispositivo hardware (luminaria o centro de mando) no dispone de un elemento (nodo, sensor, router, gateway, etc.) que habilite conectividad externa mediante una conexión a internet, el nivel de acceso sólo podrá realizarse de forma local.

4.2.1.1 Gestión / acceso local

Un nivel de gestión / acceso local permite obtener beneficios en términos de ahorro de energía, seguridad y reducción de costes mediante la gestión del encendido y posible regulación de las luminarias. Es posible configurar las luminarias para que funcionen con secuencias o perfiles de regulación automáticos a lo largo de la noche, aplicar medidas de reducción de flujo en cabecera o punto a punto. Así mismo es posible la integración de sistemas de detección de movimiento, luminosidad u otros sensores que automaticen el comportamiento de las luminarias, pero supeditado a un alcance de control local.

La falta de conectividad remota en los sistemas de gestión de alumbrado público puede limitar algunas de las funcionalidades avanzadas que se obtienen con una conexión remota o a una red inalámbrica. Algunas cuestiones específicas asociadas a esta limitación son:

- Menor capacidad de monitorización en tiempo real: Si un sistema de gestión de luminarias no tiene conectividad remota, no se podrá extraer ni visualizar en tiempo real el estado de cada luminaria o de las líneas. Esto puede dificultar la detección de problemas en el funcionamiento del sistema, ya que no se podrán recibir alertas inmediatas de posibles fallos o incidencias.

- **Mayor dificultad para realizar cambios en la programación:** Si se desea cambiar la programación del sistema de gestión de luminarias, sin conectividad remota, esto requerirá de un técnico que acuda físicamente a la ubicación de las luminarias para realizar los cambios necesarios. Esto puede retrasar la implementación de cambios en la programación, lo que puede afectar la eficiencia y eficacia del sistema.
- **Falta de acceso a datos históricos:** Sin conectividad remota, no se podrán recopilar y almacenar datos históricos sobre el rendimiento del sistema de gestión de luminarias de una manera programada. Esto puede limitar la capacidad de los técnicos para analizar los patrones de uso de energía y otros indicadores de rendimiento para mejorar la eficiencia del sistema.
- **Dificultad para realizar actualizaciones de firmware:** Al no tener conectividad remota, no se podrá actualizar el firmware o software del sistema de gestión de luminarias de manera remota. Esto puede requerir la presencia física de un técnico para realizar las actualizaciones, lo que puede generar costes adicionales y una mayor complejidad en la gestión del sistema.

4.2.1.2 Gestión / acceso remoto

Por su parte, un sistema con gestión / acceso remoto, se encuentra conectado a Internet lo que permite el control y la monitorización remota de las luminarias o los cuadros de alumbrado público. Algunas de las principales características de un sistema de telegestión conectado son:

- **Control remoto:** Un sistema de telegestión conectado permite el control remoto de las luminarias y/o cuadros, lo que significa que se pueden encender y apagar desde una ubicación remota. También es posible ajustar la intensidad de la luz y programar horarios de encendido y apagado de forma remota.
- **Monitorización en tiempo real:** Al estar conectado a una red, el sistema de telegestión puede mostrar el estado de cada luminaria, línea o cuadro en tiempo real, lo que permite detectar rápidamente cualquier problema o alerta del sistema.
- **Actualizaciones de firmware remotas:** Con la conectividad remota, las actualizaciones de firmware y software pueden ser realizadas de manera remota, lo que facilita la gestión del sistema y reduce los costes de mantenimiento.



▲ (Fuente Prilux; tipos de dispositivos para gestión)

- **Análisis de datos y generación de informes:** Los sistemas de telegestión conectados pueden recopilar y almacenar datos sobre el uso de energía, la intensidad de la luz y otros indicadores de rendimiento. Estos datos pueden ser utilizados para generar informes y analizar el rendimiento del sistema, lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia y eficacia del sistema.
- **Integración con otros sistemas:** Un sistema de telegestión conectado puede integrarse con otros sistemas de gestión de alumbrado público y con otros servicios o verticales dentro de la arquitectura Smart City.

4.2.2 Opciones de comunicación

La siguiente clasificación en la capa de comunicación hace referencia, conjuntamente, tanto al medio físico de transmisión (conexión cableada o inalámbrica) como a la propia técnica o protocolo de comunicación.

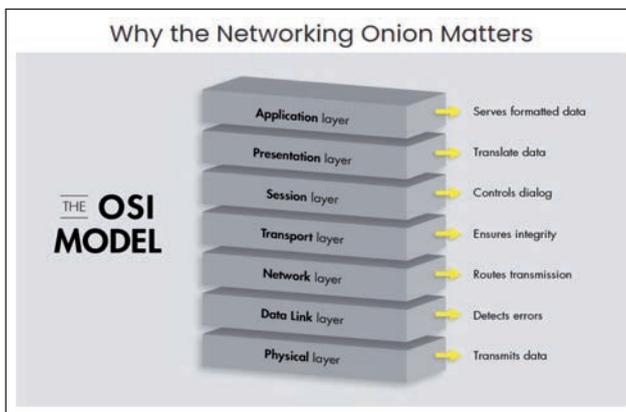
La opción de comunicación es muy relevante en cuanto al diseño del hardware, tanto en cuanto a robustez como en cuanto a coste de inversión por los componentes requeridos, o costes de operación y mantenimiento. Además, hay que tener en cuenta que la vida útil no sólo vendrá dada por la durabilidad del hardware, sino también por las capacidades del protocolo de comunicación y su evolución futura. En este sentido, otro de los condicionamientos importantes que implicará la opción de comunicación serán las actualizaciones de firmware, especialmente en lo que al despliegue de nuevas funcionalidades o niveles de ciberseguridad se refiere. Por último, la capa de software también se verá afectada por la opción de comunicación, puesto que puede requerir funcionalidades específicas o, por el contrario, puede haber funcionalidades no soportadas.

Entre los protocolos de comunicación, se pueden clasificar entre protocolos Abiertos o Proprietarios.

- Los protocolos abiertos son estándares que están disponibles públicamente y se desarrollan en un proceso de consenso abierto bajo los auspicios de una organización reconocida (generalmente sin fines de lucro). No obstante, eso no significa que no exista alguna propiedad intelectual propietaria asociada con el estándar, por lo que podría suponer cierto coste para todo aquel que decida usarlo.
- Los protocolos propietarios también pueden ser estándares y pueden estar disponibles gratuitamente o no. Normalmente son desarrollados por fabricantes o individuos, y por lo tanto no desarrollados en un método de consenso abierto.

Estos detalles son importantes ya que en ocasiones se confunde "abierto" con "no propietario", e "interoperable" con "estándar". Es decir, un protocolo abierto puede contener partes propietarias, y puede permitir o no la interoperabilidad. Por ejemplo, los protocolos Zigbee o Bluetooth, muy usados en aplicaciones IoT de todo tipo, son estandarizados, pero no por eso son

automáticamente interoperables en el conjunto de la capa de comunicación. Es decir, cualquier hardware no se puede comunicar con cualquier aplicación de software aunque utilicen el mismo protocolo en alguna de las etapas de la pila que conforma la capa de comunicación. Lo habitual en muchos protocolos estándar es que se estandarice la estructura de datos básica para la aplicación (lo que se denomina un “perfil”), pero puede o no existir un conjunto de comandos estandarizados más allá, por lo que finalmente va a depender del fabricante determinar cómo la aplicación manipulará esos datos. Para comprender como funciona la interoperabilidad, se presenta el modelo de capas OSI resumido en la imagen siguiente.



▲ (Fuente: <https://www.lumenpulse.com/knowledge/ethernet>)

Por todo esto, se puede decir que la interoperabilidad es difícil en el conjunto de la capa de comunicación, siendo mucho más recomendable realizarla en la capa de hardware (o capa física en la imagen anterior) a través de conectores estandarizados Zhaga y/o NEMA, así como en la capa de software (o capa de aplicación en la imagen anterior) donde existen desde hace tiempo protocolos estandarizados ampliamente utilizados para el intercambio de datos (ver el apartado “APIs”).

4.2.2.1 Comunicación Cableada

Las comunicaciones cableadas pueden usar diferentes medios físicos (es decir, diferentes tipologías de cable) para el transporte de los datos, y, a su vez, también pueden darse diferentes protocolos para un mismo medio físico.

A continuación, se indican los más relevantes:

a) Digital Multiplex (DMX512)

Originalmente desarrollado en 1986 por USITT (United States Institute for Theatre Technology, Inc.), el estándar DMX512 describe un método de transmisión de datos digitales entre controladores y equipos y accesorios de iluminación. Cubre las características eléctricas (basadas en el estándar EIA / TIA 485 A), el formato de datos, el protocolo de datos y el tipo de conector. La comunicación en una red DMX512 es unidireccional y el estándar no proporciona detección ni corrección de errores. La fiabilidad se logra mediante el envío repetido de paquetes de información. El estándar está destinado

a proporcionar interoperabilidad entre controladores fabricados por diferentes fabricantes, tanto a nivel de comunicación como mecánico.

Un controlador DMX512 envía paquetes que contienen entre 24 y 512 valores de datos de un solo byte. Todos los dispositivos (accesorios de iluminación u otros equipos) en el cable DMX512 reciben todos los paquetes. Estos dispositivos deben configurarse para saber qué valores de datos se aplican a ellos. EIA-485-A limita la carga eléctrica en un enlace de datos a 32 unidades de carga. Como la mayoría de los dispositivos tienen una carga nominal muy inferior a 1 unidad, es posible colocar más de 32 dispositivos en un enlace de datos, pero se debe tener en cuenta la confiabilidad y el rendimiento del sistema en caso de que falle un enlace de datos.

Un controlador DMX512 está conectado a un cable con clasificación EIA-485 (típicamente 100-120 Ohm). También se permite el cable de par trenzado no blindado (UTP) de categoría 5e. Al final de la cadena de dispositivos, el cable termina con una resistencia que coincide con la impedancia del cable. Las conexiones conectadas utilizan conectores XLR de 5 pines. El estándar excluye otras topologías (por ejemplo, estrellas o árboles). Si los requisitos físicos de un sistema no permiten una conexión en cadena, entonces se utilizan divisores DMX512 (también llamados splitters).

El uso de un cable de impedancia nominal continuo EIA-485-A de 120 ohmios de alta calidad de resistencia mínima de CC teóricamente permite longitudes de hasta 1 kilómetro, aunque en la práctica suelen limitarse a 100-150 m. Si se requieren ejecuciones más largas, se debe usar un amplificador de señal (repetidor).

Por lo general, la interoperación entre DMX512-A y otros protocolos es manejada por convertidores de protocolos (gateways). Existen protocolos propietarios y abiertos que permiten que DMX512 se lleve a través de redes, más comúnmente Ethernet-TCP/IP.

Habitualmente en combinación con el protocolo DMX512, se suele encontrar el protocolo **RDM (Remote Device Monitoring)**. RDM describe un método de comunicaciones bidireccionales a través de un enlace de datos DMX512 entre un controlador y uno o más dispositivos todos ellos compatibles con RDM. Permite el descubrimiento de dispositivos en una red DMX512 y la configuración remota de las direcciones iniciales de DMX512, así como el informe de estado y fallos a la consola de control. Mientras que DMX512 básico es un protocolo unidireccional, RDM es un protocolo bidireccional.

RDM se usa más comúnmente para configurar y monitorear el estado de los equipos de iluminación ornamental. Después de encontrar un dispositivo, el controlador puede solicitar cualquier estado que tenga el dispositivo o establecer su configuración. Los dispositivos RDM no pueden iniciar la comunicación, solo pueden responder cuando se les habla.

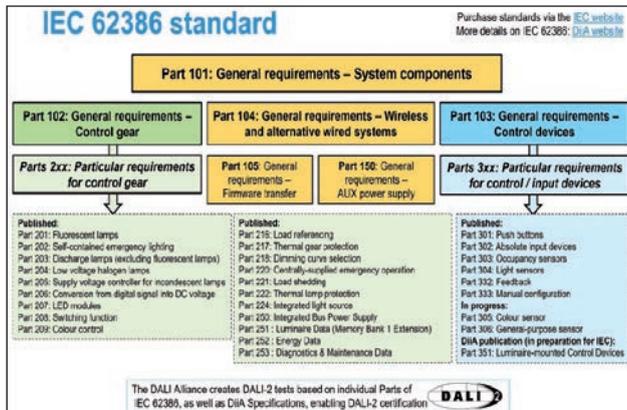
Un sistema especificado para contener equipos RDM debe contener software para recopilar y presentar el estado RDM al usuario.

b) Digital Addressable Lighting Interface (DALI y DALI-2)

DALI es un estándar internacional abierto, no propietario, que garantiza la intercambiabilidad entre componentes de diferentes fabricantes. Desarrollado como un estándar de control de iluminación en Europa por DALI AG, el protocolo está diseñado para permitir la comunicación bidireccional entre dispositivos. La naturaleza bidireccional de la comunicación permite al sistema consultar un componente específico y recibir una respuesta en tiempo real. Como herramienta de diagnóstico, esto es extremadamente útil ya que el sistema puede autoidentificar algunos de los problemas de mantenimiento más comunes e informar el estado de los dispositivos. La especificidad del direccionamiento digital permite que los componentes DALI mantengan identidades individuales.

DALI se utiliza normalmente cuando la estrategia de control requiere que las luminarias respondan a más de un controlador (por ejemplo, presionar un botón y un sensor de luz diurna), donde las luminarias deben asignarse a más de una zona de control simultáneamente, o cuando se anticipa una reconfiguración futura. Los sistemas de iluminación pueden funcionar como sistemas de control independientes o pueden integrarse como subsistemas dentro de un sistema de gestión de edificios más grande.

Aunque los grupos de buses DALI se pueden combinar en redes, la unidad básica de control, el bus, está limitada a 64 dispositivos controlados.



▲ (Fuente: <https://www.dali-alliance.org/dali/standards.html>)

DALI-2 es el programa de certificación que se basa en la última versión del protocolo DALI, y es desarrollado y mantenido por la Alianza DALI. La norma IEC 62386 se reestructuró a finales de 2014 para facilitar su uso y facilitar el desarrollo de DALI-2. Se hicieron muchas mejoras al estándar, incluida la adición de nuevos comandos y características. Uno de los cambios más significativos fue la adición de dispositivos de control (incluidos los controladores de aplicaciones y los dispositivos de entrada), que no se incluyeron en la versión original del estándar. DALI-2 también incluye pruebas mucho más completas que DALI versión-1, con un fuerte enfoque en la interoperabilidad

del dispositivo. Los resultados de la prueba DALI-2 son verificados independientemente por DALI Alliance antes de que se otorgue la certificación.

c) Power Line Communications (PLC)

La comunicación por línea eléctrica (PLC) es una tecnología que permite que las líneas eléctricas se utilicen para la comunicación mediante la transferencia de datos. Suelen requerir de un equipo centralizador (transmisor) y unos equipos receptores (nodos). Se modulan en el transmisor y la señal modulada se superpone al voltaje de la fuente de alimentación. En el receptor, los datos se extraen separando la tensión de la fuente de alimentación y la señal modulada con un filtro y demodulando la señal modulada.

