

Semana 6: Eficiencia energética en alumbrado público

(Análisis de un caso real en Latinoamérica, propuesta de mejora para Córdoba y mapa de consumos de energía)

1. Introducción

El alumbrado público es responsable de entre un **30% y 50% del consumo energético municipal** en muchas ciudades de Latinoamérica. La eficiencia en este sector no solo reduce costos, sino que mejora la seguridad ciudadana, la calidad de vida y contribuye a la mitigación del cambio climático.

Con la incorporación de **tecnologías IoT**, es posible transformar el alumbrado público en un sistema inteligente, capaz de adaptarse a las condiciones del entorno, detectar fallas en tiempo real, reducir el gasto energético y convertirse en la base para otros servicios de ciudad inteligente.

En este contexto, el **desarrollo de aplicaciones IoT** juega un papel fundamental al permitir la recolección, transmisión, análisis y visualización de los datos energéticos y operativos del sistema de alumbrado.

2. Tecnologías de eficiencia energética en alumbrado público

La modernización del alumbrado público combina **hardware eficiente** con **software de gestión IoT**:

- **Luminarias LED:**
 - Consumen hasta un 70% menos que las lámparas de sodio a alta presión.
 - Mayor vida útil (50.000 horas promedio).
 - Posibilidad de regulación de intensidad (dimming).
- **Sensores IoT:**
 - Sensores de movimiento: aumentan la intensidad de la luz solo cuando detectan peatones o vehículos.
 - Sensores de luminosidad ambiental: regulan el encendido/apagado según el nivel de luz natural.
 - Sensores de energía: permiten medir el consumo en tiempo real y detectar anomalías.
- **Sistemas de telegestión:**
 - Uso de protocolos de comunicación IoT como LoRaWAN, NB-IoT, ZigBee, Wi-Fi Mesh.
 - Permiten monitoreo remoto desde una plataforma centralizada.

- Detectan fallas y reducen los tiempos de reparación.
- **Integración con energías renovables:**
 - Postes de alumbrado con paneles solares fotovoltaicos.
 - Híbridos con micro-generación eólica en zonas rurales.
 - Autonomía energética en áreas sin red eléctrica confiable.

3. Caso real en Latinoamérica: Medellín, Colombia

En Medellín se implementó un sistema de **alumbrado público inteligente** con más de **40.000 luminarias LED** conectadas mediante una red IoT de comunicación.

Resultados principales:

- Reducción del **40% en consumo energético** anual.
- Integración de **sensores de calidad del aire** en postes de alumbrado.
- Uso de la red de alumbrado como soporte para **cámaras de videoseguridad y puntos Wi-Fi públicos**.
- Implementación de una **plataforma de gestión unificada**, accesible por los operadores municipales, que permite **mapear el consumo y detectar fallas en tiempo real**.

Este ejemplo demuestra cómo una ciudad puede convertir un gasto tradicional en una **infraestructura base para la ciudad inteligente (Smart City)**.

4. Mapa de consumos de energía en alumbrado público

Un **mapa de consumos energéticos** es una herramienta de análisis clave para la planificación de proyectos de eficiencia.

- **Cómo funciona:**
 - Cada luminaria incorpora un **sensor de consumo eléctrico** conectado a una red IoT.
 - Los datos se envían a una **plataforma central** en la nube.
 - Se generan **mapas de calor** que muestran qué zonas consumen más energía.
- **Beneficios:**
 - Identificación de sectores con **alto desperdicio energético**.
 - Planificación precisa de las **inversiones en modernización**.
 - Transparencia: los municipios pueden mostrar a los ciudadanos el **impacto real de los cambios** en tiempo real.

Ejemplo: en Buenos Aires, algunos corredores viales ya cuentan con **mapas de consumo público** disponibles en línea para la ciudadanía.

