



## Proyecto IoT: ILUMINET

### Integrantes:

- MÁRQUEZ José Luis
- PAEZ Tiziano
- GONZÁLEZ A. Juan Diego
- CARBALLO Macarena
- GUZMÁN Lilen
- PANTOJA Paola

### Docente:

- GONZÁLEZ Mario

**1. Nombre del proyecto:** "ILUMINET – Sistema de Alumbrado Público

**Inteligente basado en IoT".**

**2. Tipo de proyecto:** Es un proyecto **tecnológico** porque utiliza microcontroladores, sensores, comunicación IoT y software de monitoreo para transformar un sistema tradicional en uno inteligente, integrable y escalable. Además, contribuye al desarrollo de ciudades sostenibles y conectadas, mejorando la calidad de vida y seguridad ciudadana.

**3. Problemática:** El alumbrado público tradicional presenta múltiples problemáticas que afectan la eficiencia, los costos y la seguridad urbana. Entre ellas se destacan:

- **Consumo energético elevado:** Las luminarias permanecen encendidas toda la noche sin considerar la presencia de personas ni el nivel de luz ambiental, lo que incrementa el gasto energético, los costos económicos y la huella de carbono.
- **Falta de seguridad en espacios públicos:** Calles y parques mal iluminados aumentan la probabilidad de accidentes y situaciones de inseguridad.
- **Mantenimiento ineficiente:** Los sistemas de alumbrado tradicionales requieren inspecciones físicas periódicas o realizar reclamos vía aplicaciones móviles, lo que conlleva que un sector de la sociedad no pueda colaborar con el aviso de reparación de alguna luminaria, lo que implica costos elevados y retrasos en la reparación de artefactos averiados. Además, estos sistemas convencionales requieren inspecciones físicas periódicas, lo que implica costos elevados y tiempos prolongados de reparación.
- **Escasa integración con Smart Cities:** La iluminación convencional funciona de manera aislada, sin posibilidad de conectarse con otros sistemas urbanos como cámaras de seguridad, sensores ambientales o gestión de tráfico.



Estas limitaciones demandan una solución tecnológica que aporte eficiencia, sostenibilidad y seguridad en la gestión del alumbrado público.

El proyecto “**ILUMINET**” surge como solución a varias problemáticas presentes en la iluminación urbana tradicional y en sistemas de alumbrado convencionales.

#### 4. Justificación

El proyecto “**ILUMINET**” busca responder a estas problemáticas a través de un sistema de alumbrado urbano basado en IoT. Su implementación permitirá:

- **Reducir el consumo energético y los costos asociados**, gracias al control automático de intensidad según la luz ambiental y la detección de presencia.
- **Incrementar la seguridad ciudadana**, ya que las luminarias se encienden o ajustan su brillo solo cuando son necesarias.
- **Optimizar el mantenimiento**, con la monitorización remota del estado y consumo de cada luminaria, permitiendo un mantenimiento predictivo más eficiente.

- **Integrar el alumbrado con plataformas de Smart Cities**, facilitando la coordinación con otros sistemas urbanos para una gestión más sostenible.

En conclusión, este proyecto aporta una solución integral que combina eficiencia energética, seguridad, reducción de costos y conectividad, alineándose con los principios de ciudades inteligentes y sostenibles.

## 5. Objetivo general

Desarrollar un sistema de luminarias inteligentes basadas en IoT que optimice el consumo energético, incremente la seguridad en espacios públicos, facilite el mantenimiento mediante monitorización remota y permita su integración con plataformas de Smart Cities.

## 6. Objetivos específicos

Objetivo Específico	Alcance
Implementar un sistema de control automático de intensidad lumínica según luz ambiental y horarios programados.	- Reduce el consumo energético evitando encendidos innecesarios.
Integrar sensores de presencia para activar o regular la intensidad de las luminarias en tiempo real.	- Mejora la seguridad en calles y parques al garantizar visibilidad sólo cuando se detecta tránsito peatonal o vehicular.
Diseñar una plataforma de monitorización remota con Node-RED, InfluxDB y Grafana.	- Visualización en tiempo real del estado, consumo y funcionamiento de cada luminaria.
Configurar un sistema de alertas y mantenimiento predictivo (futura mejora).	- Permite detectar fallas tempranamente y optimizar los tiempos de reparación.
Simular el comportamiento del sistema con generación de datos (sensores virtuales).	- Valida prototipo sin necesidad de hardware físico
Integrar la solución con un broker MQTT (Mosquitto) para la comunicación de datos.	- Garantiza escalabilidad y compatibilidad con otras plataformas urbanas.
Documentar la arquitectura, tecnologías utilizadas y procesos de implementación.	- Proporciona guía para réplica, ampliación o integración futura en proyectos reales.



