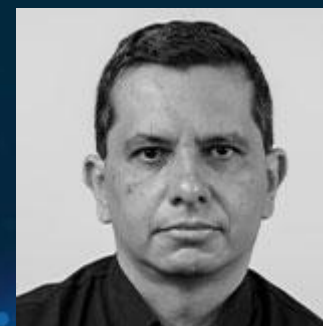


# La infraestructura invisible: integrando IoT y la IA generativa para un futuro más inteligente

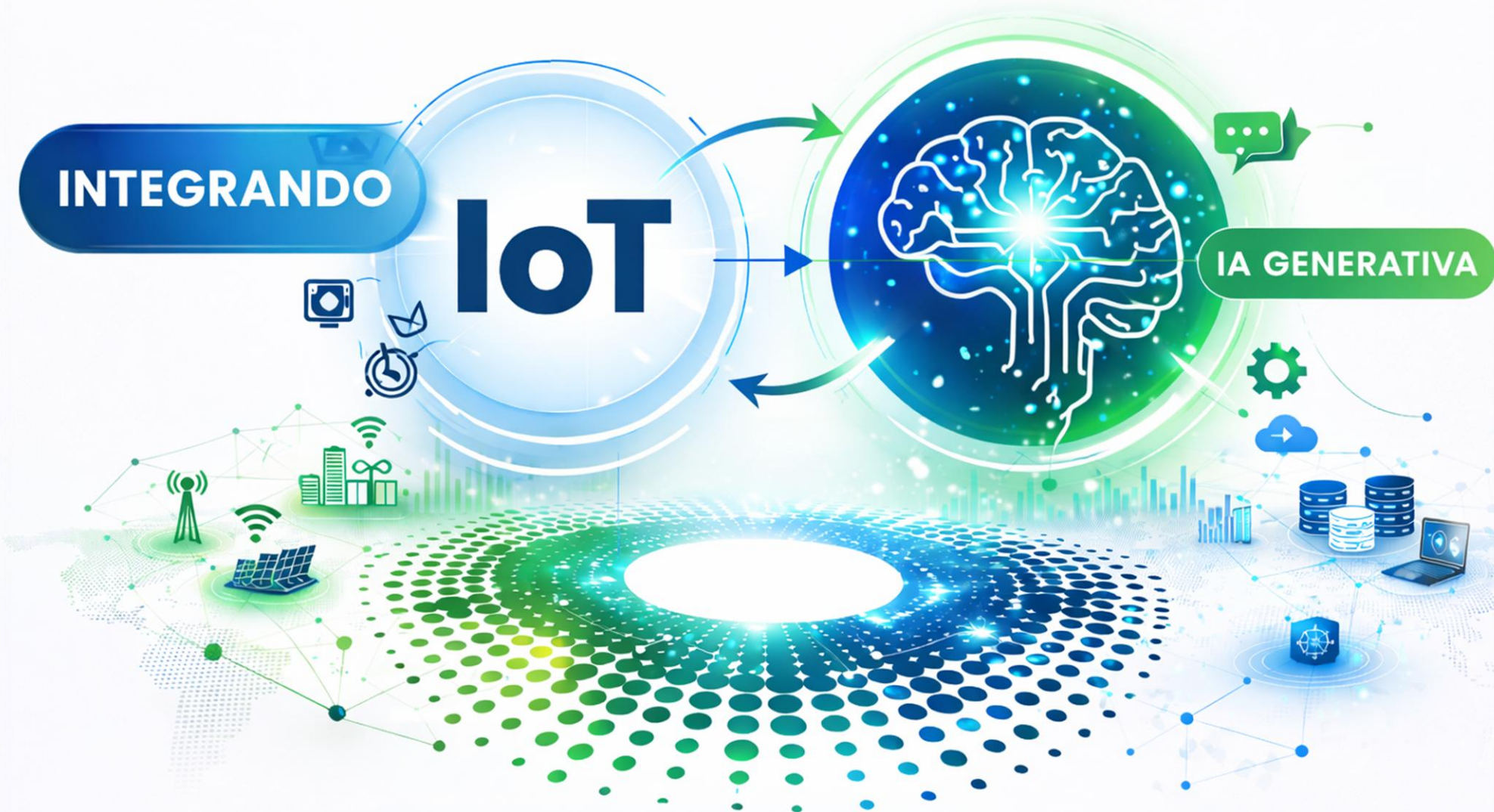
Alexander Muñoz  
Desarrollador de Negocios