Existen diferentes tipos de comunicación PLC, en alumbrado las más habituales son:

- **PLC unidireccional:** Solo permite la comunicación desde el transmisor hacia los nodos. Suele ser más robusta y fiable ya que se ve menos influenciada por el estado de las líneas y menos afectada por interferencias y ruido de otros equipos en la red. La principal aplicación es para modificar el nivel de iluminación, ya sea activando una curva de regulación diferente de entre varias almacenadas en el driver de las luminarias (mediante una secuencia de **Pulsos** de encendido y apagado desde el cuadro), o ya sea enviando un nivel de iluminación en tiempo real mediante señal modulada.
- **PLC bidireccional:** Permite la comunicación desde el transmisor hacia los nodos y viceversa, por lo que suele requerir una mayor calidad en el estado de las líneas para garantizar la comunicación.

Las líneas eléctricas se encuentran ampliamente disponibles en todo el mundo, pero esto no significa que sea fácil predecir las características y el funcionamiento de un sistema PLC debido a la calidad variable de las líneas eléctricas, al ruido y la interferencia de otros equipos conectados. La implementación de una comunicación robusta a través de PLC depende de estos factores, ellos han sido el principal obstáculo para su desarrollo masivo.

d) Otros protocolos cableados

Existen otros protocolos importantes, pero no tan ligados al campo del alumbrado exterior por lo que únicamente se mencionarán, como son Ethernet y TCP/IP.

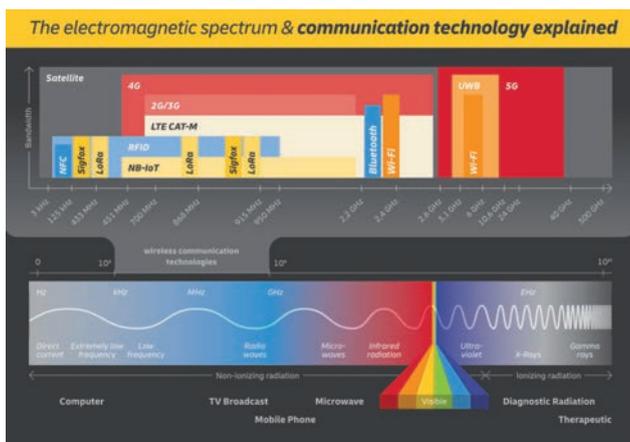
- Ethernet es un tipo de protocolo de comunicación, utilizado para conectar equipos en una red de área local (LAN) y red de área extensa (WAN). Está regulado por el estándar IEEE 802.3.
- TCP/IP es el conjunto de protocolos utilizado por Internet, la World Wide Web y la mayoría de las computadoras en red para intercambiar datos. El nombre, TCP/IP, es una concatenación de dos protocolos principales de comunicaciones de datos:
 - Protocolo de control de transmisión (TCP)
 - Protocolo de Internet (IP).

4.2.2.2 Comunicación Inalámbrica

En comparación con las tecnologías de comunicaciones por cable, las redes de comunicaciones inalámbricas proporcionan una mayor flexibilidad de despliegue y generalmente son compatibles con una gama más amplia de aplicaciones de ciudades inteligentes. Como resultado, se espera que las redes inalámbricas representen la mayor parte de las comunicaciones de dispositivos y sensores en las ciudades inteligentes en el futuro.

Los dos grupos principales de redes inalámbricas utilizadas para aplicaciones de ciudades inteligentes en espacios públicos son todas aquellas cuya comunicación se produce en la banda de frecuencias licenciadas (generalmente se corresponde con tecnologías celulares), y aquellas que no licenciadas que usan las bandas libres ISM (Industrial, Scientific and Medical).

Dentro de las "licenciadas", nos encontramos con las tecnologías celulares desarrolladas por 3GPP, que incluyen **2G/3G/4G/5G** así como otras tipo LPWAN como son **NB-IoT** y **LTE-M**. En cuanto a las "no licenciadas", existe una variedad importante debido a los menores requisitos, siendo las más destacadas: **RFID/NFC**, **Bluetooth Low Energy**, **WiFi**, **ZigBee**, **6LoWPAN**, todas las tecnologías denominadas "RF" que incluyen una amplia gama de redes propietarias basadas o no en estándares, y por último dentro de LPWAN se encontraría **LoRaWAN** como la más destacada.



▲ (Fuente: Next-Generation Wireless in Logistics, A DHL perspective on the evolution of wireless networks and the future of IoT in logistics. DHL Trend Research.)

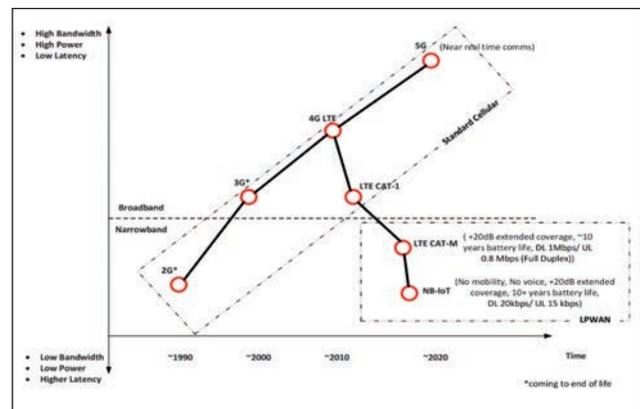
A continuación, se detallan los principales términos que describen las características y el rendimiento para las tecnologías inalámbricas:

- **Frecuencia.** Esta es la parte del espectro radioeléctrico en la que opera la tecnología. Algunas tecnologías inalámbricas pueden funcionar en varias frecuencias o canales diferentes, dependiendo de los requisitos de licencia locales (bandas ISM regionales) o de la generación de la tecnología en uso

- **Ancho de banda.** Los sistemas inalámbricos normalmente no funcionan a una sola frecuencia fija, sino a través de un rango de frecuencias. Ese rango se conoce como ancho de banda. La capacidad teórica máxima de transporte de datos de un canal inalámbrico está estrechamente relacionada con su ancho de banda, por lo tanto, el término banda ancha se utiliza para describir redes de alta velocidad y alta capacidad.
- **Velocidad de datos.** Medido en bits por segundo (bps), esta es la velocidad máxima de transmisión de datos de un canal inalámbrico determinado.
- **Capacidad.** Esta es una medida del número máximo de usuarios o dispositivos que una red puede admitir. Depende del diseño de la red y de los requisitos de velocidad, latencia y rendimiento de los dispositivos conectados.
- **Rango.** La distancia física desde un dispositivo host/origen en el que la tecnología inalámbrica puede transmitir información.
- **Rendimiento.** No todos los paquetes de datos transmitidos a través de una red inalámbrica serán recogidos con éxito por el destinatario. Los paquetes perdidos están presentes hasta que se recibe un mensaje completo, y el término rendimiento se utiliza para describir la tasa real de intercambio de datos alcanzada.
- **Latencia.** Este es el tiempo requerido para un mensaje de ida y vuelta entre dos socios de comunicación a través de una red. La latencia es importante para las comunicaciones en tiempo real, como órdenes inmediatas manuales o automáticas desde otros dispositivos. Está relacionado con la velocidad de la red y la distancia recorrida por el mensaje.
- **Topología:** Se refiere a la forma en las que los dispositivos (nodos) se comunican entre sí: uno-a-muchos o broadcast, uno-a-uno, uno-a-varios o estrella, muchos-a-muchos o malla.

a) Redes Licenciadas

La diferencia fundamental de las redes licenciadas es que operan en frecuencias subastadas por el estado para el uso exclusivo por un operador durante un periodo de años. Por este motivo, se suelen denominar redes públicas. El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) contiene la atribución o uso a que se reserva cada una de las bandas de frecuencia en las que se divide el espectro radioeléctrico disponible para radiocomunicaciones, entre 8,3 kHz y 3000 GHz.



▲ (Fuente: Vodafone)

Las tecnologías que operan en las bandas licenciadas son habitualmente denominadas comunicaciones celulares. En la siguiente imagen se resume la evolución de características (ancho de banda, consumo energético y latencia) entre las diferentes opciones existentes en la actualidad:

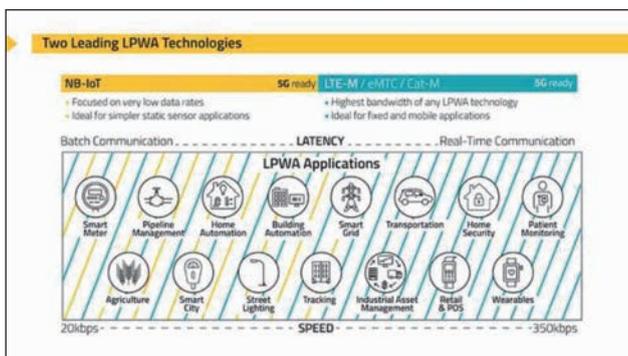
a.1.) 2G/3G/4G/5G

La comunicación móvil se ha vuelto más popular en los últimos años debido a la rápida adopción de la tecnología móvil. La velocidad de la conexión de un dispositivo a la red móvil depende de la intensidad de la señal, que se muestra en abreviaturas como 2G, 3G, 4G, 5G. Cada generación de banda ancha inalámbrica se define como un conjunto de estándares de red telefónica que describen la implementación tecnológica del sistema.

Un aspecto importante en la evolución de las redes móviles o celulares es la limitación del espectro de radio licenciado. Las tecnologías **más antiguas** (2G/3G) ocupan un espacio radioeléctrico que resulta necesario para que las nuevas (4G/5G) puedan entregar todo su potencial, especialmente cuando hablamos de la parte baja de las frecuencias. También el hecho de que 2G/3G ofrezcan poco ancho de banda en las conexiones de datos, que el ratio por usuario en el mantenimiento de los nodos sea costoso y que su consumo energético sea elevado, son factores clave para que todos los proveedores de servicios hayan establecido planes de apagado controlado de esas tecnologías.

Aunque 3G es una tecnología más nueva que el 2G, será la primera en apagarse en España y en muchos otros países. El motivo es la gran cantidad de terminales/conexiones M2M que todavía utilizan la tecnología 2G, no soportan 3G y por tanto los usuarios necesitan de un plazo mayor para adaptarse a nuevas soluciones como LTE Cat-M1 o NB-IoT. El apagado 3G ya se ha iniciado en la mayoría de las operadoras en España, siendo la previsión más extendida para finales del 2025. El 2G en algunos casos no tiene un plazo cerrado de apagado pero se estima que para finales del 2030 la red deje de dar servicio.

a.2.) Long Term Evolution Category M1 (LTE-M) y Narrow Band Internet of Things (NB-IoT)



▲ (Fuente: <https://www.sierrawireless.com/iot-blog/lte-m-vs-nb-iot>)

Ambas son tecnologías LPWA para aplicaciones IoT de bajo ancho de banda definidas por el 3GPP en la versión 13 y cumplen con los requisitos de bajo coste, baja potencia y cobertura

extendida. La elección entre LTE-M y NB-IoT depende en gran medida de la cantidad de datos que son necesarios comunicar (envío/recepción, actualizaciones de firmware, etc.) y de cuánta latencia es aceptable para su aplicación (por ejemplo, si necesita o no comunicación en tiempo real, cómo de rápido deben aplicarse las actualizaciones, etc.). En la siguiente imagen se resumen las aplicaciones cubiertas por ambas tecnologías:

Por último, es importante considerar el despliegue en ambas tecnologías: NB-IoT se puede implementar tanto en redes 2G (GSM) como 4G (LTE), mientras que LTE-M es únicamente para 4G. Sin embargo, LTE-M ya es compatible con la red LTE existente, mientras que NB-IoT utiliza modulación DSSS, que requiere hardware específico. Se planea que ambos estén disponibles en 5G. Los operadores generalmente implementarán LTE-M primero en países que ya tenían cobertura LTE. Es relativamente más fácil actualizar una torre LTE existente para admitir LTE-M que agregar soporte NB-IoT. Sin embargo, si LTE aún no es compatible, es más barato instalar una nueva infraestructura NB-IoT.

En resumen:

- **NB-IoT:** Diseñado para transmitir pequeñas cantidades de datos, con una duración de batería muy larga, una excelente penetración en edificios y rentable en nuevos despliegues específicos.
- **LTE-M:** Ofrece mayores anchos de banda y latencia, diseñado para transmitir volúmenes de datos medianos, nuevo hardware rentable en despliegues existentes y duración de la batería aceptable aunque condicionada.

b) Redes no Licenciadas

Las redes no licenciadas operan en las bandas libres del espectro radioeléctrico, denominadas ISM, que pueden variar dependiendo de la región del mundo. Para Europa, estas bandas de frecuencia ISM son 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz (la más utilizada para aplicación de alumbrado exterior) y 2.4 GHz (utilizada por Bluetooth, Wifi, entre otros).

A continuación, se presentan las principales tecnologías de comunicación no licenciadas, con mayor o menor relación con el alumbrado público:

b.1.) Tecnologías de corto alcance: NFC y Bluetooth

Near Field Communication (NFC):

Basado en la norma ISO/IEC 18092:2004. Tanto RFID como NFC utilizan principios tecnológicos similares que permiten la transmisión de datos entre dispositivos que se tocan entre sí o que se encuentran a una distancia de no más de unos pocos centímetros. NFC funciona en la banda ISM de 13,56 MHz con una velocidad de datos es de hasta 424 kbps.

Esta tecnología permite configurar y analizar drivers LED de forma rápida y sencilla. No es necesario que los drivers tengan alimentación para ello. En cuanto a las aplicaciones más extendidas dentro de nuestra industria, y que mayor valor aportan actualmente, está la

programación inalámbrica de dichos Drivers tanto en fábricas de luminarias como en campo a los especialistas en instalaciones y personal de mantenimiento. Esta tecnología nos proporciona una importante versatilidad ya en obra para poder refinar y optimizar el consumo y funcionamiento de las luminarias.