5. Propuesta de mejora para Córdoba

Un proyecto de **modernización del alumbrado público con IoT** en Córdoba podría plantearse en fases:

Fase 1: Reemplazo progresivo por LED

Sustituir lámparas de sodio en avenidas principales y barrios céntricos.
Reducción estimada del **50% del consumo eléctrico** en esas zonas.

Fase 2: Implementación de telegestión IoT

Incorporar sensores de consumo, movimiento y luminosidad.
Protocolos sugeridos: **LoRaWAN** (cobertura amplia, bajo consumo) o **NB-IoT** (uso de red celular).

Fase 3: Expansión a barrios periféricos y zonas rurales

Incorporación de **postes solares autónomos**.
Integración con sistemas de seguridad (cámaras, botones de pánico).

Fase 4: Plataforma de ciudad inteligente

Desarrollar una **aplicación IoT municipal** para monitorear alumbrado, consumo y fallas.
Posibilidad de integración con otros servicios: semáforos inteligentes, gestión de residuos, transporte público.

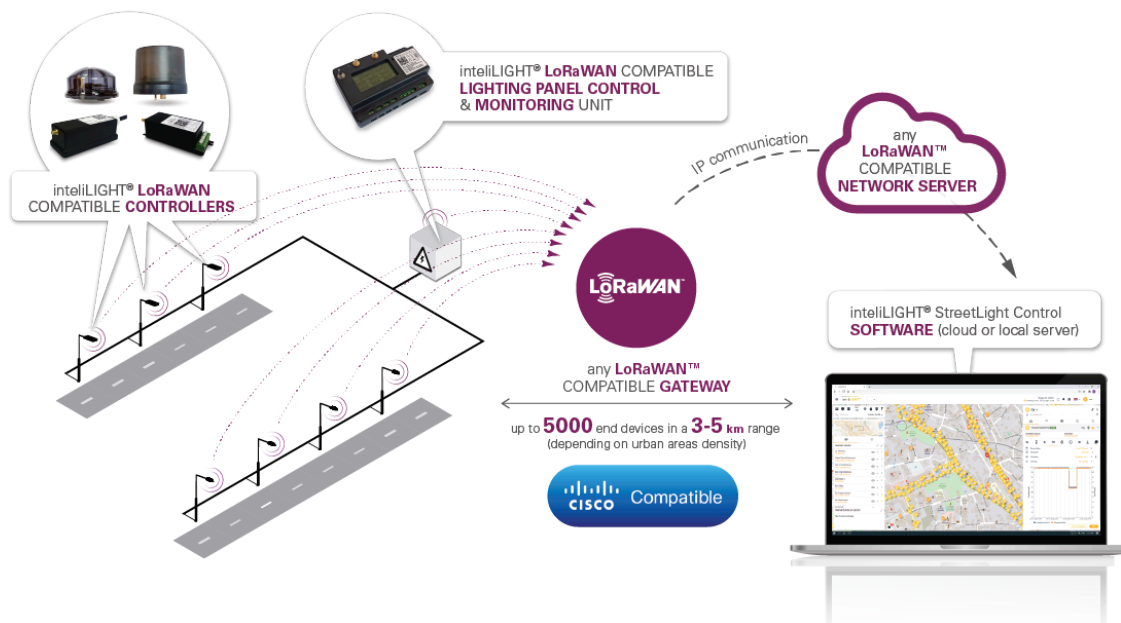
Impacto esperado en Córdoba:

Reducción del **35% en la factura energética municipal** en 5 años.
Disminución de **CO₂ equivalente a 10.000 autos particulares por año**.
Mayor seguridad y calidad de vida para la población.