Mario Serrano  
Especialista de Investigación y Desarrollo  
**Electrotécnica**



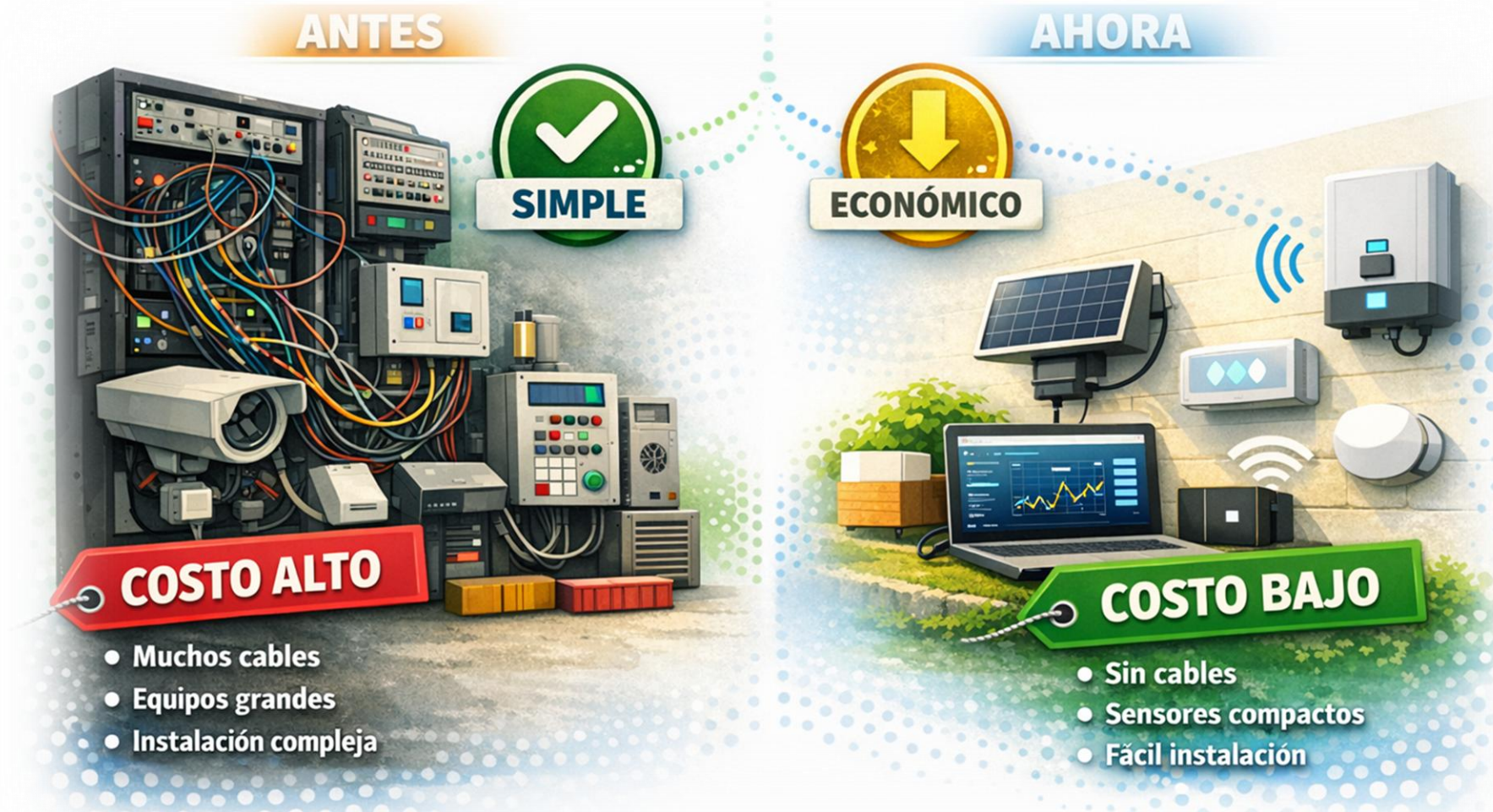
# LA INFRAESTRUCTURA INVISIBLE:



PARA UN FUTURO MÁS INTELIGENTE



# Instalación de IoT: Antes vs Ahora





# DISMINUCIÓN DE COSTOS

Evolución del precio medio de sensores IoT (2004-2020)





# FACTORES CLAVE

Impulsores principales de la reducción de costos en sensores



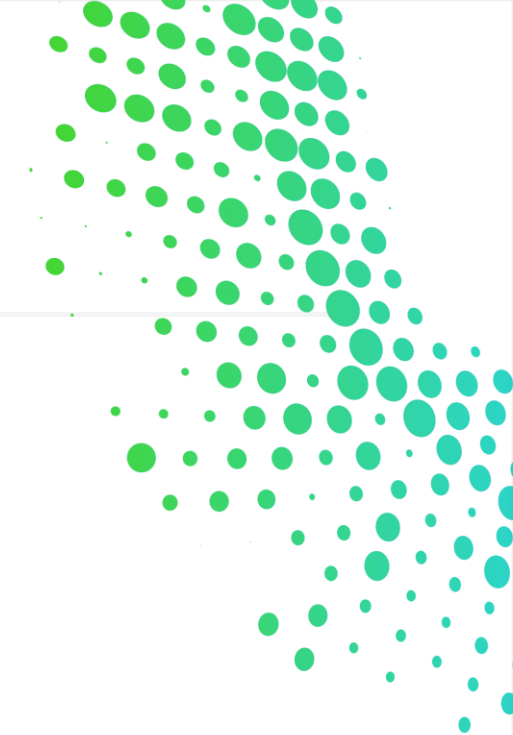
## Miniaturización y Semiconductores

- Integración de procesamiento, memoria y comunicación en un solo chip (SoC).
- Disminución drástica de costos unitarios.



## Producción en Masa y Economías de Escala

- Mejores precios en materias primas.
- Optimización en líneas de ensamblaje con procesos automatizados
- Reducción del costo por unidad.



# FACTORES ADICIONALES

Otros impulsores clave en la reducción de costos



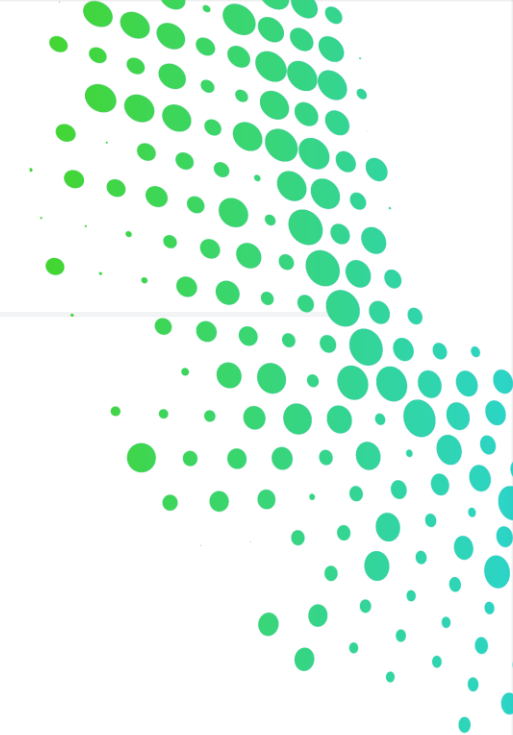
## Diseño Modular y Estandarizado

La proliferación de plataformas de desarrollo (como Arduino o ESP-32) ha impulsado módulos pre-certificados listos para usar.



## Competencia y Fuentes Abiertas

La entrada masiva de proveedores asiáticos y la apertura del hardware (Open Source) han generado una competencia intensa. La disponibilidad de kits económicos crea un círculo virtuoso donde la mayor adopción justifica mayores volúmenes y menores precios.





# MQTT: PROTOCOLO ESTÁNDAR

La solución ligera y eficiente para la comunicación en IoT



Modelo  
Publicación/  
Suscripción



Escalabilidad  
y Fiabilidad



Seguridad  
Integrada



# MQTT: BENEFICIOS PRINCIPALES

Ventajas clave del protocolo estándar para IoT



## Baja Carga Adicional

Headers mínimos (2 bytes) y carga útil optimizada. Ideal para redes con ancho de banda limitado y dispositivos sencillos.