C  
UPERIOR  
RDODA

## 7. Plan de Acción: Acciones, Recursos y Tiempo Estimado (semanas)

Objetivo Específico	Acciones	Recursos	Tiempo
Control automático de intensidad	Programar ajuste de luminarias según LDR y horarios	ESP32, sensores de luz, LEDs	2
Sensor de presencia	Instalar PIR, configurar alertas	Sensor PIR, ESP32, software Node-RED	1
Monitorización remota	Configurar Node-RED, InfluxDB, Grafana	Servidor local/virtual, Docker, software	2
Alertas y mantenimiento predictivo	Definir reglas de fallas y notificaciones	Node-RED, Grafana, scripts Python	2
Simulación de sensores	Crear scripts generadores de datos.	Python/Node.js, MQTT	1
Integración con MQTT	Configurar broker, definir tópicos y esquemas.	Mosquitto, ESP32, Node-RED	1
Documentación	Crear manual de usuario, repositorio.	Drive, GitHub, gráficos	1

## 8. Producto final (descripción del sistema ILUMINET)

El proyecto “ILUMINET” consiste en un sistema de iluminación urbana que optimiza el consumo energético, mejora la seguridad y permite monitorización remota. Cada luminaria cuenta con sensores que detectan presencia (opcional), nivel de luz ambiental y consumo energético, y está controlada por un microcontrolador ESP32/ESP8266 o similar que envía los datos a una plataforma IoT centralizada.

INSTITUTO SUPERIOR  
POLITÉCNICO CÓRDOBA

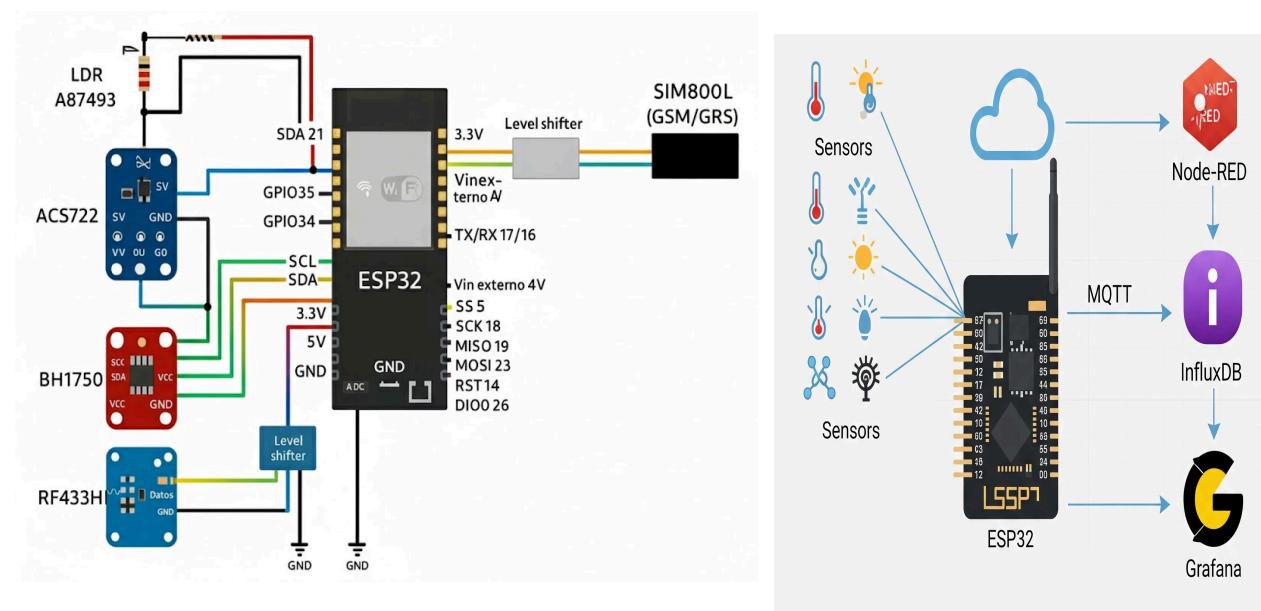
## 9. Arquitectura del Sistema

### Diagrama lógico

Sensores → ESP32 → MQTT → Node-RED → InfluxDB → Grafana.