Bluetooth:

Bluetooth es una de las tecnologías de comunicaciones inalámbricas más conocidas y ubicuas del planeta. Ha existido desde el año 2000 y actualmente está integrado en miles de millones de dispositivos. Opera en la banda ISM de 2,4 GHz y utiliza frecuencias entre 2402 y 2480 MHz. Permite una velocidad de datos de hasta 3 Mbps y un alcance máximo de 100m. Cada tipo de aplicación que puede usar Bluetooth tiene su propio perfil. El perfil que se ha utilizado principalmente para entornos IoT es el Bluetooth Low Energy (BLE). Las ventajas de BLE incluyen un menor consumo de energía, menor tiempo de configuración y soporte de topología de red tanto en estrella como en malla, lo que proporciona una capacidad de red adecuada para escenarios de IoT de tamaño pequeño o mediano.

b.2.) Tecnologías de medio y largo alcance

Bluetooth Mesh

El estándar Bluetooth (en su perfil Low Energy, BLE) también permite, desde 2017, la creación de redes malladas entre varios dispositivos que se conectan entre sí (con hasta 32.000 participantes en la red), permitiendo el despliegue en mayores distancias que la conexión uno-a-uno o uno-a-varios que suele ser la más habitual. *En una red de malla, en lugar de un dispositivo central que se comunica con dispositivos periféricos individuales, se transmite un mensaje desde un punto de la red a otro al saltar a través de canales bidireccionales que conectan múltiples nodos. De esta forma, la red de malla ofrece ventajas notables, ya que permite el control simultáneo de docenas de dispositivos conectados, supera las limitaciones de rango y aumenta la redundancia. La latencia mínima en la red mallada es mucho menor que, por ejemplo, la de una red en estrella, donde se requiere que el dispositivo central transmita un comando individual a cada luz conectada.*

Una de las características más relevantes en Bluetooth Mesh es la seguridad, ya que la especificación es bastante estricta lo que supone una exigencia importante para los fabricantes de dispositivos.

(Fuente: <https://www.digikey.es/es/articles/designing-bluetooth-low-energy-smart-applications-part-1>)

Radiofrecuencia basada en IEEE 802.15.4

En este apartado existen multitud de tecnologías de comunicación muy similares ya que están basadas en el estándar IEEE 802.15.4, que define una capa física (PHY) y de control de acceso al medio (MAC) para comunicaciones inalámbricas de baja velocidad de datos. El estándar 802.15.4 admite implementaciones en las bandas ISM de 868/915 MHz o 2,4 GHz a velocidades de datos de 20 a 250 kbps.

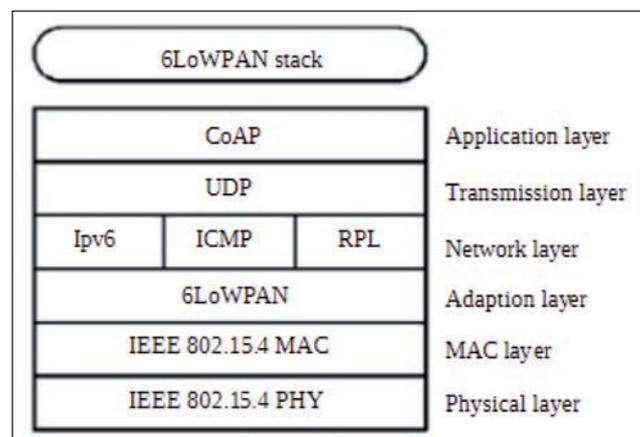
A pesar de compartir estándar en las capas inferiores, la diferencia entre las diferentes tecnologías de comunicación por radiofrecuencia se encuentra en el resto de capas de la pila de comunicación, tales como la capa de red, la capa de transporte y la capa de aplicación. Por este motivo, aunque exista estandarización en alguna de las capas, la interoperabilidad no será automática si no existe uniformidad entre todas las capas.

ZigBee

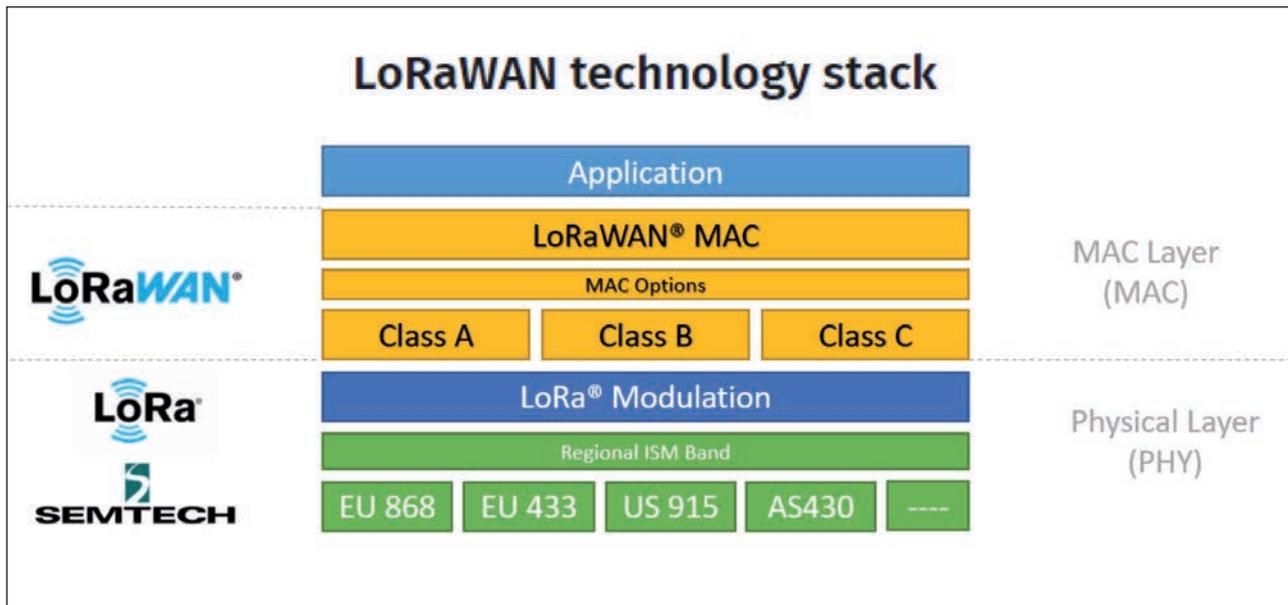
Zigbee es mantenido por Zigbee Alliance, actualmente denominada CSA (Connectivity Standard Alliance). El protocolo ZigBee utiliza el estándar IEEE 802.15.4 y puede operar en diferente frecuencia (siendo las más habituales 868 MHz y 2,4 GHz). El número máximo de nodos en la red es 1024 con un alcance de hasta 200 metros. ZigBee puede utilizar el cifrado AES de 128 bits. La capa de red Zigbee admite topología de árbol en estrella, malla y clúster. Por lo tanto, Zigbee puede llegar a cientos de nodos en la misma red, por lo que permite despliegues a gran escala. La velocidad de respuesta es más rápida que Bluetooth y Wi-Fi. La distancia de transmisión de Zigbee está limitada por el bajo consumo de energía. La distancia de transmisión varía de 10 a 100 metros en condiciones comunes.

IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)

El IETF ha definido 6LoWPAN como una capa de red que permite enviar y recibir paquetes IPv6 a través de redes 802.15.4. La pila de protocolos 6LoWPAN se muestra en la figura de abajo: la capa física y la capa MAC están subordinadas al estándar IEEE 802.15.4, la capa de adaptación se denomina 6LoWPAN, la capa de red puede ser IPv6, ICMP o RPL (Protocolo de enrutamiento para LLN), la capa de transmisión ejecuta UDP y la capa de aplicación es CoAP. 6LoWPAN generalmente ejecuta una subred y se comunica con otra red IP a través de un enrutador fronterizo. El enrutador utiliza IP/ICMP u otro mecanismo de transmisión IPv6 para conectar la red 6LoWPAN e IPv4 ya que el 6LoWPAN solo ejecuta IPv6 basado en IEEE 802.15.4. El enrutador de borde no necesita mantener ningún estado de aplicación ni ejecutar ningún protocolo de aplicación en la pila 6LoWPAN porque transfiere paquetes en la capa de red.



▲ (Fuente: Implementation of 6LoWPAN and Its Application in Smart Lighting)



▲ (Fuente: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>)

Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)

LoRaWAN es un protocolo de red punto a multipunto para comunicaciones de amplia cobertura (WAN) que utiliza el esquema de modulación propietario LoRa, propiedad del fabricante de chips Semtech. Mientras que LoRa es un protocolo propietario de Semtech, las capas superiores han sido estandarizadas y abiertas por la LoRa Alliance, por lo que se habla de LoRaWAN como el estándar abierto que define la capa de control de acceso al medio (MAC) para LPWAN basadas en el chip LoRa, que transmite a través de bandas ISM con un largo alcance de transmisión (más de 10 km en áreas rurales) y bajo consumo de energía.

Admite velocidades de bits que van desde 250 bps a 21,9 kbps. Fue diseñado para conectar dispositivos IoT alimentados por batería y de baja velocidad de bits a través de una amplia cobertura área. En cuanto a los aspectos de red, generalmente se presenta de acuerdo con una topología en estrella y el nodo central generalmente se llama puerta de enlace (Gateway). En escenarios urbanos, se podría instalar más de un Gateway para aumentar la cobertura, de modo que se puedan desplegar varias redes en estrella para cubrir toda el área de servicio. Cada Gateway, que actúa como un concentrador, se conecta al servidor back-end por medio generalmente de la red celular u otra tecnología de comunicación basada en IP.

Tipo	Tecnología		Implementación y despliegue	Alcance nominal (Distancia máx.)	Velocidad de Transmisión	Frecuencia de Comunicación	Latencia	Actualización Firmware	
Cableada	Ethernet		Mediante Cable UTP / RJ45	100 m por cada cable cat 7.	Hasta 10 Gbps en función de la red y el tipo de cable	N/A	Muy Baja	Si, directa y en broadcast	
	Fibra óptica		Mediante Cable monomodo o multimodo	Longitud máx de 100 km. 400 m por cable a 0.65 nm	Entre 300 Mbps y 10 Gbps	N/A	Muy Baja	Si, directa y en broadcast	
	DMX512 / RDM		Mediante cable DMX de 110 ohms	300 m o 32 dispositivos	250 kbps	N/A	Muy Baja	No permite	
	DALI		Mediante cable estándar de 1,5 mm2	300 m o 64 Drivers	1200 baudios	N/A	Media	Sólo DALI-2 con parte 105	
	PLC	Unidireccional	Pulsos	Mediante cable de potencia y secuencia de encendidos/apagados	~1 km	N/A	N/A	Alta	No permite
			Tiempo real	Mediante cable de potencia y transmisor en cabecera	~1 km	Hasta 100 bps	50/60 Hz	Baja	No permite
	Bidireccional		Mediante cable de potencia y transmisor en cabecera	500 m	Hasta 200 Mbps	Típicamente 115 kHz	Alta	No permite	

Tipo	Tecnología	Implementación y despliegue	Alcance nominal (Distancia máx.)	Velocidad de Transmisión	Frecuencia de Comunicación	Latencia	Actualización Firmware	
Inalámbrica	Corto alcance	NFC	Mediante emparejamiento	15 cm	Entre 106 y 848 kbps	13.56MHz	Baja	No permite
		Bluetooth	En estrella o mediante emparejamiento	En su versión 4.0: 100 m En su versión 5.0: 250 m	Entre 24 y 50 Mbps	2,4 GHz	Muy Baja	Si, dispositivo a dispositivo
	Medio y largo alcance	Bluetooth Mesh	Mediante malla; red local propia a mantener.	En su versión 4.0: 100 m En su versión 5.0: 250 m	Entre 24 y 50 Mbps	2,4 GHz	Muy Baja	Si, en broadcast
		Zigbee	Mediante malla; red local propia a mantener.	Hasta 100 m.	Hasta 250 kbps	868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz	Muy Baja	Si, en broadcast
		6LoWPAN	Mediante malla; red local propia a mantener.	Hasta 200 m.	Desde 0,3 a 50 kbps	2,4 GHz, 868 MHz y 915 MHz	Muy Baja	Si, en broadcast
		LoRaWAN	Requiere de un despliegue de antenas mediante estrella; red local propia a mantener.	Hasta 8 km a 980 bps.	Desde 0,3 a 50 kbps	868 Mhz en Europa	Media	Si, dispositivo a dispositivo
		NB-IoT	Mediante celular; red operador móvil.	Cobertura Celular > 50 km	Hasta 250 kbps	800, 900 y 1800 MHz en Europa	Media	Si, dispositivo a dispositivo
		LTE-M	Mediante celular; red operador móvil.	Cobertura Celular > 50 km	Hasta 300 Mbps	Entre 700 y 2600 MHz en Europa	Baja	Si, dispositivo a dispositivo
		Otras RF basadas en IEEE 802.15.4	Mallada o en estrella; red local propia a mantener.	Desde 50m hasta 400 m en función de la RF utilizada	Variable	Entre 868 MHz y 2,4 GHz	Muy Baja	Si, en broadcast

Como se puede observar, la red resultante es muy similar, desde un punto de vista arquitectónico, a una red celular. De hecho, los Gateway LoRa repartidos por toda la ciudad juegan exactamente igual papel que las estaciones base celulares. La principal diferencia es que las redes LoRa son privadas, por lo que el titular de la infraestructura de iluminación inteligente es también el propietario de este activo fundamental.

4.3 CAPA DE SOFTWARE

En el nivel superior de toda la arquitectura, se encuentra la capa de Software, es la capa donde reside la mayor parte de la inteligencia del sistema y donde confluyen todas las aplicaciones de gestión de datos. Esta capa se encarga de recopilar los datos de diferentes componentes de los sistemas, configurar o programar los dispositivos, analizar los datos y ejecutar los algoritmos definidos por el usuario.

En esta capa, se puede supervisar el rendimiento de los activos instalados y personalizar todo tipo de avisos al usuario, ya sean alarmas o informes de fallo, de modo que el mantenimiento se pueda realizar en el momento y lugar precisos. También es en esta capa donde se puede analizar el rendimiento

del sistema global mediante la extracción de informes de funcionamiento.

Aquí se encuentran desde las aplicaciones más sencillas, como de lectura de un código QR en la luminaria, hasta las plataformas más complejas, y de más alto nivel, instaladas en servidores con capacidad de integrar datos de diferentes fuentes ya sea en soluciones "cloud", con los diferentes tipos de servicios que éstas pueden aportar, o en soluciones locales.

Eso sí, es importante que todas ellas sean soluciones abiertas que dispongan de APIs para el intercambio de datos u operaciones sin problema, de un sistema a otro.

En muchos documentos se puede denominar a esta capa, como capa de CMS, o CMS o capa de alojamiento de CMS – CMS puede tener diferentes significados, aunque generalmente tienen el mismo propósito: Software de gestión central, Sistema de gestión central o Sistema de gestión de la ciudad. En el contexto de la smart city y contando con IoT, CMS se refiere al software de administración central, una aplicación que permite configurar, controlar, comandar y monitorear dispositivos conectados en red de forma remota.