Ejemplo de empresas que ofrecen servicios inteligentes de alumbrado público y software de control

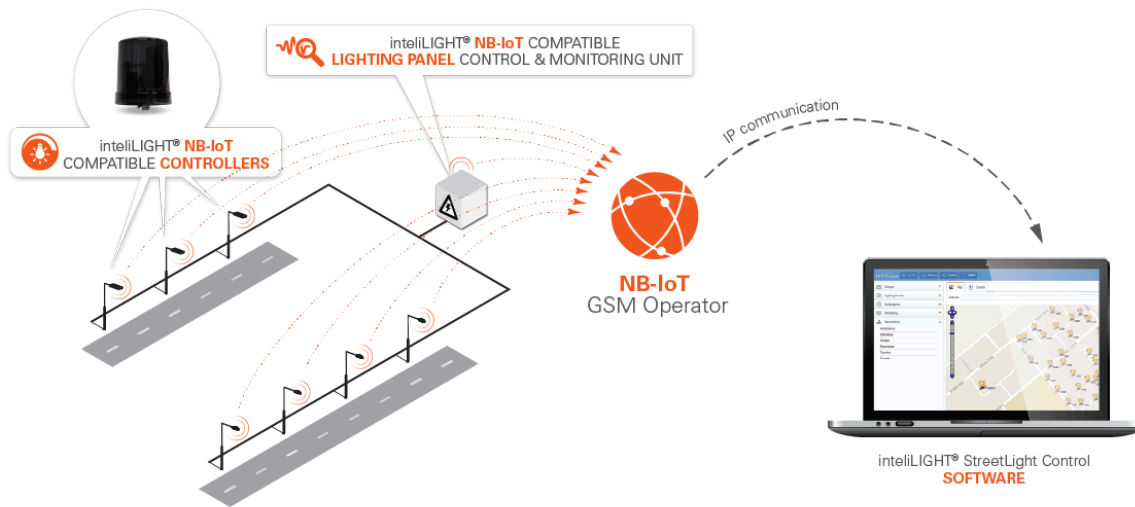
<https://inteliLIGHT.eu/>

Controladores compatibles con inteliLIGHT® LoRaWAN™



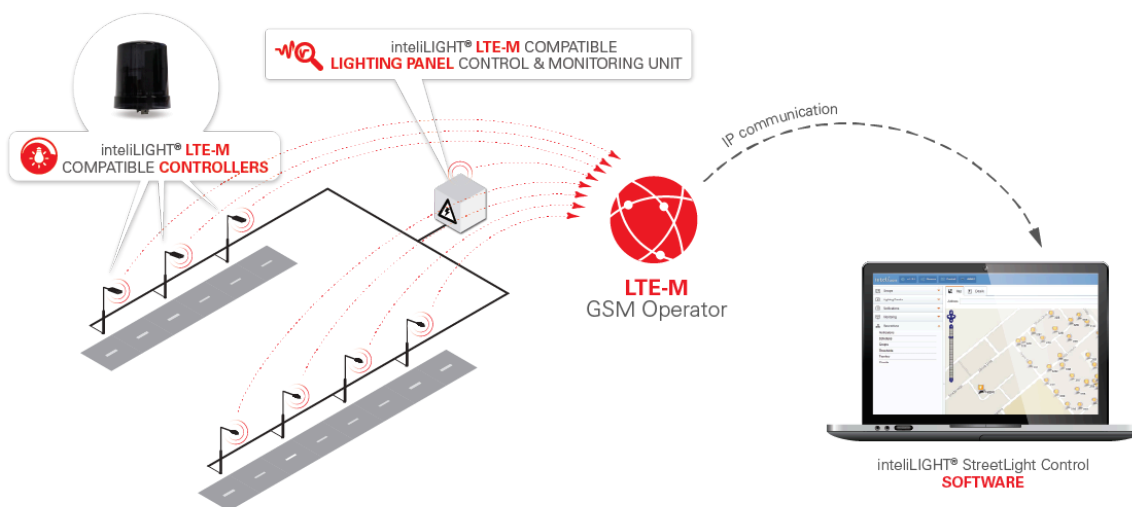
- Permite la gestión remota individual de luminarias de alumbrado público con balasto electrónico hasta 400W (ON/OFF/Dimming).
- Especialmente diseñado y optimizado para redes LoRaWAN™ (tecnología de comunicación por radiofrecuencia de largo alcance).
- Funcionamiento autónomo basado en horarios predefinidos, sensor de nivel de luz e iluminación adaptativa.
- Capacidades de iluminación adaptativa basadas en entrada digital para detección de movimiento.
- Ancho de banda eficiente con requisitos de comunicación mínimos.
- Memoria de alta seguridad dedicada para el almacenamiento de claves de cifrado.
- Amplia gama de monitorización de parámetros eléctricos : V, W, A, VAR, Wh, VARh, PF y frecuencia.
- Mecanismo avanzado de sincronización y notificación de datos .
- RTC operado por batería , protegido contra fallas de comunicación imprevistas.
- Interfaz infrarroja externa para configuración local.
- Sensor de nivel de luz integrado
- Actualización de firmware por aire (OTA)