### Descripción:

Cada luminaria está equipada con sensores de presencia y luminosidad, controlada por un microcontrolador ESP32 que envía datos al broker MQTT. Node-RED orquesta los datos hacia InfluxDB para almacenamiento histórico y Grafana para visualización en dashboards.



## 10. Tecnologías y sensores

Elemento	Modelo / Ejemplo	Función
Microcontrolador	ESP32/ESP8266	Procesa sensores y envía datos por MQTT
Sensor de presencia	PIR / Microondas	Detecta movimiento en el área iluminada
Sensor de luminosidad	BH1750	Mide nivel de luz ambiental
Sensor de corriente	ACS712	Monitorea consumo energético de la luminaria
Luminaria	LED 50-200 W, 220 V	Iluminación de acuerdo a ubicación.
Módulo de comunicación RF	TX-RX-RF433MHZ	Envía estado de las luces en puntos nodo al "gateway" del procesador.
Módulo comunicación <b>2G</b>	SIM800L	Envío de datos a través de internet, en los nodos "maestros".
Broker MQTT	Mosquitto	Comunicación entre nodos y plataforma
Base de datos	InfluxDB	Almacenamiento histórico de datos
Visualización	Grafana	Dashboards de consumo, estado y detección
Procesamiento de flujos	Node-RED	Orquestación de datos y conexión con DB

## 11. Funcionalidades del sistema

- Control automático de intensidad: Ajusta el brillo según la luz ambiental o programación (alterna intensidad lumínica entre 50% / 70% / 100%).
- Detección de presencia: Enciende/apaga o aumenta intensidad cuando detecta movimientos de distintos tipos.
- Programación horaria: Encendido/apagado según horario predefinido.
- Ahorro energético: Optimiza consumo, apagando luces innecesarias.
- Mejora en mantenimiento predictivo y compra de insumos.
- Monitorización remota: Estado de cada luminaria y consumo en tiempo real.

## 12. Investigación técnica (Para más información técnica haz clic aquí)

[☰ Doc-Técnica - Desarrollo IoT-ILUMINET](#)

## Variables físicas de las luminarias y el entorno

Estas son las que toman directamente los sensores:

- **Nivel de luminosidad ambiental (lux):**  
Para ajustar la intensidad de la luminaria según la luz natural disponible.
- **Detección de presencia (booleano: sí/no):**  
Registro de tránsito peatonal o vehicular en la zona.
- **Estado de la luminaria (encendida/apagada):**  
Indica si la lámpara está operativa o fuera de servicio.
- **Intensidad lumínica de salida (%):**  
Nivel de brillo al que trabaja la luminaria (ej. 50%, 70%, 100%).
- **Consumo energético instantáneo (W):**  
Energía demandada por cada luminaria en tiempo real.
- **Energía acumulada (kWh):**  
Medición del consumo total en un período de tiempo (día/semana/mes).
- **Temperatura de operación del sistema (°C) [opcional]:**  
Para prevenir sobrecalentamiento en los LEDs o en la electrónica.

**Variables de gestión y mantenimiento:** Son procesadas a partir de los datos anteriores:

- **Horas de uso acumuladas (h):** Tiempo total en funcionamiento de cada luminaria (útil para mantenimiento predictivo).
- **Índice de fallas (número de fallos detectados):** Conteo de apagados inesperados, cortes o mal funcionamiento.
- **Disponibilidad del sistema (% uptime):** Tiempo en que la luminaria estuvo operativa respecto al total esperado.
- **Alertas generadas (eventos):** Notificaciones de fallas, consumo anormal o desconexiones.
- **Vida útil estimada de la luminaria (horas / % restante):** Proyectada con machine learning o en base a desgaste por horas de uso y consumo.