4.3.1 Modo de acceso

4.3.1.1 Instalación local, sin conectividad externa:

Este tipo de instalación se suele usar en alumbrado exterior para aplicaciones básicas, como pueden ser cambios de perfiles de regulación, programación del driver de la luminaria o geolocalización del punto de luz para la gestión del inventariado. Para ello se utilizan aplicaciones de software básicas con acceso al software en modo local (sin conexión a internet), con desplazamiento físico al punto concreto de la instalación (luminaria o cuadro) y mediante los siguientes tipos de tecnología de interacción con la luminaria o la red de alumbrado:

- **Wireless:** NFC, Bluetooth, lector de Código QR/Barras, uso de GPS.
- **Cableada:** PLC, USB o conexión Ethernet.

En definitiva, para este tipo de acceso, suelen ser softwares locales básicos o Apps para dispositivos inteligentes, ya sean móviles o tabletas (o incluso softwares que se instalan en ordenadores portátiles) especialmente diseñados para acciones locales sobre las luminarias o la red eléctrica de alumbrado.

Las acciones que suelen realizarse en este tipo de acceso mediante instalación local son los siguientes:

- Gestión de activos locales para el inventariado.
- Geoposicionamiento de los puntos de luz.
- Cambios de perfiles de regulación.
- Reprogramación de drivers.
- Programación de sensores locales.
- Configuración de redes autónomas.

4.3.1.2 Instalación Remota, conectividad local y remota:

Este tipo de instalación se usa para sistemas más complejos, son CMS más avanzados a niveles superiores que los anteriores y que están más enfocados a requerimientos de Smart City más globales que buscan normalmente sinergias a nivel de software entre los distintos servicios de la ciudad, como puede ser alumbrado, aparcamiento, movilidad, gestión de riego, recogida de residuos...etc.

Lo habitual es que este tipo de instalaciones dispongan de soluciones en nube, ya que una solución cloud es un producto informático cuya finalidad es almacenar los datos de una organización a través de un proveedor. Gracias a las soluciones cloud, las empresas pueden acceder de forma remota a programas de software, procesamiento de datos o almacenamiento de archivos, mediante un modelo de pago por uso, esto es lo que se conoce como servicios cloud.

En términos prácticos, los servicios cloud son servicios informáticos prestados a través de Internet. Estos incluyen desde un software para cualquier función administrativa hasta servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, análisis

e inteligencia artificial. Por lo general, son recursos flexibles y escalables con los que la empresa contratante puede dinamizar sus operaciones y aumentar su productividad. Sencillamente, esto es lo que conocemos como computación en la nube o cloud computing. Y "la nube" no es otra cosa que la capacidad de los servidores web de los proveedores de tales servicios para procesar y almacenar datos mediante sus aplicaciones.

Gracias a los servicios cloud, accedes a las herramientas que necesitas en cada momento, son escalables y modificables en el tiempo y son gestionados para orientarlos a la mayor eficiencia en cuanto a la solución que se requiera.

- Si pensamos en soluciones para la Smart City, evidentemente hablamos de softwares CMS, dedicados para que cada ciudad trate los recursos físicos que posee en su capa de hardware para facilitar su gestión y el servicio que pueda ofrecer la vida a sus ciudadanos. En el caso del alumbrado dichos recursos Hardware son las luminarias, los sensores y los nodos principalmente, pero no debemos quedarnos únicamente en su gestión, sino que debemos pensar en interacciones con otros servicios, y todo esto puede realizarse en esta capa de manera que sea escalable, adaptable y adaptativo en función de las necesidades de la ciudad.

El acceso suele ser a través de internet mediante herramientas web https, pero no debemos olvidar que puede accederse a la luminaria o la red de alumbrado mediante todas las descritas anteriormente y mediante un gateway llevar esa información a la nube, es posible por tanto todos los accesos que podamos pensar hoy en día.

Es importantísimo gestionar la ciberseguridad al máximo en este tipo de situaciones, ya que el acceso a internet es necesario, y es aquí donde podemos sufrir los mayores puntos de ataque al sistema, hemos dedicado un apartado específico para tratar la ciberseguridad en el presente documento.

Acciones que suelen realizarse:

- Gestión de activos para configurar, controlar, ordenar y supervisar diferentes tipos de activos.
- Gestión de reportes, alarmas e informes.
- Gestión de interacción con otros servicios.

La solución en la nube está normalmente formada por un backend y una interfaz de usuario. La arquitectura de la plataforma de un CMS bajo IoT es «nativa de la nube», basada en microservicios y sin servidor. Los subsistemas de la solución se suelen crear como servicios discretos que son escalables y se pueden implementar de forma independiente. Estos atributos permiten una mayor escalabilidad y flexibilidad al actualizar subsistemas individuales, y proporcionan flexibilidad para elegir por separado la tecnología adecuada para cada subsistema. Esto posibilita la supervisión de subsistemas individuales, así como de la plataforma de CMS bajo IoT completa.

La interfaz de usuario de la plataforma CMS es una aplicación de software interactiva, y debe ser fácil de usar y robusta. Se trata de una aplicación basada en web que permite a los usuarios configurar, controlar y supervisar remotamente muchos tipos de dispositivos en una red conectada —ya sean luminarias, nodos o sensores (en el caso del alumbrado)—. Y debe ser escalable y poder interactuar con otros CMS.

4.3.2 Funcionalidades principales

Lo que trataremos de definir en este apartado, son las funcionalidades principales del Software, que básicamente es ese conjunto de Backend e Interfaz de usuario definido anteriormente:

- El backend es una parte trascendental dentro del desarrollo web y el desarrollo de aplicaciones, pues se encarga de todos los procesos necesarios para que la web (Interfaz con el usuario) se ejecute de forma correcta. El backend ejecuta procesos y funciones que no son visibles para el usuario final, pero que tienen trascendental importancia en el buen funcionamiento de una app o web. Este backend puede ser diseñado por el desarrollador del Software de gestión (CMS) o puede ser contratado a terceros que se especializan en el desarrollo de este tipo de arquitecturas y que ofrecen una seguridad de funcionamiento externa.
- El Interfaz de usuario es la parte del software que comunica directamente con el usuario de una forma amigable e intuitiva a través de la app o de una página web, o incluso en algunos casos de una combinación de ambas. Básicamente es el interlocutor entre el usuario final (los gestores de la smart city) y el Hardware (las luminarias, sensores, nodos...etc).

En realidad, las funcionalidades principales son dos muy básicas y otras más avanzadas:

- Funcionalidades básicas de lectura y escritura (Reprogramación).
- Funcionalidades avanzadas de gestión de activos para configurar, controlar, ordenar y supervisar diferentes tipos de activos.

4.3.3. Interoperabilidad

En la visión general de una Smart City, al conjunto de dispositivos, sistemas, aplicaciones relacionadas con el alumbrado (todo lo anteriormente descrito), se le suele denominar “vertical de alumbrado”. A su vez, dicha vertical puede encontrarse conectada con otras verticales y/o con una plataforma de ciudad inteligente, habitualmente denominada “horizontal” o plataforma de ciudad.

El concepto de plataformas de ciudades inteligentes ha surgido de la idea de, integrar los flujos de datos de sensores y dispositivos de todas las verticales de ciudades inteligentes, para permitir una gestión y análisis coordinados de los datos de la ciudad a través de una única interfaz. Sin embargo, debido a la inmensa complejidad, las ciudades históricamente han carecido

de una perspectiva holística y han invertido principalmente en soluciones aisladas en varias verticales de ciudades inteligentes, separadas entre sí con sus propias redes y sistemas de gestión de software. Hasta ahora, la creación de plataformas de ciudades inteligentes ha sido en gran medida una cuestión de integración posterior al despliegue de diferentes sistemas. Sin embargo, dicha integración se ha realizado con diversos grados de éxito debido a problemas de interoperabilidad. No obstante, el énfasis en la interoperabilidad ha aumentado en los últimos años y las empresas activas dentro de verticales de ciudades inteligentes específicas, están agregando cada vez más funcionalidad para soluciones de ciudades inteligentes adicionales a sus ofertas principales. Esta Plataforma de gestión global de la Smart City, se encuentra en su capa más alta.

Una vez clara la estructura de una Smart City y, con el objetivo de ofrecer medios abiertos en todo el ámbito del ecosistema que necesite una ciudad inteligente, se crean soluciones y asociaciones o consorcios que dan cabida al paso de información entre diferentes soluciones que facilitan la integración en terceros, a la estandarización de soluciones para abrir la puerta a la adaptabilidad de los sistemas y a la globalización de dichas soluciones que proporcionan la interoperabilidad entre diferentes procedimientos. Estas soluciones y organizaciones son las siguientes:

API

Una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) es una interfaz de programa que utiliza un conjunto de funciones, procedimientos, definiciones y protocolos de comunicación que permite interacciones / interconexiones, comunicación e intercambio continuo de datos entre diferentes sistemas (como CMS), software y dispositivos conectados.

Una API es una especificación formal que establece cómo un módulo de un software se comunica o interactúa con otro para cumplir una o muchas funciones.

Las integraciones de las API son componentes de software que actualizan automáticamente los datos entre los clientes y los servidores. Algunos ejemplos de integraciones de las API son la sincronización automática de datos en la nube desde la galería de imágenes de su teléfono o la sincronización automática de la hora y la fecha en su laptop cuando viaja a otra zona horaria. Las empresas también pueden utilizarlas para automatizar de manera eficiente muchas funciones del sistema.

La API actúa en esa capa superior de la ciudad inteligente, cohesionando la plataforma única horizontal de gestión total de la smart city, con cada una de las soluciones verticales que llegan a ella. Cada vertical tiene su API específica, y es una pasarela de información de un software a otro.

Las API pueden funcionar de maneras diferentes, según el momento y el motivo de su creación. Sin embargo, nos vamos a centrar en la estandarización de las API mediante el consorcio TALQ, en la API de tipo REST, ya que son las API más populares

y flexibles que se encuentran en la web actualmente, en la API para plataformas de código abierto tipo FIWARE que son muy ampliamente utilizadas y por último haremos una mención a uCiFi que está empezando a ser popular en cuanto a estandarización del modelo de datos:

Es el nombre de un consorcio y protocolo Smart City que permite a las redes de dispositivos exteriores (ODN) de varios proveedores interoperar y comunicarse con un único software de gestión central (CMS) a través de un protocolo de aplicación estándar.

El Consorcio TALQ tiene como objetivo definir un protocolo de ciudad inteligente globalmente aceptado para el software de administración central (CMS) para configurar, controlar, ordenar y monitorizar redes heterogéneas de dispositivos de ciudad inteligente.

TALQ se sitúa entre la capa 1 y la capa 2 definidas anteriormente, un escalón por debajo de las APIs, entre el software de gestión de cada vertical, y los nodos o controladores empleados en su red de alumbrado como inteligencia del sistema, tratando de establecer un "mismo idioma" para todos los nodos hacia el CMS (Central Management System o Software de gestión central de cada vertical).

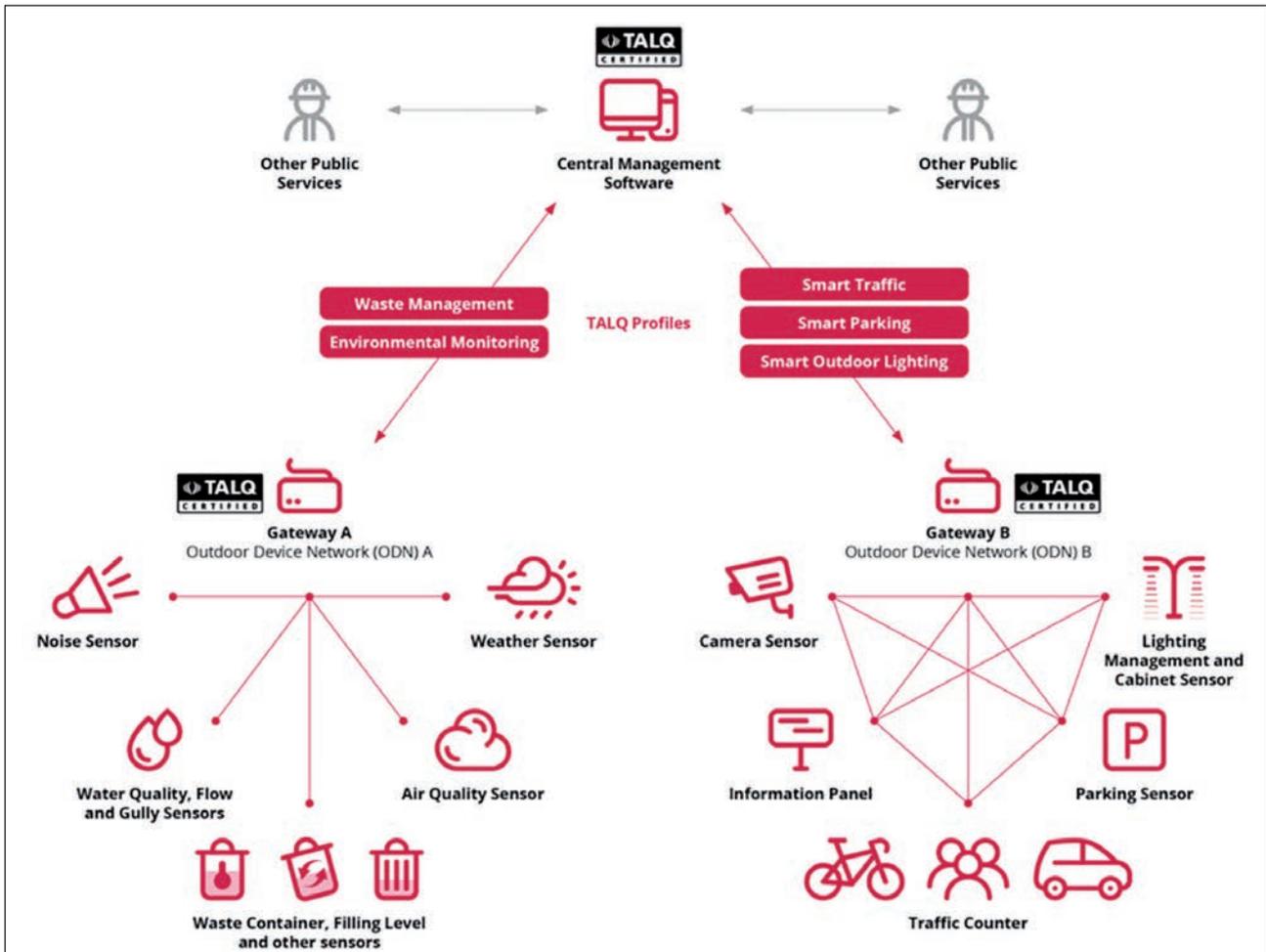
La certificación TALQ 2 garantiza que las soluciones de iluminación inteligente respeten el protocolo TALQ Smart City. El Consorcio TALQ ha desarrollado un protocolo estándar global para permitir que el software de administración central configure, controle, ordene y monitoree múltiples redes de dispositivos exteriores de varios proveedores a través de un protocolo RESTful / JSON fácil de integrar. Es la estandarización de una Smart City API.