## Persistencia

Capacidad de retener mensajes para clientes desconectados, entregándolos al reconectar.



## Escalabilidad Masiva

Arquitectura capaz de conectar millones de clientes a un broker central sin complejidad excesiva.



## Implementación Universal

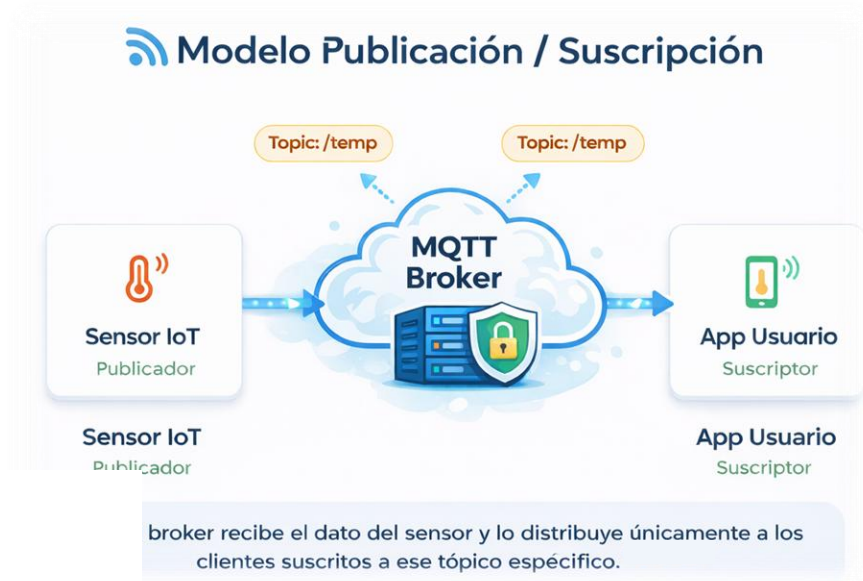
Bibliotecas disponibles en casi todos los lenguajes (Python, C, JS) y múltiples brokers open-source.





# MQTT: CARACTERÍSTICAS CLAVE

Arquitectura y funcionamiento del protocolo



## Arquitectura de Tópicos

Organización jerárquica permite un filtrado eficiente y suscripciones específicas.



## Mensajería Asíncrona

El cliente publica sin bloquearse. El broker gestiona la distribución, permitiendo desacoplamiento total.

The diagram illustrates the MQTT Ecosystem. At the top center, a cloud contains server racks and a city skyline, with the text "MQTT Ecosystem" below it. Three dotted lines radiate from this central cloud to three other clouds positioned around it. The bottom-left cloud contains server racks, a shield icon, and a code editor icon, with the text "Amplia Oferta de Brokers" below it. The bottom-center cloud contains icons for Python, C, and JS, along with server racks and a database icon, with the text "Integración Universal" below it. The bottom-right cloud contains server racks and a city skyline, with the text "Despliegue Flexible (Cloud & Edge)" below it. The background is a light blue gradient with a pattern of small blue and green dots.

## MQTT Ecosystem

An illustration showing several blue server racks. One rack has a yellow shield icon with a keyhole. Another rack has a code editor icon with a green background and white text "</>".

**Amplia Oferta  
de Brokers**

An illustration showing a central blue server rack with a database icon. To its left is a Python logo (blue and yellow). To its right is a C logo (blue square with a white 'C') and a JS logo (yellow square with a black 'JS'). The entire scene is set against a light blue cloud background.

**Integración Universal**

An illustration showing several blue server racks and a city skyline, all contained within a light blue cloud.

**Despliegue Flexible  
(Cloud & Edge)**



# LPWAN





# VENTAJAS DE LPWAN (PARTE 1)

Características fundamentales de las redes de área amplia y baja potencia

## “↑” Largo Alcance

Cubren varios kilómetros en zonas rurales y cientos de metros en entornos urbanos, superando a tecnologías como Wi-Fi o Bluetooth gracias al uso de frecuencias bajas.