### **Variables de integración Smart City:** (Para cuando se integre con otros sistemas):

- **Eventos de tráfico detectados (conteo de presencia):** Puede integrarse con el flujo vehicular.
- **Eventos de seguridad (detección de anomalías):** Presencia en horarios inusuales o zonas de riesgo.
- **Datos ambientales adicionales [opcional]:** Ejemplo: calidad del aire, humedad o temperatura ambiente (si se integran más sensores IoT)

### **Especificaciones luminarias:**

- Voltaje: 220 V AC.
- Potencia: LED ~70 – 100 W (ejemplo de referencia: 50 W).
- Seleccionar luminarias LED con estas especificaciones como punto de partida:
  - Para calles residenciales: ~ 50-80 W, entre 5.000-8.000 lúmenes, temperatura de color ~ 4000 K, CRI ≥ 70 o 80, IP65/IP66, IK08.
  - Para avenidas principales: ~ 100-150 W o más, flujo lumínico proporcional, óptica para distribuir luz hacia carriles, evitar desperdicio.

### **Opciones de alimentación:**

- Red eléctrica del poste.
- Batería o UPS (considerar mantenimiento y autonomía).

### **Robustez y montaje:**

- Altura: accesible para mantenimiento, sugerido en 3 a 4 metros de altura (sin necesidad de grúa si es posible).
- Protección: contra vandalismo y clima (IP65 o similar para sensores).

## **13. Beneficios sociales del proyecto ILUMINET**

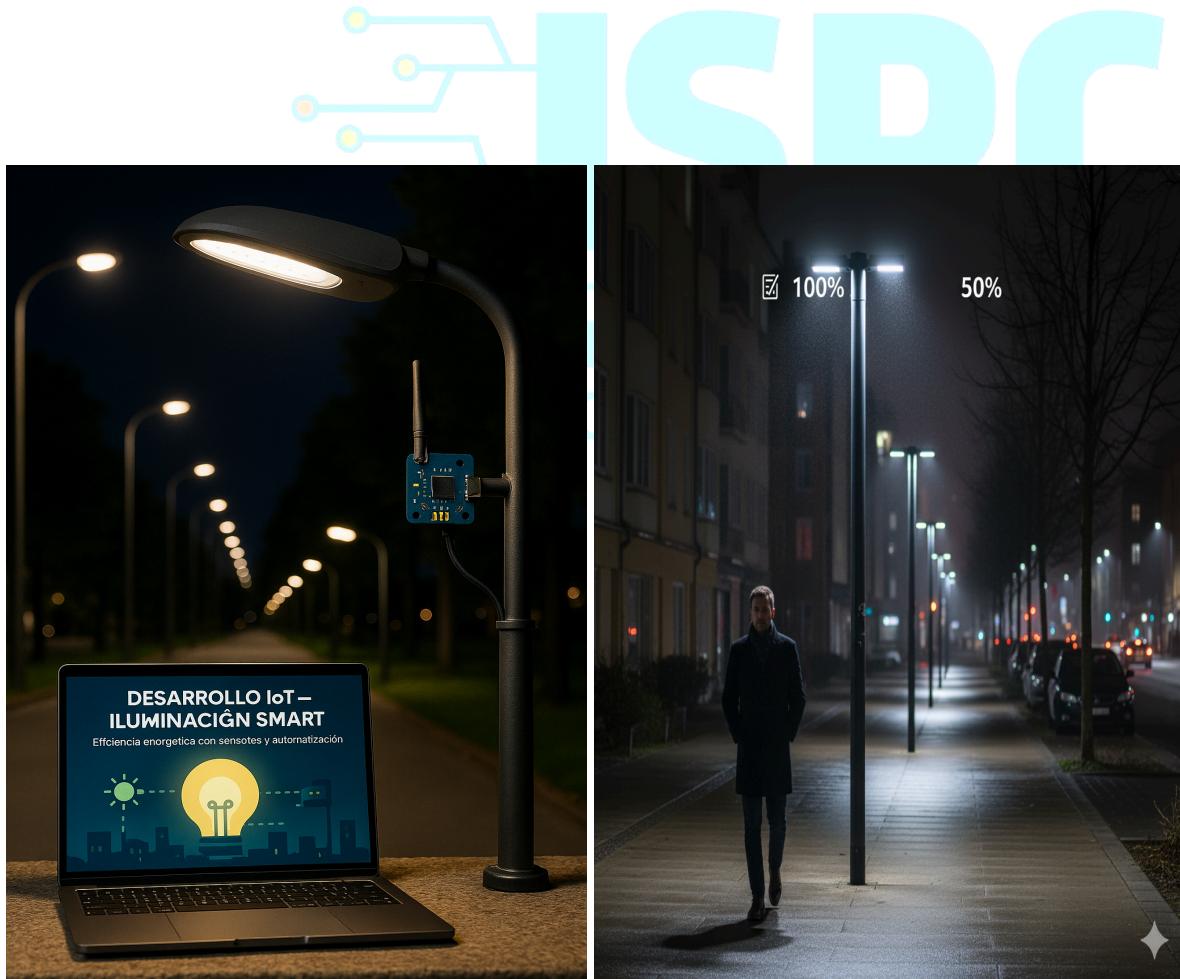
La implementación de un sistema de alumbrado público inteligente basado en IoT aporta **múltiples beneficios sociales a la comunidad**. En primer lugar, mejora significativamente la **seguridad ciudadana**, ya que las luminarias ajustan su intensidad o se encienden cuando detectan movimiento, lo que reduce zonas oscuras, previene delitos y disminuye el riesgo de accidentes en calles, veredas, plazas y avenidas. Además, el monitoreo remoto permite detectar rápidamente fallas, evitando que sectores queden sin iluminación por largos períodos.