Controladores compatibles con inteliLIGHT® NB-IoT



- Permite la gestión remota individual de luminarias de farolas con balasto electrónico hasta 400W.
- Especialmente diseñado y optimizado para redes NB-IoT LPWA .
- Funcionamiento autónomo basado en horarios predefinidos, sensor de nivel de luz e iluminación adaptativa.
- Ancho de banda eficiente con requisitos de comunicación mínimos.
- Capacidades de iluminación adaptativa basadas en entrada digital para detección de movimiento.
- Memoria de alta seguridad dedicada para el almacenamiento de claves de cifrado.
- Amplia gama de monitorización de parámetros eléctricos : V, W, A, VAR, Wh, VARh, PF y frecuencia.
- Mecanismo avanzado de sincronización y notificación de datos .
- RTC operado por batería , protegido contra fallas de comunicación imprevistas.
- Interfaz infrarroja externa para configuración local.
- Sensor de nivel de luz integrado
- Actualización de firmware por aire (OTA)

Controladores compatibles con inteliLIGHT® LTE-M



- Permite la gestión remota individual de luminarias de farolas con balasto electrónico hasta 400W.
- Especialmente diseñado y optimizado para redes LTE-M LPWA .
- Funcionamiento autónomo basado en horarios predefinidos, sensor de nivel de luz e iluminación adaptativa.
- Ancho de banda eficiente con requisitos de comunicación mínimos.
- Capacidades de iluminación adaptativa basadas en entrada digital para detección de movimiento.
- Memoria de alta seguridad dedicada para el almacenamiento de claves de cifrado.
- Amplia gama de monitorización de parámetros eléctricos : V, W, A, VAR, Wh, VARh, PF y frecuencia.
- Mecanismo avanzado de sincronización y notificación de datos .
- RTC operado por batería , protegido contra fallas de comunicación imprevistas.
- Interfaz infrarroja externa para configuración local.
- Sensor de nivel de luz integrado
- Actualización de firmware por aire (OTA)

Notas extras de comunicaciones:

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de red de bajo consumo y largo alcance que opera en la capa MAC. Utiliza la tecnología de radio **LoRa** (Long Range), que se basa en la técnica de modulación de espectro ensanchado de chirrido (Chirp Spread Spectrum).

- **Alcance:** Kilómetros (10-15 km en áreas rurales, 2-5 km en urbanas).
- **Velocidad:** Baja (0.3 a 50 kbps), optimizado para datos pequeños.
- **Consumo:** Muy bajo, ideal para dispositivos a batería que duran años.
- **Frecuencias:** Bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) no licenciadas, como 868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia.
- **Uso:** Agricultura inteligente, monitoreo ambiental, ciudades inteligentes (smart cities) y logística.
- **Organización:** LoRa Alliance.

NB-IoT (Narrowband-Internet of Things) es un estándar de tecnología de red de área amplia de baja potencia (LPWAN) desarrollado por 3GPP para conectar dispositivos a Internet a través de redes celulares. Opera en bandas de frecuencia licenciadas.