## ⚡ Bajo Volumen de Datos

Diseñadas para transmitir pequeños volúmenes de datos de forma esporádica, ideales para telemetría de sensores IoT.

## 🔋 Consumo Energético Mínimo

Los dispositivos pueden operar durante años con baterías, facilitando despliegues masivos en ubicaciones de difícil acceso o con alimentación solar.



# VENTAJAS DE LPWAN (II)

Escalabilidad, infraestructura y gestión del espectro

## Escalabilidad Masiva

Un único gateway puede gestionar decenas de miles de dispositivos simultáneos, facilitando la implementación de redes densas de cientos de miles de nodos con mínima infraestructura central.

## Costo de Infraestructura Reducido

Los gateways y la red subyacente son significativamente más económicos que las redes celulares tradicionales. La instalación es sencilla y no requiere costosas inversiones en hardware complejo.

## Operación en Bandas No Licenciadas

Utiliza espectro ISM libre (ej. 868 MHz, 915 MHz), eliminando la necesidad de adquirir costosas licencias de frecuencia y permitiendo despliegues rápidos y flexibles sin trámites burocráticos.



# LoRaWAN<sup>16</sup>

Red de Área Amplia de Baja Potencia para IoT



Conectividad eficiente y de largo alcance para dispositivos IoT

# LORAWAN

La tecnología de referencia para conectividad IoT



## Liderazgo en el Mercado

Se proyecta como la tecnología LPWAN no celular líder para 2026, representando más del 50% de todas las conexiones globales según analistas.



## Ideal para Edificios e Industria

Su capacidad de penetración en interiores y largo alcance la convierte en la solución óptima para entornos urbanos densos y plantas industriales.



## Estándares Abiertos

Fomenta un ecosistema diverso y competitivo, eliminando la dependencia de proveedores únicos y reduciendo los costos de hardware a largo plazo.



# CRECIMIENTO DE LORAWAN

Proyección de mercado y adopción masiva (2024-2034)



Inicio

2024

CAGR 41.1%  
2024

115  
BILLONES

## Explosión del Mercado

Valor inicial de \$3.7 mil millones en 2024 con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) proyectada del 41.1%.

## Tecnología Líder

Se estima que para 2026, LoRaWAN será la tecnología LPWAN no celular líder, representando más del 50% de las conexiones.

Fuente: ABI Research & Global Market Insights (Estimaciones 2024-2034)

2034



# ¿QUÉ ES LORAWAN?

Long Range Wide Area Network

## **Protocolo MAC de Largo Alcance**

Es un protocolo de comunicación inalámbrica de bajo consumo y basado en estándares abiertos. LoRaWAN gestiona la red (seguridad, activación, calendarización) mientras la capa física LoRa maneja la transmisión de radio.

## **Arquitectura en Capas**

Se apoya en una estructura jerárquica (Gateway → Server → Application) que separa eficientemente la captura de datos de su procesamiento y distribución final.