Desde el **aspecto ambiental**, el sistema contribuye a la sustentabilidad, gracias al uso eficiente de la energía. A esto se suma el uso de tecnología LED y mantenimiento predictivo, lo cual extiende la vida útil de los equipos y reduce residuos y reemplazos innecesarios.

En cuanto al **impacto económico**, el proyecto permite un ahorro considerable para municipios, cooperativas o entes encargados del alumbrado. El consumo eléctrico disminuye al evitar que las luminarias permanezcan encendidas en horarios sin tránsito, y el mantenimiento predictivo reduce los costos operativos al evitar inspecciones innecesarias y reparaciones tardías.

El proyecto también fortalece la **inclusión y accesibilidad urbana**, ya que genera espacios mejor iluminados para personas mayores, mujeres, estudiantes, trabajadores nocturnos y peatones en general, sin depender de reportes ciudadanos para detectar fallos. Al mismo tiempo, **mejora la calidad de vida**, permitiendo un uso más seguro y prolongado de espacios públicos durante la noche, sin generar contaminación lumínica innecesaria.

Categoría	Beneficio	Impacto en la comunidad
- Seguridad	Iluminación activa por presencia.	Reduce delitos y accidentes.
- Sustentabilidad	Menor consumo energético.	Disminuye huella de carbono.
- Ahorro económico	Optimización del uso eléctrico y mantenimiento.	Reduce gastos municipales.
- Calidad de vida	Espacios públicos más seguros y accesibles.	Favorece el tránsito peatonal y la recreación.



#### 14. Simulación y datos: “Probar el sistema sin hardware físico”.

Diseñar un script simulador que genere:

- Nivel de luz ambiental (lux).
- Detección de presencia (true/false).
- Estado de lámpara (on/off).
- Consumo energético estimado (W).

#### MQTT:

- Definir tópicos y esquema de mensajes, por ejemplo:

```
luminaria/<id>/estado    -> { "on": true, "intensidad": 80 }
```

```
luminaria/<id>/sensor     -> { "presencia": true, "luminosidad": 120 }
```

luminaria/<id>/consumo -> { "energia": 45 }

- *Definir frecuencia de envío de datos: cada 5-10 segundos para pruebas.*

## 15. Infraestructura y despliegue:

**Docker en el Proyecto ILUMINET:** Docker es una plataforma de contenedores que permite empaquetar aplicaciones y sus dependencias en unidades estandarizadas llamadas contenedores. Estos contenedores son entornos aislados, portátiles y consistentes que se ejecutan en cualquier sistema con Docker instalado.

### ¿Por qué usamos Docker en ILUMINET?

- Consistencia del entorno: Garantiza que la aplicación funcione igual en desarrollo, pruebas y producción.
- Aislamiento de servicios: Cada componente opera independientemente sin conflictos.
- Facilidad de despliegue: Implementación rápida y reproducible con un solo comando.
- Escalabilidad: Replicación sencilla de servicios según demanda.
- Gestión de dependencias: Cada servicio mantiene sus propias dependencias.
- Portabilidad: Ejecución en cualquier sistema operativo sin modificaciones.
- Versionado: Control preciso de versiones de cada componente.