Para obtener información detallada sobre la API de TALQ 2, consulte el sitio web oficial de TALQ: <https://www.talq-consortium.org/>

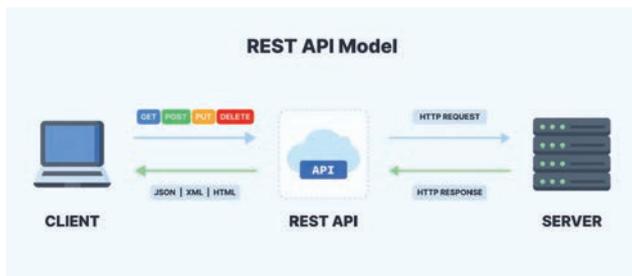
Estándar REST

En la API de tipo REST, el cliente envía las solicitudes al servidor como datos. El servidor utiliza esta entrada del cliente para iniciar funciones internas y devuelve los datos de salida al cliente. REST significa transferencia de estado representacional.

Los clientes y los servidores intercambian datos mediante HTTP. La principal característica de la API de REST es que no tiene estado. La ausencia de estado significa que los servidores no guardan los datos del cliente entre las solicitudes. Las solicitudes de los clientes al servidor son similares a las URL que se escriben en el navegador para visitar un sitio web. La respuesta del servidor son datos simples, sin la típica representación gráfica de una página web.



▲ (Fuente: TALQ: <https://images.app.goo.gl/yN4nRymmv8unvQof9>)

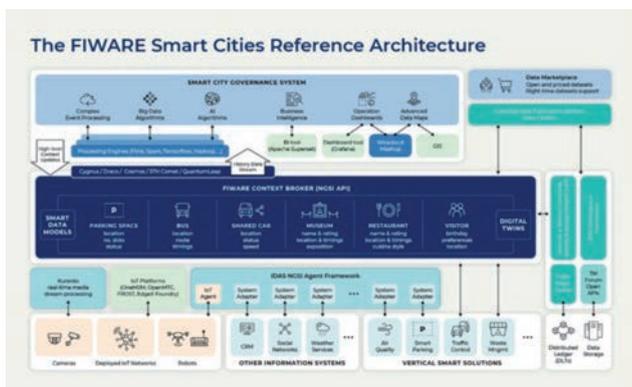


▲ (Fuente: REST: <https://images.app.goo.gl/dsSKwZkcxMfBxUVb7>)

El uso de API de REST ha permitido la aparición del concepto “Open API” donde las empresas publican su API lo que permite a los desarrolladores tener acceso a la codificación de un sistema propietario. En otras palabras, los desarrolladores pueden codificar/programar fácilmente diferentes sistemas o aplicaciones según los requisitos para establecer una interconexión e interoperación adecuada entre ellos.

FIWARE

FIWARE es una plataforma de código abierto con un ecosistema colaborativo de desarrolladores, centros de innovación, aceleradoras, ciudades y multitud de empresas. FIWARE fue financiado por el VII Programa Marco de la Unión Europea dentro de su proyecto de colaboración público-privada para el Internet del Futuro (FI-PPP - Future Internet Public-Private Partnership). A principios de 2012, el consorcio europeo formado por Telefónica y Orange y las consultoras Engineering y Atos anunció un proyecto para desarrollar estándares de FIWARE para smart cities.



▲ (Fuente: FIWARE: <https://images.app.goo.gl/ccZlLoP3yN3LQdUn9>)

FIWARE ofrece un estándar 100% abierto (Open Source), con modelos de datos abiertos y de uso libre de licencias, con una adopción masiva. APIs estandarizadas por la OMA y la ETSI a través del estándar ETSI NGSI-LD. Y una adopción por más de 250 ciudades en el mundo

FIWARE dispone de un ecosistema de componentes de plataforma de software de código abierto que se pueden ensamblar juntos y con otros componentes de terceros para construir plataformas que respalden el desarrollo de soluciones inteligentes.

La comunidad FIWARE desempeña un papel activo en la evolución de las especificaciones ETSI NGSI-LD que se basaron en NGSIv2 y se compromete a ofrecer implementaciones de código abierto compatibles de las especificaciones.

Los listados de muchos dispositivos FIWARE Ready y soluciones comerciales “Powered by FIWARE” se pueden encontrar en FIWARE Marketplace.

UCIFI

Por último, cabe resaltar el crecimiento de UCIFI, que es una asociación de ciudades, servicios públicos y líderes en IoT sin ánimo de lucro y comprometidos con las Smart Cities y su liberalización en cuanto a sistemas abiertos se refiere.

UCIFI, cubre todas las capas de la Smart City, abarca toda su arquitectura, y tiene una misión muy definida:

Los mercados Smart Streetlight y Smart Metering comenzaron con los primeros proyectos hace unos 10 años. Incluso se implementaron docenas de proyectos de ciudades inteligentes desde entonces, estos mercados aún no están maduros, principalmente debido a los sistemas de IoT patentados por un solo proveedor. Cada proveedor tiene su propio idioma (es decir, formato de carga de datos) independientemente de la tecnología y arquitectura de red. Como resultado, los grandes proyectos de medición y ciudad inteligente requieren mucha integración de API patentada y traducción de cargas de datos en información de ciudad inteligente más relevante para las aplicaciones.

La primera misión de uCIFI es definir un modelo de datos unificado para todos los objetos de ciudades inteligentes, basado en el formato de datos OMA Lwm2M estandarizado. Los expertos en ciudades inteligentes han contribuido al modelo unificado de datos uCIFI Versión 1, que está diseñado para ser extensible para cubrir más objetos y más aplicaciones en el futuro. El modelo de datos uCIFI es adecuado para implementarse en cualquier red IoT, incluidas las redes inalámbricas de malla LoRaWAN, NB-IoT, 802.15.4G, así como las redes propietarias IoT.



▲ (Fuente: UCIFI: <https://images.app.goo.gl/r8JWtJhcNSYW2xBz9>)

Para obtener información detallada sobre el consorcio uCIFI, consulte el sitio web oficial de uCIFI: <https://ucifi.org/>.

5. Operación y gestión

Al desplegar una nueva infraestructura smart city en combinación con la infraestructura existente de alumbrado público, resulta necesario operar la instalación resultante, así como gestionar sus funcionalidades, con un enfoque integral. Como se ha detallado en apartados anteriores, nos encontramos ante una infraestructura que combina diversos elementos físicos (capa de hardware), que pueden o no implicar una red (o capa de comunicación), así como una capa de aplicaciones que gobierna las capas inferiores. En la capa hardware, por un lado, tenemos los elementos propios del alumbrado (soportes, canalizaciones, arquetas, luminarias, centros de mando, etc.) y, por otro lado, los elementos smart de sensorización (sensores, actuadores, controladores, etc.) En la capa de comunicación, nos encontramos tanto como hardware (nodos o antenas, repetidores, gateways o pasarelas, etc.) como con software y firmware específico para dichos elementos. En la capa de aplicación pueden existir una o varias plataformas y/o aplicaciones informáticas, cuya operación y gestión también hay que tener en cuenta. Entre ellas podemos destacar los siguientes conceptos a considerar:

5.1 DOCUMENTACIÓN Y FORMACIÓN

Históricamente, la infraestructura de alumbrado público ha estado gestionada por departamentos específicos, dentro del dominio de la ingeniería eléctrica. Sin embargo, la incorporación de tecnologías de comunicación y software implica un cierto nivel de formación y especialización en IT. Sin embargo, los perfiles IT no son suficientes, puesto que el alumbrado no puede ser reducido a una infraestructura IoT, sino que requiere especialización en el campo luminotécnico y eléctrico para tomar las decisiones adecuadas. En resumen, es necesario una combinación de capacidades y habilidades para los departamentos gestores de la nueva infraestructura combinada. Ha tener en cuenta:

- Gestión de usuarios
- Formación de nuevos perfiles tecnológicos
- Documentos de funcionalidad
- Documentos de Mantenimiento de hardware, software, etc.
- Documentos de garantías
- Acuerdos de nivel de servicios

5.2 GESTIÓN DEL TRASPASO DE INFORMACIÓN

La importancia del traspaso de información para que la instalación no quede inoperativa o vulnerable frente a este momento del cambio. Los inventarios existentes deben actualizarse en cuanto a sus campos de datos añadiéndoles sus nuevas especificaciones (conectividad, sensorización, etc.) y ser exportados al nuevo formato que puedan demandar las nuevas bases de datos.

5.3 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y PLATAFORMAS

La operación y mantenimiento de los equipos y plataformas *smart* no sustituye a las empresas o brigadas municipales de mantenimiento específico del alumbrado público, sino que es una herramienta complementaria a dicho servicio, que puede ser ejecutada por los equipos que actualmente los ejecutan si éstos alcanzan la formación específica o ser complementada por perfiles adicionales.

Los distintos niveles de soporte se podrán clasificar de la siguiente manera:

- **Nivel 1:** Es el soporte ofrecido por la empresa de mantenimiento alumbrado público e implica el trabajo en campo de sustitución de equipos, revisión y comprobación de los componentes físicos. En este nivel la empresa suministradora de los equipos de telegestión y/o la plataforma, puede dar soporte on-line en el diagnóstico, configuración y/o actualización de los equipos, como servicio de reparación o actualización en sus instalaciones.
- **Nivel 2:** Este nivel es el servicio de soporte, para el mantenimiento y actualización de la plataforma de telegestión, ofrecido por la empresa que gestiona la plataforma (SaaS).
- **Nivel 3:** Este servicio lo ofrece la empresa suministradora de los componentes hardware incluyendo el soporte on-line y de reparación del Nivel 1, junto con el servicio de Nivel 2. Este modelo permite una evolución futura del sistema de telegestión con actualizaciones constantes.

Gran parte de las plataformas *smart* se gestionan mediante un servicio de SaaS, es decir, es un modelo de distribución de software donde el soporte lógico y los datos que maneja se alojan en servidores de una compañía de tecnologías TIC. Este tipo de servicio suele incluir 3 conceptos como son:

- Alojamiento (hosting): son servidores en la nube (tipo Amazon AWS, Google Cloud o Microsoft Azure), a los que se accede vía Internet desde un cliente. Esta infraestructura se recomienda que cuente con firewalls redundantes para garantizar la máxima seguridad de los datos, así como su máxima disponibilidad. El servicio de hosting debe poder adaptarse a las necesidades futuras para posibles ampliaciones y/o nuevas capacidades del software.
- Comunicaciones: Las comunicaciones de nodos, antenas o gateways con el software suelen usar comunicaciones M2M. En la mayoría de los casos de SaaS, la gestión de las comunicaciones la suele proporcionar el propio proveedor de la solución, ya que de esta manera se garantizan las comunicaciones y se evita el efecto "ping-pong" entre

proveedor de la solución y proveedor de las comunicaciones que no facilita el buen funcionamiento del sistema.

- Soporte, mantenimiento y actualizaciones: Para un buen funcionamiento de la plataforma es necesario que exista un mantenimiento y actualización adecuado. Las actualizaciones incluyen mejoras, nuevas funcionalidades, así como mantenimientos correctivos de bugs. El soporte suele ofrecerse en función del número de puntos de luz, número de puntos de acceso (Gateway) y/o número de cuadros a gestionar. El nivel de servicio variará en función del grado requerido por el cliente, ya que éste podrá incluir diferentes necesidades y/o módulos como pueden ser: Inventario, Gestión Energética, Informes, Carga de facturas.

5.4 OPERACIÓN DE LA RED

La gestión de la red es una consideración importante para los municipios. Cuando se utiliza la red pública móvil o celular (licenciada), la gestión se simplifica enormemente ya que los servicios de conectividad son proporcionados por las operadoras de telecomunicaciones adjudicatarias en las bandas correspondientes del espectro radioeléctrico. En el caso de que se utilicen redes privadas (no licenciadas), hay tres modelos de gestión principales:

- La red es propiedad y está administrada por una administración pública supramunicipal (diputación, comunidad autónoma, agencia de energía, etc.), que proporciona el servicio de conectividad al municipio.
- La red es propiedad y está administrada por el municipio.
- La red es propiedad del municipio, pero la gestión se subcontrata a un tercero operador en nombre del municipio.
- La red no es propiedad del municipio y se contrata servicio de gestión integral.

Muchos municipios poseen y administran sus propias redes de comunicaciones de seguridad pública. Poseen infraestructura de comunicaciones, incluidas torres de radio, fibra óptica, infraestructura inalámbrica y de antena. Tienen una organización interna y recursos para administrar esta infraestructura. Los municipios que tienen esta capacidad deben evaluar la viabilidad de incorporar la gestión de conectividad de IoT en su organización, lo que puede significar capacitar al personal de tecnología de la información existente en los nuevos sistemas de IoT, agregando así el soporte de IoT a las funciones y responsabilidades del departamento de TI existente. Muchos municipios más pequeños no poseen mucha infraestructura. En este caso, sus opciones son desarrollar esta capacidad internamente, lo que puede representar un desafío difícil, o contratar a un tercero (privado o público) para administrar y operar su red. En algunos casos, dichos municipios pueden contratar con otras agencias regionales que tengan esta capacidad existente.

6. Ciberseguridad

La seguridad es un factor vital a la hora del diseño del software, proteger de daños a los usuarios y a la infraestructura urbana es prioritario para el diseñador de la Smart City. Al desarrollar soluciones de IoT (Internet of Things o Internet de las cosas) innovadoras, se debe implementar el nivel más alto de seguridad. Al centrarse en la seguridad del producto y las medidas de seguridad de la empresa, se debe tener como objetivo optimizar la disponibilidad, integridad y confidencialidad de los datos y la información reservada de los usuarios, ya sean ciudades o ciudadanos, así como su protección frente a posibles vulnerabilidades.

Debido al posible incremento de la integración de dispositivos externos (ya sean sensores, nodos o cualquier otro elemento) con la plataforma software de IoT y la adopción de servicios en la nube (servidores dedicados a la gestión de los datos), es necesario llevar al máximo nivel las medidas de seguridad de sus productos. Ya que los datos y aplicaciones existen tanto dentro como fuera de cortafuegos, los equipos de seguridad y de IT deben esforzarse por garantizar que los dispositivos integrados a la plataforma y aquellos externos que se integren desde fuera estén tan seguros como los dispositivos de dentro (seguridad end-to-end). Es vital, por tanto, centrar esfuerzos en otorgar acceso a los dispositivos externos solo después de una valoración estricta de los riesgos asociados con cada solicitud. Además, solo se debe otorgar acceso a los usuarios según los principios de PAM (gestión de acceso privilegiado).

Para proteger las plataformas en uso contra sistemas, dispositivos, aplicaciones o comportamientos de los usuarios que resulten sospechosos, deben registrarse y supervisar los incidentes de seguridad mediante un sistema de SIEM (gestión de información y eventos de seguridad) gestionado por un equipo exclusivo de respuesta a incidentes. Es necesario también, implementar medidas y procedimientos basados en las mejores prácticas que identifican y mitigan potenciales riesgos de seguridad de la solución durante el desarrollo, de acuerdo con los principios de seguridad por diseño.