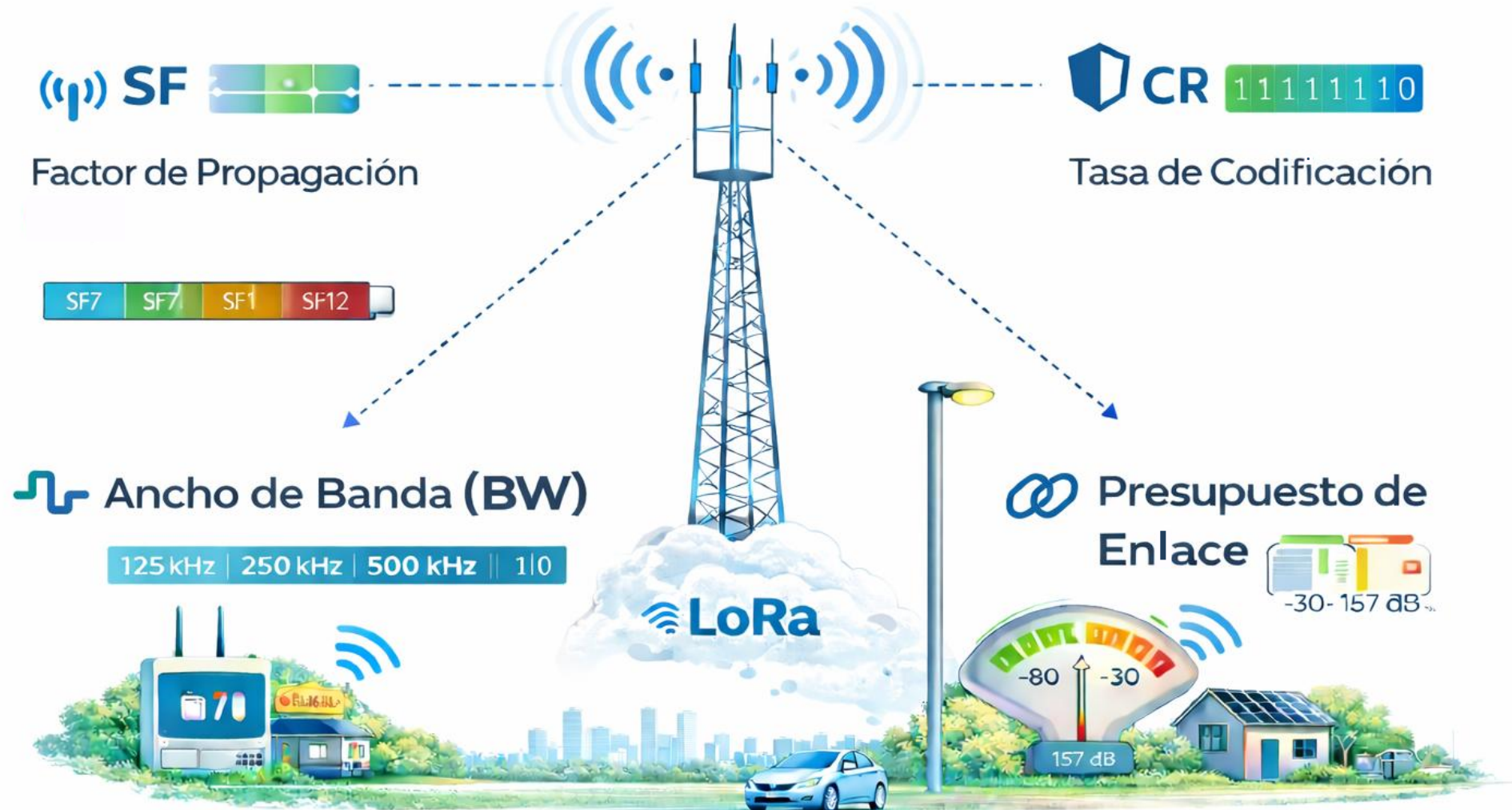
## **Transmisión de Datos Optimizada**

Diseñado para transmitir pequeñas cantidades de datos (típicamente de 0,1 a 10 KB) de forma periódica o bajo demanda, ideal para sensores alimentados por batería.



# PARÁMETROS PHY DE LORA

Configuración de la capa física para optimizar alcance y robustez





# CLASES DE DISPOSITIVOS

Clasificación LoRaWAN según consumo y latencia (A, B, C)

## Clase A

### Bidireccional Asíncrono

Escucha brevemente tras enviar un mensaje

⦿ Consumo Mínimo - Alta Latencia

Sensores ambientales, medidores



Sensores ambientales, medidores

## Clase B

### Bidireccional con Slots

Ventanas de recepción sincronizadas

⦿ Consumo Moderado - Latencia Predecible

Actuadores no críticos, telemetría regular



Actuadores no críticos, telemetría regular

## Clase C

### Bidireccional Continuo

Escucha siempre, comunicación casi en tiempo real

⊗ Consumo Alto - Latencia Mínima

Control de luces, válvulas



Control de luces, válvulas

⦿ Ideal para: Control de luces, válvulas (con energía eléctrica).

i Todos los dispositivos LoRaWAN deben soportar Clase A obligatoriamente.



# VENTAJAS DE LORAWAN

Parte I: Alcance, Eficiencia y Escalabilidad

## **Gran Alcance**

Cobertura de varios kilómetros en zonas urbanas y más de 10 km en áreas rurales. Excelente penetración en edificios con infraestructura mínima (concentradores cada 5 pisos).