### Contenedores Utilizados y sus Funciones

#### 1. Portainer - Gestión de Contenedores

**Función:** Interfaz web para administración y monitoreo visual de toda la infraestructura Docker.

#### Beneficios específicos para ILUMINET:

- Monitorización en tiempo real del estado de todos los servicios
- Gestión visual de logs, recursos y configuraciones
- Interfaz intuitiva para operaciones (start/stop/restart)
- Ideal para demostración y gestión por usuarios no técnicos

## 2. Nginx - Proxy Inverso y Gateway

**Función:** Punto único de entrada y enrutamiento inteligente para todos los servicios web (gateway inteligente).

### Configuración ILUMINET:

- Enrutamiento por paths: /api, /dashboard, /monitoring, /manage
- Terminación SSL/TLS centralizada.
- Rate limiting y protección básica.
- Compresión GZIP y caché de archivos estáticos
- Balanceo de carga preparado para expansión futura

## 3. Mosquitto - Broker MQTT

**Función:** Broker de mensajería para comunicación entre dispositivos y backend. (Comunicación bidireccional con dispositivos IoT).

### Configuración específica para ILUMINET:

- Arquitectura pub/sub para escalabilidad.
- Tópicos MQTT:
  - iluminet/sensores/+ /datos (datos de telemetría).
  - iluminet/control/+ /comandos (comandos hacia dispositivos).
  - iluminet/estado/+ /actualizacion (estados del sistema).
- Autenticación y autorización configurada.
- Persistencia de mensajes QoS ½ (criticos).
- Bridge configuration para múltiples gateways.

## 4. InfluxDB - Base de Datos Temporal

**Función:** Almacenamiento optimizado para series temporales de datos de sensores.

### Datos almacenados en ILUMINET:

- Mediciones de consumo energético en tiempo real.
- Estados históricos de luminarias.
- Datos de sensores (presencia, luminosidad, temperatura).
- Métricas de rendimiento del sistema.
- Configuración de retención automática de datos.

- Alta velocidad de ingestión de datos.
- Consultas eficientes de series temporales.
- Integración nativa con Grafana.

### 5. Node-RED - Orquestación Inteligente

**Función:** Plataforma de integración y automatización de flujos de trabajo.

#### Flujos implementados:

- Procesamiento de datos MQTT en tiempo real
- Transformación y enriquecimiento de datos de sensores
- Lógica de control automático (presencia → intensidad lumínica).
- Generación de alertas inteligentes (telegram, email).
- API REST unificada para frontend e integraciones.
- Comunicación bidireccional con dispositivos IoT.

### 6. Grafana - Visualización y Analytics

**Función:** Plataforma de dashboards interactivos para monitoreo y análisis

#### Dashboards para ILUMINET:

- Consumo energético en tiempo real e histórico.
- Mapa de estado de luminarias con geolocalización.
- Métricas de eficiencia y ahorro energético.
- Alertas proactivas y panel de mantenimiento.
- Reportes automáticos de rendimiento del sistema.

## 16. Flujo de datos

### Flujo de Datos del MVP

- **Recolección:** Los sensores en los ESP8266 capturan datos de movimiento, luminosidad y consumo
- **Transmisión:** Los datos se envían vía RF al ESP32 gateway.
- **Agregación:** El ESP32 envía los datos agregados via MQTT a Node-RED.
- **Procesamiento:** Node-RED aplica reglas de negocio (control automático, detección de anomalías).
- **Almacenamiento:** Los datos se guardan en InfluxDB.
- **Visualización:** Grafana muestra los datos en dashboards en tiempo real.