Como buenas acciones a llevar a cabo en la plataforma, es importante aislarla garantizando siempre:

- Permanencia de los datos
- Aislamiento de los datos
- Identidad aislada
- Acceso aislado
- Gestión aislada de dispositivos
- Medición aislada de dispositivos
- Análisis aislado del rendimiento

Conforme aumenta el despliegue de dispositivos conectados y redes IoT, aumenta la superficie de exposición a ataques y el riesgo de acceso no autorizado a sistemas y datos. A menudo, el dispositivo o la ubicación de la penetración no es el objetivo del

ataque, pero se produce ahí porque es el punto de entrada más fácil. El modelo de bajo costo y baja complejidad de la mayoría de los dispositivos IoT implica que los fabricantes tienen pocos incentivos para agregar funciones de seguridad, y es poco probable que los dispositivos tengan suficiente capacidad de procesamiento para admitir cualquier aplicación de seguridad adicional. Por otra parte, la mayoría de los dispositivos IoT están destinados a minimizar la interacción humana o se implementan en ubicaciones remotas o inaccesibles, por lo que son menos seguros físicamente y no están bajo observación directa. Esto implica que cualquier mal comportamiento puede pasar desapercibido durante algún tiempo. Además, las implementaciones de IoT pueden suponer una mayor amenaza porque pueden interactuar con el entorno físico de manera disruptiva (por ejemplo, desactivación remota del alumbrado público, uso de cámaras de seguridad o audio para robo de datos, etc.), abriendo nuevas formas de socavar la seguridad y la privacidad.

Los sistemas tradicionales se han ocupado de la seguridad aislando los activos críticos, ya sea dejándolos desconectados de cualquier red o utilizando redes cerradas y privadas, protocolos propietarios y hardware y software especializado y a medida. Pero la mayoría de los dispositivos IoT utilizan hardware y sistemas operativos estándar, protocolos estándar como TCP/IP para la transferencia de datos, HTTP para el acceso a los datos y, por lo general, redes inalámbricas para conectividad.¹

Los datos y la ciberseguridad son áreas de alta especialización, por lo que es fundamental adoptar un enfoque correcto ya que el reparto de responsabilidades entre los diferentes actores será muy diferente. Por ejemplo, si se elige un enfoque basado en la nube en lugar de uno local, el proveedor de la nube tendrá la mayor parte de la responsabilidad y el proveedor de la plataforma se encargaría de casi todo lo demás, como el cifrado y las copias de seguridad. Esto deja al usuario final "únicamente" la responsabilidad de proteger las contraseñas, las identidades de los usuarios y otras cuestiones propias de la gestión de cuentas. De igual manera, si se usan redes licenciadas

A modo no exhaustivo, en el ámbito de la ciberseguridad aplicada al *smart lighting*, se pueden destacar los siguientes aspectos:

- **Confidencialidad:**

- Roles de usuario específicos.
- Contraseñas fuertes y autenticación de dos factores.

- **Integridad:**

- Encriptado completo.
- Validación de inputs
- Comunicación fiable
- Actualizaciones periódicas

1. Understand the essential strategies for IoT security. Legrand.



- **Garantía de servicio**
- **Seguridad de las operaciones**
- **Optimización de la disponibilidad**
 - Evitar tiempo de inactividad
 - Alta robustez
 - Operación a prueba de fallos
 - Revisiones continuas

Resumen:

La seguridad debe ser uno de los factores principales a la hora del diseño del Software ya que juega un rol vital, proteger de daños a los usuarios y a la infraestructura urbana es prioritario para el diseñador de la Smart City. Al desarrollar soluciones de IoT (Internet of Things o Internet de las cosas) innovadoras, se deben implementar los estándares más altos de seguridad para cada una de las capas que componen el sistema.

7. Consideraciones financieras

7.1 ESTRUCTURA DE COSTES

Desde una perspectiva financiera, resulta útil dividir el ciclo de vida típico de un despliegue del *smart lighting* en dos fases:

1. Planificación y despliegue: se incluyen tanto los costes de estudio, diseño y validación del primer dimensionado, como los de inversión propios de la adquisición, instalación y puesta en marcha de la tecnología.
2. Operación y mantenimiento: incluye los costes necesarios para garantizar la disponibilidad del servicio, incluyendo el mantenimiento, o los consumos de electricidad o tráfico de datos, entre otros. Dentro de esta fase, también se incluyen inversiones posteriores necesarias por extensión de la red (escalabilidad), que dependerá de cómo se haya realizado el primer dimensionado y despliegue.

Para poder cuantificar todos los costes asociados a todas las fases, el mayor indicador sería el Coste Total de Propiedad (TCO, acrónimo de Total Cost of Ownership). El TCO es una métrica que mide la cantidad de dinero gastado en la adquisición de cualquier dispositivo, y su cálculo se basa no solo en el precio de compra sino también en la cantidad de dinero gastado desde una perspectiva a largo plazo. Por lo tanto, el TCO mide el coste de adquisición, mantenimiento y operación de un activo determinado.

Hay una serie de factores que deben considerarse al calcular el TCO y no todos son obvios. Los costes cualitativos o indirectos de una solución de *smart lighting* (tales como ciberseguridad, escalabilidad, integración, soporte técnico, formación y soporte técnico, coste por no disponibilidad del servicio, etc.) son mucho más difíciles de pronosticar que los costes puramente técnicos (coste de adquisición, coste de instalación, coste de conectividad y energético, coste de mantenimiento preventivo y correctivo, etc.)

7.2 MODELOS DE DESPLIEGUE

Una de las decisiones más importantes con respecto a un despliegue de *smart lighting* es cómo se construirá y cuál será el modelo de propiedad.

En la actualidad se pueden identificar dos modelos principales, que normalmente aparecen combinados en un tercer modelo mixto de los otros dos:

A) Infraestructura propia:

En este modelo, el usuario final define los requisitos específicos para los dispositivos y su despliegue se ejecuta generalmente mediante contratos con una o varias empresas que se encargan de construir la infraestructura según esas especificaciones (probablemente después de uno o varios procesos de licitación).



Nota: el coste de persona se encuentra incluido en el mantenimiento.

Este es el modelo habitual para la capa de hardware: despliegue de luminarias LED sin nodos ni sensores, centros de mando sin controladores de gestión remota, etc.

En el caso de la capa de comunicaciones y de software, significa que el usuario final/propiedad pagaría el coste total de la construcción, instalación, operación y mantenimiento, y sería propietario del sistema completo. Por ejemplo, una aplicación móvil implicaría disponer también de la infraestructura IT necesaria.

Este modelo presenta las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Costes de inversión inicial mayor. • Gasto operativo presumiblemente menor. • Especificaciones técnicas totalmente personalizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exige mayor capacidad técnica en áreas distintas al alumbrado. • Puede obligar a contratar otros servicios por separado (mantenimiento, integración, ciberseguridad, etc.), siendo muy variable por ser un despliegue personalizado. • El riesgo del servicio es asumido al 100% por el usuario final / propiedad.

B) Infraestructura ajena / Suscripción:

En este modelo, el usuario final elige entre soluciones comercializadas por otras empresas con especificaciones técnicas predefinidas, que podrían personalizarse en mayor o menor grado según cada caso.

Este es el modelo más habitual para las capas distintas al hardware (aunque también se puede dar en esta, el llamado Lighting-as-a-Service, o instrumentos financieros tales como el leasing o el renting). En el caso de la capa de comunicaciones, este es el caso claro para las tecnologías basadas en redes licenciadas (GPRS, NB-IoT, LTE Cat-M1) donde los operadores móviles son los que se encargan de desplegar, mantener y operar la infraestructura de red, ofreciendo su uso a cambio de una cuota.

Asimismo, en la capa de software o aplicaciones este modelo es el denominado SaaS (Software-as-a-service) en la que el proveedor de la aplicación se encarga de su desarrollo inicial, mantenimiento, actualización y del almacenamiento de datos.

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Costes de inversión inicial menores. • Disponibilidad del servicio presumiblemente superior. • Riesgo asumido por el proveedor del servicio. • No exige mayor capacidad técnica en áreas distintas al alumbrado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasto operativo presumiblemente mayor. • Especificaciones técnicas predefinidas con menor flexibilidad.

C) Modelo mixto: Propiedad + Suscripción

Como se ha indicado anteriormente, en función de la capa puede ser más habitual el modelo de propiedad o el de suscripción.

Por este motivo, es habitual que exista el modelo mixto que combina activos en propiedad con prestación de servicios por operadores externos. A continuación, se resume el modelo más habitual hoy en día para las distintas capas:

- **Capa de hardware:** Propiedad. Existe una tendencia a modelos de suscripción mediante *LaaS* o *renting*, pero aún no está muy extendida.
- **Capa de comunicación:**
 - Redes públicas (bandas licenciadas): Suscripción
 - Redes privadas (banda libre): en general suele ser un modelo de Propiedad, aunque existen proveedores que ofrecen modelo de suscripción en ciertas ubicaciones donde tienen redes desplegadas.
- **Capa de software:**
 - **Infraestructura IT:** aunque no es raro el modelo de Propiedad con servidores propios, hoy en día el modelo generalizado es el de Suscripción (servidor cloud)
 - **Aplicaciones:** hoy en día el modelo de Suscripción mediante *SaaS* (ligado a su vez a servidores cloud) es el más habitual, aunque no es raro seguir encontrándolo también mediante licencia.

7.3 FINANCIACIÓN

Uno de los principales obstáculos en el despliegue de la *smart city* está tanto en la financiación de las inversiones, así como los costes derivados de la operación y mantenimiento. Entre las principales herramientas e instrumentos existentes hoy en día podemos destacar:

- **Fondos públicos:**
 - Horizon 2020
 - COSME
 - LIFE
 - FEDER
 - FSE
 - FNEE (Fondo Nacional de Eficiencia Energética)
- **Financiación pública (Banco Europeo de Inversiones):**
 - ELENA
 - JESSICA
- **Colaboración público-privada:**
 - ESE
 - Concesión de obra pública
 - Servicio Integral de conectividad – Empresas que gestionan municipios de forma integral

Estas opciones pueden ser complementarias unas con otras, de manera que la financiación del proyecto *smart city* sea una mezcla de herramientas. Asimismo, un factor diferencial podría ser la constitución de alianzas entre varias entidades municipales, tanto para compartir conocimiento como para acceder a herramientas fondos o financiación pública o hacer sus proyectos *smart city* **más atractivos para el sector privado.**

8. Definiciones

API (application programming interface): una API representa la capacidad de comunicación entre componentes de software. Se trata del conjunto de llamadas a ciertas bibliotecas que ofrecen acceso a ciertos servicios desde los procesos y representa un método para conseguir abstracción en la programación, generalmente (aunque no necesariamente) entre los niveles o capas inferiores y los superiores del software.

Bluetooth: es una especificación industrial para redes inalámbricas de área personal que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz.

Centro de Mando: cuadro eléctrico dotado de elementos de accionamiento y protección, así como sistemas de control, que proporcionan suministro eléctrico a las instalaciones de alumbrado público. Pueden contener los equipos de medida de la empresa suministradora.

Comunicación bidireccional: entorno entre dos o varios elementos en el que todos pueden enviar y recibir mensajes.

Comunicación unidireccional: entorno entre dos o varios elementos en que uno envía mensajes y el resto únicamente reciben.

DALI (Digital Addressable Lighting Interface): es un protocolo dedicado para el control de iluminación digital que permite la fácil instalación de redes de iluminación robustas, escalables y flexibles. En el caso de la telegestión, se utiliza como protocolo de comunicación de las órdenes que envía el módulo de telegestión al driver.

Driver: es el dispositivo auxiliar de alimentación del módulo led, el cual regula y controla la corriente de salida que necesita el led para su correcto funcionamiento y con el fin de entregar la potencia prevista por ese punto de luz.

Equipo de telegestión: conjunto de elementos destinados al control remoto del funcionamiento de una instalación de alumbrado. El control incluye la realización de distintas acciones, como: el accionamiento, la lectura de datos y la elaboración de alarmas técnicas.

Equipos de telemando: son equipos electrónicos con comunicaciones que permiten el envío de órdenes de telemando para el encendido o apagado de la instalación, la reprogramación de los calendarios específicos y registrar los principales eventos relacionados con el encendido y apagado de la instalación.

Fotocélula: sensor fotoeléctrico que responden al cambio en la intensidad lumínica ambiental, realizando la activación o desactivación de un relé o contacto, en función de los valores de intensidad lumínica recibidos.

GPS: sistema de posicionamiento global que permite determinar en toda la Tierra la posición de cualquier objeto con una precisión de hasta centímetros.

IoT (Internet of Things - Internet de las Cosas): Es un concepto que se refiere a una interconexión digital de objetos cotidianos mediante internet.

LED (diodo emisor de luz): fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n, que emite luz cuando está activado. Si se aplica una tensión adecuada a los terminales, los electrones se recombinan con los huecos en la región de la unión p-n del dispositivo, liberando energía en forma de fotones. Este efecto se denomina electroluminiscencia, y el color de la luz generada (que depende de la energía de los fotones emitidos) viene determinado por la anchura de la banda prohibida del semiconductor. Esta tecnología ha alcanzado una gran implantación en el alumbrado actual.

LoRaWAN: es una especificación para redes de baja potencia y área amplia, diseñada específicamente para dispositivos de bajo consumo de alimentación, que operan en redes de alcance local, regional, nacional o global.

NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos): es una asociación industrial estadounidense responsable de numerosos estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad. Entre otros, ha establecido una amplia gama de estándares para encapsulados de equipamientos eléctricos, así como para sistemas de conexión de fotocélulas o nodos de comunicación a luminarias.

Plataforma de telegestión: es un software de control y gestión de los datos de los equipos de telegestión, esta plataforma puede estar alojada en centro de control local o en un servidor Web.

PLC (Power Line Communications): Comunicaciones mediante línea de potencia y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de transmisión de energía eléctrica convencionales para transmitir señales con propósitos de comunicación. La tecnología PLC de banda ancha aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet.

Punto de luz: Luminaria completa que está normalmente conectada a un centro de mando y alimentada desde este.

Regulador estabilizador de flujo: elemento que permite la variación del nivel de alumbrado mediante la variación de la tensión de la línea eléctrica de alimentación.

Reloj astronómico: interruptor horario que dispone de un método automático para conocer la hora de puesta y salida del sol, pudiendo activar o desactivar un relé o un contacto a partir de esta hora.

SigFox: operador de red global de área amplia de baja potencia que permite la conectividad IoT.

Sonda luxométrica: sensor fotoeléctrico que responden al cambio en la intensidad lumínica ambiental, variando el valor analógico o numérico de su salida, en función de los valores de intensidad lumínica recibidos en luxes.