## **Bajo Costo Total (TCO)**

Uso de bandas de frecuencia libres (sin licencias), reducción de costos de infraestructura y un ecosistema de software open-source que elimina pagos recurrentes.

## **Duración de Batería**

Autonomía de años gracias a ciclos de trabajo optimizados y ADR (Adaptive Data Rate), que ajusta dinámicamente la potencia según la calidad de la señal.

## **Escalabilidad Masiva**

Un único gateway puede gestionar miles de dispositivos simultáneamente. La arquitectura permite ampliar la capacidad fácilmente añadiendo más gateways.

# VENTAJAS DE LORAWAN (II)

Seguridad, flexibilidad e implementación simplificada

## Seguridad incorporada

Cifrado AES-128 de extremo a extremo. Llaves únicas (NwkSKey, AppSKey) garantizan la autenticidad del dispositivo y la privacidad de los datos.

## Modularidad

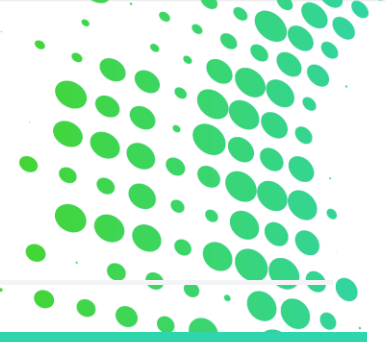
Arquitectura modular basada en estándares abiertos. Módulos de radio pre-certificados y amplia disponibilidad de bibliotecas de software.

## Acomodo a diferentes tipos de dispositivo

Soporte de clases A, B y C para equilibrar el consumo energético y la latencia según si se requiere mayor autonomía o respuesta inmediata.

## Versátil

Versatilidad total para despliegues en redes privadas (on-premise) o públicas, adaptándose a requisitos específicos de cobertura y gestión.



# DESVENTAJAS DE LORAWAN

Limitaciones técnicas y consideraciones de implementación



## Baja Tasa de Datos

Limitado a ~0,3 – 50 kbps. No es apto para aplicaciones que requieren video en tiempo real o flujos continuos de gran volumen de información.



## Latencia Variable

Dependiendo del tráfico de la red y el número de reintentos, la entrega de mensajes puede tardar desde segundos hasta minutos.



## Complejidad de Gestión de Frecuencias

En entornos densos es necesario planificar cuidadosamente los canales para evitar interferencias y congestión del espectro.



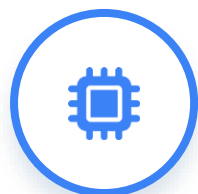
## Dependencia de Infraestructura de Backhaul

Los gateways requieren conexión a Internet (Ethernet, 4G/5G); la calidad y disponibilidad de este enlace es crítica para el servicio.



# COMPONENTES DE LORAWAN

Arquitectura del sistema y flujo de datos



**Dispositivo  
Final**

LoRa RF



**Gateway**

IP / Ethernet / 4G



**Network  
Server**

API / HTTPS



**App Server**

## Nodos (Sensores/Actuadores)

Capturan datos y envían paquetes. Su "clase" determina el comportamiento de escucha y consumo energético.

## Gateways (Concentradores)

Receptores RF transparentes que convierten la señal LoRa en paquetes IP hacia el servidor. Escuchan múltiples canales a la vez.