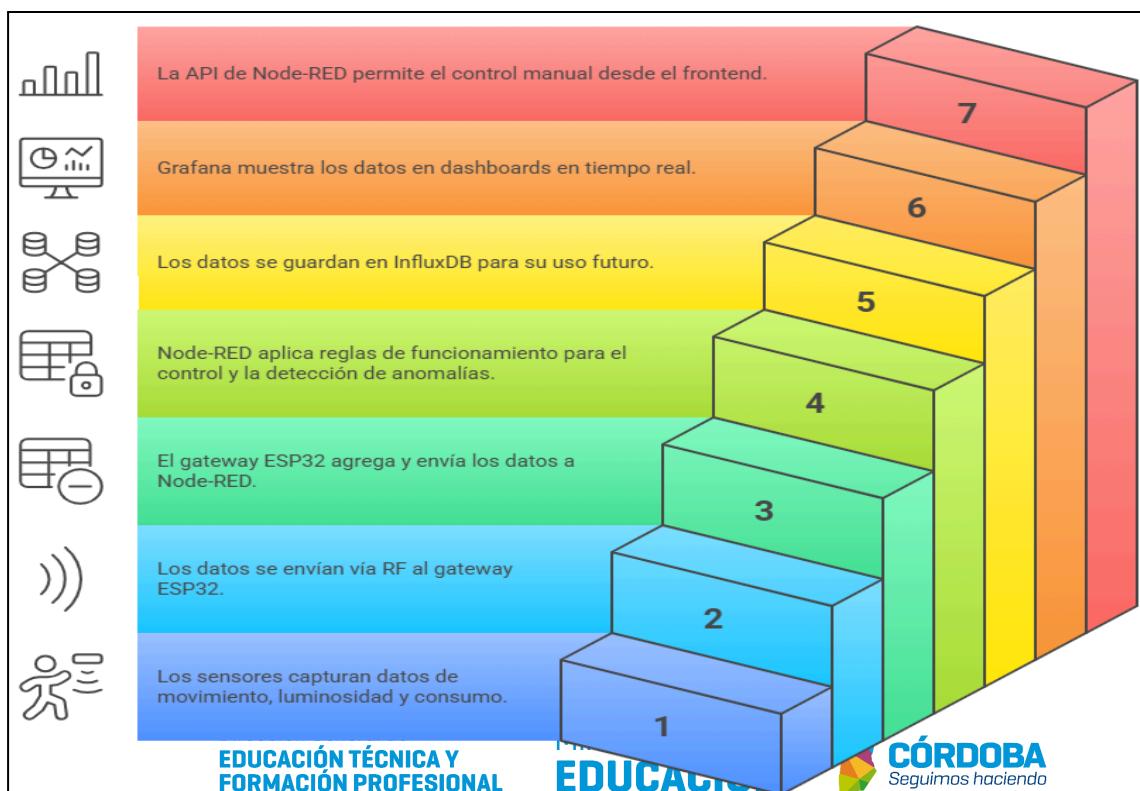
- **Control:** La API de Node-RED permite control manual desde el frontend.

### Características Clave del MVP

- **Control Automático Básico:** Encendido/apagado basado en detección de movimiento y luz ambiental.
- **Dashboard en Tiempo Real:** Visualización del estado del sistema y métricas de eficiencia.
- **API REST Simple:** Endpoints básicos para control manual y consulta de estado.
- **Sistema de Alertas:** Notificaciones por Telegram/email para condiciones críticas.
- **Fácil Despliegue:** Todo el sistema se ejecuta con un solo comando Docker.

### Limitaciones del MVP

- Escalabilidad: Diseñado para hasta 50 dispositivos máximo
- Rendimiento: Procesamiento secuencial en Node-RED
- Disponibilidad: Single point of failure en Node-RED
- Mantenibilidad: Lógica de negocio mezclada con configuración de flujos



### Estructura del proyecto:

```
 proyecto_iluminet/  
   ├── device-simulator/  
   ├── backend/  
   ├── node-red/  
   ├── grafana/  
   └── docs/
```

**Pruebas de despliegue:** Verificar comunicación del simulador con broker MQTT y backend.



INSTITUTO SUPERIOR  
POLITÉCNICO CÓRDOBA

## 16. Visualización y pruebas

### Dashboards mínimos en Grafana:

- Consumo vs tiempo: Línea de consumo de cada luminaria.
- Estado de luminarias: Mapa o lista con luces encendidas/apagadas.
- Detección de presencia: Indicador de eventos recientes.

### Prueba end-to-end:

- Simulador envía datos al broker.
- Node-RED procesa y guarda en la base de datos.
- Grafana muestra dashboards en tiempo real.

## 17. Certificados digitales y seguridad en ILUMINET.

### Propósito

Se implementan certificados digitales para asegurar las comunicaciones del sistema ILUMINET, garantizando confidencialidad, autenticación e integridad de los datos.