Vertical: Es un sistema de control y monitorización de una instalación formada por una capa física o hardware, una capa de comunicaciones o red y una capa de software o aplicaciones.

WiFi: mecanismo que permite, de forma inalámbrica, el acceso a Internet de distintos dispositivos al conectarse a una red determinada.

Zhaga: es una organización internacional que establece especificaciones industriales de interfaces para componentes utilizados en luminarias LED. Entre otros, ha establecido un sistema de conexión de nodos de comunicación a luminarias.

Zigbee: es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

1-10V: es un sistema de regulación basado en una señal analógica de 1 V a 10 V que modula el flujo lumínico entre el 10% y el 100%. En el caso de la telegestión, se utiliza como sistema de comunicación de las órdenes que se envían al driver. (en este caso el o lleva al apagado sin necesidad de relé de corte)

6LowPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks): es un estándar abierto definido por la IETF (Internet Engineering Task Force), el cual posibilita el uso de IPv6 sobre redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4, que hace posible que los dispositivos puedan comunicarse directamente con otros dispositivos IP.

Transceiver: (transceptor), es un dispositivo compuesto por un transmisor y un receptor, que combinan y comparten un circuito común o una sola carcasa. Cuando no hay un circuito compartido entre las funciones de transmisión y recepción, el transceiver es un transmisor-receptor. El término se originó a principios de la década de 1920. Equipos similares incluyen transpondedores, convertidores y repetidores.

Fibra óptica: La fibra óptica es un medio de transmisión de información que utiliza haces de luz para enviar datos a largas distancias a velocidades extremadamente altas y con una laten-

cia mínima. En una "smart city", la fibra óptica se puede utilizar para mejorar la conectividad y proporcionar servicios avanzados que requieren una gran cantidad de datos en tiempo real. La fibra óptica permite la transmisión de datos y la monitorización de la ciudad de manera más eficiente, contribuyendo a una ciudad más inteligente y sostenible. Por ejemplo, se puede utilizar para implementar sistemas de control del tráfico, iluminación inteligente, seguridad, entre otros. Además, la fibra óptica también permite una mayor eficiencia energética y una menor emisión de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la sostenibilidad de la ciudad.

Un switch industrial: es un dispositivo de red diseñado para funcionar en entornos industriales y con requisitos más exigentes que los switches convencionales. Estos dispositivos son resistentes a la vibración, a la corrosión y a la exposición a ambientes hostiles, y pueden operar en un amplio rango de temperaturas. En una "smart city", los switches industriales se pueden utilizar para conectar y gestionar los sistemas y dispositivos de la ciudad de manera segura y confiable. Por ejemplo, se pueden utilizar para conectar sistemas de control de tráfico, iluminación inteligente, monitoreo ambiental, entre otros. Además, estos switches también pueden ofrecer funciones de seguridad, como la encriptación de datos y la gestión de accesos.

En resumen, los switches industriales son un componente clave en la implementación de una "smart city". Permiten conectar y gestionar los sistemas y dispositivos de la ciudad de manera segura y confiable, lo que contribuye a una ciudad más inteligente y sostenible.

La electrónica de red: es una tecnología que permite la conexión y gestión de dispositivos en una red. Estos dispositivos incluyen routers, switches, firewalls, entre otros. La electrónica de red se utiliza para transmitir y gestionar la información en una red, permitiendo la comunicación entre dispositivos.

En una "smart city", la electrónica de red se puede aplicar para conectar y gestionar los sistemas y dispositivos de la ciudad. Por ejemplo, se puede utilizar para conectar sistemas de control de tráfico, iluminación inteligente, monitoreo ambiental, entre otros. Además, esta tecnología también permite una mayor eficiencia energética y una menor emisión de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la sostenibilidad de la ciudad.

En resumen, la electrónica de red es un componente clave en la implementación de una "smart city". Permite conectar y gestionar los sistemas y dispositivos de la ciudad de manera eficiente y segura, lo que contribuye a una ciudad más inteligente y sostenible.

NFC (Near Field Communication): es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite el intercambio de información entre dispositivos cuando están en contacto cercano. NFC se basa en un campo magnético que permite la transmisión de datos a corta distancia (algunos centímetros).

En una "smart city", NFC puede ser aplicado para mejorar la eficiencia y la comodidad de la vida urbana. Por ejemplo, NFC

puede ser utilizado para permitir el pago móvil en tiendas y servicios, así como para obtener información sobre atracciones turísticas o servicios públicos a través de un dispositivo móvil. También se puede utilizar para identificar y rastrear bienes, como bicicletas públicas, y mejorar la seguridad de la ciudad.

En resumen, NFC es una tecnología flexible y versátil que puede ser aplicada a una "smart city" para mejorar la eficiencia y la comodidad de la vida urbana. Con NFC, se pueden implementar soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos y el funcionamiento de la ciudad.

LPWAN (Low-Power Wide-Area Network): es una tecnología de redes de área amplia que se utiliza para conectar dispositivos con baja potencia a Internet. LPWAN es capaz de cubrir grandes áreas con baja densidad de dispositivos, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren una gran cobertura y una baja tasa de datos.

En una "smart city", LPWAN puede ser utilizado para conectar sensores y dispositivos IoT (Internet of Things) en la ciudad. Por ejemplo, se puede utilizar para monitorear el tráfico, el consumo de energía, la contaminación, la gestión de residuos y la seguridad. Además, LPWAN también permite una mayor eficiencia energética, ya que los dispositivos conectados consumen muy poca energía.

En resumen, LPWAN es una tecnología de red de área amplia que permite la conexión de dispositivos con baja potencia a Internet. En una "smart city", LPWAN puede ser utilizado para mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad de la ciudad, conectando sensores y dispositivos IoT para monitorear y gestionar diferentes aspectos de la vida urbana.

Las redes licenciadas: son redes de comunicación que utilizan frecuencias asignadas por reguladores gubernamentales para transmitir información. Estas frecuencias están reguladas y asignadas para un uso específico, lo que garantiza una mayor calidad y fiabilidad de la señal.

En una "smart city", las redes licenciadas se pueden utilizar para conectar sensores y dispositivos IoT (Internet of Things) en la ciudad. Por ejemplo, se pueden utilizar para monitorear el tráfico, la gestión de residuos, la seguridad y el consumo de energía.

Además, las redes licenciadas también se pueden utilizar para proporcionar servicios de comunicación de alta velocidad y calidad, como videovigilancia y control de tráfico.

Las redes en banda libre: son aquellas que utilizan frecuencias no reguladas para transmitir información. Estas frecuencias no están asignadas a un usuario específico, lo que significa que cualquier dispositivo que cumpla con las normas técnicas puede utilizarlas.

En una "smart city", las redes en banda libre se pueden utilizar para conectar sensores y dispositivos IoT (Internet of Things) en la ciudad. Por ejemplo, se pueden utilizar para monitorear el tráfico, la gestión de residuos, la seguridad y el consumo de energía. Además, las redes en banda libre son una opción más económica para conectar dispositivos IoT, ya que no requieren la adquisición de licencias ni el pago de derechos.

2G: es la segunda generación de tecnología de telefonía móvil que permite la transmisión de voz y datos. 2G es la sigla de "Second Generation" o "Segunda Generación".

En una "smart city", 2G se puede utilizar para conectar sensores y dispositivos IoT (Internet of Things) a la red de telefonía móvil. Por ejemplo, se pueden utilizar para monitorear el tráfico, la gestión de residuos, la seguridad y el consumo de energía. Además, 2G también se puede utilizar para proporcionar servicios de comunicación móvil, como el envío y la recepción de mensajes de texto y la transmisión de datos en tiempo real.

3G HSPA: es una tecnología de comunicación móvil de tercera generación que permite una mayor velocidad de transmisión de datos que la 2G. 3G HSPA es la sigla de "Third Generation High-Speed Packet Access".

4G LTE: es una tecnología de comunicación móvil de cuarta generación que permite una velocidad de transmisión de datos aún más rápida que la 3G. 4G LTE significa "Fourth Generation Long-Term Evolution".

5G es: la quinta generación de tecnología de comunicación móvil que promete velocidades de transmisión de datos más rápidas y una mayor capacidad de conexión en comparación con 4G. Además, 5G también ofrece una latencia más baja y una mayor eficiencia energética.



9. Bibliografía

REFERENCIAS:

- <https://www.talq-consortium.org/>
- <https://lora-alliance.org/>
- Berg insight. Smart cities: Connected Public Space
- <https://www.sigfox.com/>
- <https://zigbeealliance.org/>
- <https://ucifi.com/>
- <https://zhagastandard.org/>
- <https://zhagastandard.org/products.html>
- <https://www.dali-alliance.org/dali2/comparison.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=RopYzMxJ5Bo&t=182s>
- Zhaga Smart City Sensors Awards (zhagastandard.org)
- Wikipedia

10. Conclusiones

La visión de una Smart City debe tener una plataforma horizontal de gestión global, y varias verticales de soluciones que lleguen a ellas cubriendo las necesidades de la ciudad, pero el orden en el cual se debe realizar podría ser indiferente siempre que toda la arquitectura se realice con **soluciones abiertas y estandarizadas**. Por lo tanto, una ciudad puede apostar por desarrollar verticales que cubran las necesidades de la ciudad en primera instancia y a posteriori aglutinarlas todas ellas hacia capas superiores, en una plataforma de gestión de la Smart city, creando sinergias entre todas ellas, o a la inversa, se puede definir primero dicho horizontal, para después salir de ella con verticales que lleguen a cubrir dichas necesidades hacia capas inferiores.

Todo momento es bueno para comenzar con la idea de establecer una arquitectura para la Smart city, es más cuanto antes mejor, toda espera, en búsqueda de una tecnología más novedosa es tiempo perdido para establecer conectividades entre las personas y la ciudad. Ya que dicha tecnología de conectividad, pueden ser reemplazada en el futuro, pero el hecho de ofrecer dicha conectividad con los ciudadanos, hacen a las ciudades, no sólo inteligentes, sino lugares más agradables para vivir.

No nos deben asustar todas las posibilidades de conectividad disponibles hoy en día, la Smart City es una ciudad que pone toda su tecnología al servicio de los ciudadanos, y sin conectividad, esto no es posible.

11. Preguntas Frecuentes

Este apartado pretende dar respuesta a las dudas habituales que aparecen cuando hablamos del concepto Smart City desde el punto de vista del alumbrado.

- What (Qué)
- When (Cuándo)
- Where (Dónde)
- Who (Quién)
- Why (Quién)
- How (Cómo)
- How much (Cuánto)

1. ¿Qué es una Smart City?

1.1 Definición (Apartado 3.1 del documento)

Es aquella ciudad capaz de utilizar la tecnología de la información y comunicación (TIC) con el objetivo de crear mejores infraestructuras y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

En definitiva, es la combinación de personas, tecnología y creatividad para hacer más sostenible y eficiente una ciudad. De alguna manera, las smart cities dotan a los ciudadanos de herramientas para que aporten mayor valor a la ciudad.

Desde el punto de vista del alumbrado público y exterior es la incorporación de las tecnologías que lo transformen en un alumbrado inteligente.

1.2 Capas (Apartado 3.2 y apartado 4 del documento)

Una ciudad inteligente y su alumbrado está compuesta por tres capas básicas:

1. Capa Física o de hardware.
2. Capa de comunicaciones o de red.
3. Capa de Software.

2. ¿Cuándo transformar el alumbrado público en inteligente? (Apartados 3.3, 3.4 y 3.5 del documento)

El despliegue de la *smart city* desde el alumbrado público y exterior va a suponer la modificación o adaptación de la infraestructura existente para incorporar las tecnologías que lo transformen en un alumbrado inteligente o *Smart Lighting*.

5. ¿Cuáles son los principales objetivos que queremos alcanzar con el alumbrado en la Smart city? (Ver apartado 3.3)

La red de alumbrado público constituye la única red mallada pública y conectada de una población, que cubre la totalidad o la práctica totalidad del territorio de esa población, por lo que las infraestructuras de alumbrado juegan un papel muy importante en el concepto de las Smart Cities.

Se ha de aprovechar este despliegue territorial y poner la tecnología disponible al servicio del ciudadano. Desde transporte público, pasando por ahorro energético, sostenibilidad o eficiencia en todos sus aspectos.

• **Eficiencia energética:** la iluminación inteligente puede ayudar a reducir el consumo de energía y reducir los costes eléctricos al regular o apagar las luminarias cuando no se necesitan, como durante los períodos de poco tráfico o poca densidad de peatones.

• **Sostenibilidad ambiental:** al reducir el consumo de energía, de manera directa ayudamos a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales asociados con la generación de energía.

• **Seguridad mejorada:** la iluminación inteligente puede mejorar la seguridad de los peatones y conductores al garantizar que haya una iluminación adecuada en áreas de alto tránsito y al proporcionar datos en tiempo real sobre los patrones de tráfico y las condiciones climáticas.

• **Espacio público mejorado:** Puede ayudar a mejorar los espacios públicos al crear efectos de iluminación dinámicos que resaltan las características arquitectónicas o las instalaciones artísticas, y al crear una atmósfera más acogedora y vibrante.

• **Reducción de costes de mantenimiento:** al monitorear el desempeño de las luminarias e identificar las necesidades de mantenimiento en tiempo real, los sistemas de iluminación inteligente reducen los costes y la frecuencia del mantenimiento.

• **Mejor gestión de activos:** los sistemas de iluminación integrados en una Smart city pueden proporcionar datos en tiempo real sobre el rendimiento de las luminarias individuales, lo que permite a los municipios gestionar mejor sus activos de iluminación y planificar futuras actualizaciones o reemplazos.

6. 1. ¿Cómo debe ser el proceso de decisión del alumbrado en la Smart City? (Apartado 4 del documento)

Existen diferentes opciones en el despliegue de la Smart City desde el alumbrado. Por ello, es importante analizar la que más se adapte al modelo que se desee implantar y a las necesidades presentes y futuras.



El análisis de decisión se realiza estableciendo una lista de pros y contras de las diferentes opciones disponibles de acuerdo con el siguiente flujo de decisión:

7.1. ¿Cuánto cuesta el alumbrado en la Smart City? (Apartado 7 del documento)

La inclusión del alumbrado público en la Smart City supone un aumento de los costes de inversión del proyecto de reforma del mismo. No obstante, se incrementa significativamente el valor de esta infraestructura con el aumento del control, versatilidad y eficiencia, resultando un período de retorno relativamente corto, además de dar un mayor valor añadido.

Actualmente existen varias fórmulas de financiación:

- Fondos públicos.
- Financiación pública.
- Colaboración público-privada.