- **Alcance:** Muy largo, utiliza la infraestructura celular existente.
- **Velocidad:** Baja (20-250 kbps).
- **Consumo:** Bajo.
- **Frecuencias:** Bandas de frecuencia licenciadas de operadores móviles (por ejemplo, 700, 800, 900 MHz).
- **Uso:** Medidores inteligentes, seguimiento de activos, ciudades inteligentes.

LTE-M (Long-Term Evolution for Machines), también conocido como Cat-M1, es otro estándar LPWAN desarrollado por 3GPP. Es una tecnología celular diseñada para dispositivos de IoT que requieren mayor ancho de banda que NB-IoT y baja latencia.

- **Alcance:** Largo, usando la red celular.
- **Velocidad:** Moderada (hasta 1 Mbps).
- **Consumo:** Bajo a moderado, mayor que NB-IoT pero menor que LTE estándar.
- **Frecuencias:** Bandas de frecuencia licenciadas de operadores móviles.
- **Uso:** Wearables, seguimiento de vehículos y alarmas de seguridad.

Sigfox es una empresa y un protocolo de comunicación LPWAN que construye y opera su propia red global. Se diferencia de otros LPWANs porque gestiona la red de forma centralizada.

- **Alcance:** Largo, similar a LoRaWAN.

- **Velocidad:** Muy baja (hasta 100 bps), limitado a 140 mensajes por día por dispositivo.
- **Consumo:** Ultrabajo.
- **Frecuencias:** Bandas ISM no licenciadas.
- **Uso:** Seguimiento de activos, seguridad y automatización industrial.

LonWorks es una plataforma de control de redes utilizada para la automatización de edificios y la industria. No es una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance, sino una red de control.

- **Alcance:** Corto a medio, dentro de un edificio o un sistema.
- **Velocidad:** Variable, optimizada para control y automatización.
- **Consumo:** Variable.
- **Frecuencias:** Opera en diferentes medios, incluyendo cable de par trenzado, fibra óptica, línea de energía (power line) y RF (radiofrecuencia).
- **Uso:** Control de iluminación, HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) y seguridad en edificios.
- **Organización:** LonMark International.

Wi-SUN (Wireless Smart Ubiquitous Network) es un estándar de red de malla inalámbrica (mesh network) de bajo consumo, basado en el estándar IEEE 802.15.4g.

- **Alcance:** Medio a largo, con nodos que transmiten mensajes, extendiendo el alcance.
- **Velocidad:** Moderada (hasta 300 kbps).
- **Consumo:** Bajo.
- **Frecuencias:** Bandas ISM no licenciadas (sub-GHz).
- **Uso:** Medidores inteligentes (electricidad, gas, agua) y automatización de servicios públicos.
- **Organización:** Wi-SUN Alliance.

Debate

1. ¿Qué ventajas sociales y económicas trae la implementación de alumbrado LED en una ciudad?
2. ¿Cómo puede integrarse el alumbrado público con otros servicios urbanos inteligentes (Wi-Fi, sensores ambientales, cámaras)?
3. ¿Qué barreras técnicas, regulatorias o culturales existen para implementar proyectos de alumbrado eficiente en Córdoba?

Bibliografía

Philips Lighting (2024). *Alumbrado público inteligente y eficiente*.

<https://www.signify.com/global/our-company/lighting-for-public-spaces>

CAF (2024). *Alumbrado público eficiente en ciudades latinoamericanas*.

<https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2024/05/alumbrado-publico-eficiente>

ONU-Habitat (2023). *Guía de eficiencia energética en alumbrado público*.

<https://unhabitat.org/es/guia-de-eficiencia-energetica-en-alumbrado-publico>

Ministerio de Energía Argentina (2024). *Programas de eficiencia energética*.

<https://www.argentina.gob.ar/energia/eficiencia-energetica>

IEA (2024). *Energy efficiency in public lighting systems*.

<https://www.iea.org/topics/energy-efficiency>