### Componentes involucrados

El sistema abarca distintos niveles:

- Sensores y nodos IoT (ESP8266).
- Gateways (ESP32).
- Servidores backend y frontend.
- Plataformas de monitoreo.

**Necesidades de seguridad:** Las comunicaciones deben asegurar:

- Identidad verificada entre dispositivos.
- Cifrado de datos transmitidos.
- Protección ante interceptaciones o manipulaciones.

**¿Qué es un certificado digital?** Es un archivo que autentica la identidad de un dispositivo o servidor y permite cifrar la información. Se gestiona mediante una infraestructura de clave pública (PKI).

**Criptografía utilizada:** Se usa ECC (Elliptic Curve Cryptography) por su eficiencia en dispositivos IoT, ya que ofrece:

- Mayor seguridad con claves más pequeñas.
- Menor consumo de memoria y energía.
- Mejor rendimiento que RSA en ESP32.

RSA se descarta por su peso y bajo rendimiento en sistemas embebidos.

### Aplicación por capas

1. Servidores (backend y MQTT): Certificados ECC para conexiones seguras (HTTPS, TLS, API).
2. Gateways (ESP32): Certificados propios para autenticarse y verificar servidores.
3. Nodos (ESP8266): Por limitaciones técnicas, se plantea seguridad por aplicación (HMAC, claves compartidas), no TLS completo.

### Protocolos seguros

- ESP32 ↔ Servidores: TLS 1.2+, autenticación mutua y cifrado AES.
- ESP8266 ↔ ESP32: Comunicación protegida a nivel aplicación.

### Prevención de ataques

Se mitigan riesgos como:

- Interceptación de datos

- Suplantación de dispositivos
- Manipulación de mensajes

Esto se logra con certificados únicos, cifrado y autenticación.

**Actualización de certificados.** Los certificados del sistema se renuevan de forma periódica:

- Servidores: cada 12 meses
- Gateways (ESP32): cada 6 meses

La actualización puede hacerse localmente o vía MQTT seguro.

**Para más información haz clic en el repositorio: [ILUMINET- repositorio](#)**

## 18. CONCLUSIÓN

El proyecto ILUMINET representa una solución tecnológica eficiente y sostenible para los desafíos actuales del alumbrado público. Al integrar sensores, microcontroladores y comunicación IoT, permite optimizar el consumo energético, mejorar la seguridad urbana y reducir los costos operativos mediante monitoreo remoto y mantenimiento predictivo.

Desde nuestra formación como estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones, este desarrollo no solo aplica los conocimientos adquiridos en conectividad, redes y sistemas inteligentes, sino que también demuestra cómo la tecnología puede emplearse para transformar infraestructuras tradicionales en soluciones innovadoras y funcionales. El proyecto fortalece nuestras competencias técnicas y profesionales al vincular teoría con práctica en un contexto real.

Además, ILUMINET no solo moderniza el alumbrado público, sino que sienta las bases para la integración con plataformas de Smart Cities, promoviendo ciudades más conectadas, seguras y sostenibles. Su impacto social se refleja en el ahorro energético, la mejora de la calidad de vida, la seguridad comunitaria y la eficiencia en la gestión urbana. En conjunto, este proyecto demuestra cómo la tecnología y la formación académica pueden converger en soluciones concretas para el bienestar colectivo.

## 19. BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2020). *Ciudades inteligentes, infraestructura y sostenibilidad urbana*. Naciones Unidas.
- Hernández, J., & Gutiérrez, L. (2019). *Aplicaciones del Internet de las Cosas en servicios urbanos: iluminación, seguridad y movilidad*. Revista Iberoamericana de Tecnología, 12(3), 45–58.

- Ministerio de Energía de Argentina. (2022). *Eficiencia energética en alumbrado público y transición tecnológica a sistemas LED*. Dirección Nacional de Energía.
- Villalba, M., & Ríos, E. (2018). *Implementación de sensores IoT para monitoreo energético en espacios públicos*. Revista de Innovación Tecnológica, 6(2), 22–30.
- **Material de estudio obligatorio del módulo “Desarrollo de Aplicaciones IoT”.** (2024). Instituto Superior Politécnico Córdoba. Apunte académico interno no publicado.