Preguntas previas antes de realizar las actuaciones:

- ¿Cuáles son las necesidades específicas de nuestro municipio en cuanto a iluminación?
- ¿Necesitamos telegestionar todas las luminarias?
- ¿Queremos tener la posibilidad de cambiar los perfiles de regulación de todas las luminarias?
- ¿Consideramos introducir sensórica adicional a las luminarias ahora o en un futuro?
- ¿Debe interactuar esa sensórica con las luminarias?

¿Cuánto costará instalar un sistema de iluminación en una Smart city y cuál es el retorno esperado de la inversión con el tiempo?

El coste puede variar según varios factores como el tamaño, la cantidad y el tipo de luminarias, las características y capacidades específicas del sistema que se está instalando. Los factores principales que pueden influir en el costo de un sistema de iluminación inteligente son:

- **Infraestructura:** el coste de instalar comunicaciones, cableado nuevo o actualizar la infraestructura existente para respaldar un sistema de iluminación inteligente puede ser un factor importante en el costo total.
- **Costos del equipamiento:** Este puede variar según el tipo y la cantidad de accesorios que se instalen, así como las características y capacidades específicas del sistema.
- **Costes de instalación:** El coste de la mano de obra para la instalación y configuración del sistema de iluminación es un factor significativo en el costo total.
- **Mantenimiento:** Este tipo de infraestructuras requieren mantenimiento, incluido el monitoreo del sistema, actualizaciones de software y reparaciones o reemplazos ocasionales de componentes.

El retorno esperado de la inversión (ROI) puede variar dependiendo de factores como el coste de energético, las características y capacidades específicas del sistema. El SmartLighting en su máxima aplicación es capaz de ofrecer un retorno corto. La gran oportunidad es apostar por él juntamente con la

actualización de la propia tecnología del alumbrado hacia el LED ya que no le supone una inversión tan alta como con aquel.

¿Qué tecnologías existen y cuáles es la más interesante para mi municipio? (Apartados 3 y 4)

No existe el sistema ideal, cada uno de los sistemas que existen en el mercado tienen ventajas y desventajas, que dependiendo de las aplicaciones y los criterios de cada uno establezca para su proyecto puede resultar en una elección o en otra.

¿Cuáles son los riesgos y desafíos potenciales asociados con la implementación del sistema?

La implementación de una infraestructura de este tipo puede ofrecer muchos beneficios, pero también presenta algunos riesgos y desafíos potenciales que se deben considerar

- **Riesgos de ciberseguridad:** como todos los sistemas conectados, existe la amenaza de que sean vulnerables a las amenazas de ciberseguridad, como hackeo, el acceso no autorizado y las filtraciones de datos, por eso es importante asegurarse de que el sistema esté diseñado con sólidas características y protocolos de seguridad para proteger contra estos riesgos.
- **Problemas de compatibilidad:** la integración con la infraestructura existente puede ser un desafío, especialmente si el sistema se basa en tecnología o protocolos patentados. Es importante asegurarse de que el nuevo sistema sea compatible con el hardware y el software existentes para evitar problemas de compatibilidad.
- **Costes de mantenimiento:** si bien estos sistemas reducen cuantiosamente los costes de mantenimiento también hay que tener en cuenta los costes de mantener el sistema en sí como actualizaciones de software, etc.
- **Problemas de privacidad:** El alumbrado en una Smart city a través de su sensórica tiene capacidad para recopilar datos sobre el tráfico de peatones y vehículos, lo que puede generar problemas de privacidad si los datos no se recopilan y utilizan de manera responsable y transparente. Es importante establecer políticas y protocolos claros para la recopilación y el uso de datos.
- **Problemas técnicos:** Los sistemas de telegestión de alumbrado se basan en tecnología y software que como todo puede tener problemas técnicos. Es importante asegurarse de que el sistema esté diseñado con un soporte técnico sólido y sistemas de respaldo para abordar estos problemas de manera oportuna.

• **Coste de inversión:** El coste del alumbrado en una Smart city es más elevado que los sistemas de iluminación tradicionales a corto plazo, debido al costo del nuevo hardware y software, la instalación y el mantenimiento. Es importante realizar un análisis de costo-beneficio para determinar si los beneficios

del sistema superan los costos. Si embargo estos costos son ampliamente recuperados no sólo por los beneficios sociales que aporta la Smart city y el propio Smart lighting, sino por los ahorros que éste último proporciona (ahorros energéticos y ahorros operacionales).

¿Tendremos que contratar personal adicional o podemos gestionarlo con los recursos existentes?

Determinar si se necesita personal adicional va a depender de una variedad de factores, (el tamaño, complejidad del sistema, cantidad de dispositivos y sensores que se utilizan, carga de trabajo actual del personal existente...)

Evalúa la carga de trabajo actual, considera el tamaño y la complejidad del sistema así como la capacitación y la experiencia del personal actual, así como las probabilidades de que el sistema escale en el corto-medio plazo.

¿Cómo nos involucramos con la ciudadanía para educarlos sobre los beneficios del nuevo sistema y abordar cualquier inquietud o pregunta que puedan tener?

Presentaciones públicas para brindar una descripción general del sistema, sus beneficios y cómo se implementará. Estas reuniones también pueden brindar una oportunidad para que los miembros de la comunidad hagan preguntas y expresen sus inquietudes.

Explicarlo en la web del ayuntamiento y redes sociales explicando los beneficios y características del sistema, incluyendo demostraciones: para mostrar a la comunidad cómo funciona y cómo puede mejorar aspectos como la eficiencia energética y la seguridad.

¿Cuáles son los indicadores (KPI) que usaremos para evaluar el éxito del sistema?

Los indicadores que se pueden utilizar para evaluar el éxito dependen de los objetivos marcados, pero a grandes rasgos ser

- **Ahorro de energía:** Consumo energético en comparación con los sistemas de iluminación anteriores.
- **Costos de mantenimiento:** Reducción de la frecuencia y el coste de las actividades de mantenimiento, y la vida útil de las luminarias.
- **Datos luminotécnicos:** nivel de iluminación medio, estadísticas de regulación o apagado de las luminarias
- Tiempo de respuesta a fallos o solicitudes de mantenimiento a través de sistemas de ticketing
- **Seguridad:** Número de accidentes o incidentes en el área y la percepción de seguridad entre los residentes y visitantes.
- **Impacto ambiental:** Reducción de la huella de carbono, el porcentaje de energía procedente de fuentes renovables y la reducción de la contaminación lumínica

¿Qué beneficios o economías de escala se pueden obtener integrando la iluminación inteligente con la ciudad inteligente?

La integración de un sistema de iluminación inteligente con la infraestructura más amplia de la ciudad inteligente puede ayudar a maximizar sus beneficios y crear un sistema más cohesivo y eficaz. Algunas de las economías de escala que podemos obtener son:

- **Intercambio de datos:** un sistema de telegestión de alumbrado y los sensores asociados puede generar grandes cantidades de datos sobre el consumo de energía, los patrones de tráfico y otros factores. Al compartir estos datos con otros sistemas de ciudades inteligentes, como la gestión del tráfico o la seguridad pública, puede ayudar a informar y mejorar estos sistemas.
- **Interoperabilidad:** mediante APIs, protocolos de comunicación e interfaces de hardware estandarizados. el sistema de alumbrado podrá comunicarse con otros sistemas y compartir datos de manera efectiva.
- **Control centralizado:** La idea es administrar múltiples verticales de una ciudad inteligente, desde una sola ubicación, permitiendo una gestión y un control más eficientes de los sistemas, así como permitir el intercambio y el análisis de datos entre sistemas.
- **Infraestructura de usos múltiples:** para maximizar los beneficios de un sistema de alumbrado en una Smart city, es importante diseñarlo como una infraestructura de usos múltiples. Es decir, plantearnos que la infraestructura de iluminación se pueda utilizar para admitir otras aplicaciones, como conectividad inalámbrica o monitoreo ambiental o intensidad media de tránsito de vehículos (IMD)
- **Colaboración:** la colaboración entre las diferentes partes interesadas, incluidos los funcionarios de la ciudad, los profesionales de la iluminación y los proveedores de tecnología, es esencial para garantizar que el sistema de iluminación inteligente se integre de manera efectiva con la infraestructura más amplia de la Smart city. La colaboración puede ayudar a identificar áreas de superposición u oportunidades de integración, así como garantizar que el sistema satisfaga las necesidades de todas las partes interesadas.
- Incluir un sistema de alumbrado dentro de una infraestructura de ciudad inteligente más amplia requiere una planificación cuidadosa y la colaboración entre múltiples partes interesadas. Mediante el uso de protocolos de comunicación estandarizados, el diseño de una infraestructura de usos múltiples y la habilitación del intercambio de datos y el control central, se puede asegurar el éxito del alumbrado dentro de una Smart city

¿Como puedo garantizar la interoperabilidad de mi sistema?

La interoperabilidad es la capacidad de diferentes sistemas para trabajar juntos sin problemas, lograr la máxima interoperabilidad

significa garantizar que el sistema pueda comunicarse y trabajar con otros sistemas Smart city, como la gestión del tráfico, la seguridad pública y el monitoreo ambiental, entre otros.

Algunas claves para asegurar la interoperabilidad son:

- **Estándares abiertos:** Los estándares abiertos son ampliamente aceptados y entendidos, lo que facilita la integración del sistema de iluminación inteligente con otros sistemas y dispositivos.
- **Adoptar los estándares de la industria:** esto garantiza que los sistemas se diseñen teniendo en cuenta la interoperabilidad, lo que facilita la conexión y el intercambio de datos con otros sistemas.
- **Integración de API** (interfaz de programación de aplicaciones) sistema de iluminación inteligente con integración API puede facilitar la conexión con otros sistemas, incluidos los sistemas de ciudades inteligentes, al proporcionar una forma estandarizada de acceder y compartir datos.
- **Implementar middleware:** el middleware es un software que conecta diferentes sistemas y proporciona una forma estandarizada para que se comuniquen y puede ayudar a garantizar que pueda comunicarse con otros sistemas de ciudades inteligentes, incluso si utilizan diferentes protocolos de comunicación o interfaces de hardware.
- **Probar y verificar la interoperabilidad:** Esto puede implicar probar diferentes escenarios y casos de uso, e identificar cualquier área donde la integración pueda ser un desafío.

¿Como puedo asegurar que mi sistema es escalable?

La escalabilidad es una consideración clave al diseñar un sistema para que el sistema crezca y evolucione con el tiempo. Algunas formas de garantizar que su sistema de sea escalable:

- **Diseño modular:** garantiza que el sistema se pueda ampliar o modificar fácilmente a medida que cambien las necesidades. Al diseñar el sistema en módulos o bloques de construcción, se pueden agregar o quitar nuevos componentes sin interrumpir todo el sistema.
- **Estándares abiertos:** el uso de estándares abiertos para protocolos de comunicación e interfaces de hardware ayudan a garantizar que el sistema pueda integrarse fácilmente con otros sistemas, lo que puede ayudar a preparar el sistema para el futuro y habilitar la escalabilidad.
- **Hardware y el software correctos:** seleccionar hardware y software que sea escalable y pueda manejar cargas de trabajo más grandes
- **Plan de crecimiento:** al diseñar el sistema, es importante planificar el crecimiento y la escalabilidad futuros. Esto significa considerar factores como la cantidad de dispositivos que se agregarán al sistema, la cantidad de datos que se

generarán y la potencia de cómputo requerida para administrar el sistema.

- **Control centralizado:** el control central ayuda a administrar múltiples sistemas desde una sola ubicación, lo que facilita la expansión y administración del sistema a lo largo del tiempo.
- **Monitorear y analizar datos:** nos ayudará a identificar áreas de mejora y optimizar el rendimiento del sistema para que sea escalable de cara a nuevas necesidades de la comunidad

¿Qué tipos de hosting puedo tener de mi sistema de alumbrado inteligente?

Cuando se trata de alojar un sistema inteligente de alumbrado público, existen varias soluciones de alojamiento disponibles, según las necesidades específicas del proyecto.

Tipos de alojamiento:

- **En la nube:** Con el alojamiento en la nube, el sistema se aloja en servidores remotos mantenidos por un proveedor de la nube, como Amazon Web Services o Microsoft Azure. Este tipo de alojamiento suele ser escalable, flexible y se puede acceder desde cualquier lugar con una conexión a Internet.
- **Alojamiento on premise:** es una solución de alojamiento en la que el sistema se instala y aloja localmente, in situ en el municipio o la organización. Este tipo de alojamiento puede ofrecer un mayor control sobre el sistema y los datos, pero puede requerir más recursos para mantener y actualizar el sistema.
- **Alojamiento híbrido:** Con el alojamiento híbrido, algunos componentes del sistema se alojan en la nube, mientras que otros se alojan en las instalaciones. Esto puede ofrecer los beneficios de ambas soluciones de hospedaje, como la escalabilidad y el control.
- **Alojamiento gestionado:** el alojamiento gestionado es una solución de alojamiento en la que el sistema está alojado y gestionado por un proveedor externo. Este tipo de alojamiento puede ofrecer gastos generales reducidos de mantenimiento y administración para el municipio u organización.
- **Edge computing:** Edge computing es una solución de alojamiento en la que el sistema se aloja y procesa en el borde de la red, más cerca de los dispositivos que generan los datos. Esto puede ofrecer una latencia reducida y una mayor eficiencia para el sistema.

¿Qué es un mapeo de cobertura?

Un mapa de cobertura es una representación gráfica del área cubierta por una red o señal inalámbrica, como una red de telefonía celular, un punto de acceso Wi-Fi o un sistema de comunicación por radio. Los mapas de cobertura generalmente se usan para ayudar a los usuarios a determinar la calidad y la fuerza

de la señal en diferentes ubicaciones, y para identificar áreas de poca cobertura o puntos muertos.

Para crear un mapa de cobertura, la intensidad de la señal de la red se mide en varios puntos a lo largo del área de cobertura, generalmente utilizando equipos o software especializados. Luego, estas mediciones se analizan y procesan para crear un mapa que muestra la intensidad y la calidad de la señal en diferentes áreas, a menudo utilizando representaciones codificadas por colores o degradadas para indicar la intensidad de la señal.

Los mapas de cobertura se pueden usar para planificar y optimizar redes inalámbricas, por ejemplo, identificando áreas donde se puede necesitar infraestructura adicional o

amplificadores de señal, o para ayudar a los usuarios a encontrar las mejores ubicaciones para la recepción de señal, como cuando buscan un punto de acceso Wi-Fi o torre de telefonía celular.

En el contexto de la iluminación inteligente, el mapeo de cobertura también se puede utilizar para planificar la ubicación y configuración de las luces de las calles y otras infraestructuras de iluminación, para garantizar que la cobertura de iluminación sea óptima y eficiente. Al analizar los datos sobre los niveles de iluminación, el consumo de energía y otros factores, los mapas de cobertura pueden ayudar a los municipios y otras organizaciones a tomar decisiones informadas sobre dónde instalar la infraestructura de iluminación y cómo administrarla y mantenerla a lo largo del tiempo.