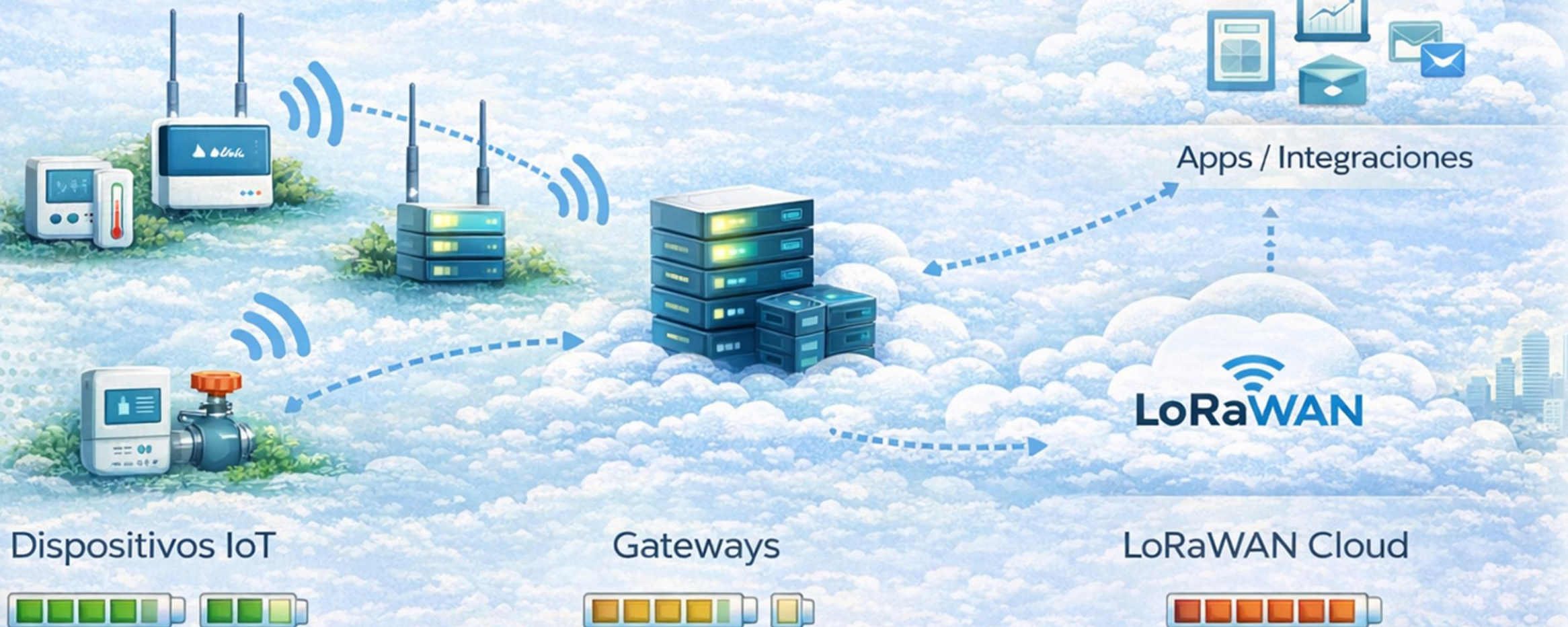
## Network Server

El cerebro de la red. Gestiona el tráfico, deduplica mensajes (si varios gateways reciben lo mismo), verifica integridad (MIC) y controla el ADR.

## Application Server

Maneja la lógica de negocio. Descripta la carga útil final, almacena los datos y los presenta al usuario o plataforma IoT.







# CHIRPSTACK

Solución open-source para la gestión integral de redes LoRaWAN





# CHIRPSTACK

Solución open-source para la gestión integral de redes LoRaWAN

## **Arquitectura Modular y Flexible**

Implementa componentes de red y aplicación soportando clases A, B y C. Permite un ajuste fino del consumo energético y latencia según la necesidad del dispositivo.

## **Control Avanzado y Diagnóstico**

Especifica la velocidad de datos adaptativa (ADR) para optimizar la transmisión. Ofrece visualización de paquetes en vivo (tipo Wireshark) para inspeccionar metadatos en tiempo real.

## **Integración y Multitenancy**

Soporte multiusuario para distintas organizaciones. Facilita la adaptación a bandas regionales (EU868, US915) y se integra nativamente con MQTT y bases de datos.

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA

LLM, Protocolo de Contexto y Flujo de Datos IoT



# INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA

LLM, Protocolo de Contexto y Flujo de Datos IoT

## **Grandes Modelos de Lenguaje (LLM)**

Esquemas generadores de predicciones (como ChatGPT) que permiten consultas en lenguaje natural. Ideales para extraer significados, generar resúmenes e interactuar con información compleja de manera conversacional.

## **Model Context Protocol (MCP)**

Estándar abierto que actúa como puente universal entre la IA y fuentes de datos externas. Permite a los asistentes conectar con bases de datos y herramientas de forma segura y estandarizada.

## **Flujo de Integración de Datos**

MQTT (Retain) → Almacenamiento en Base de Datos → Conexión vía MCP →

Interacción con LLM. Esto permite "conversar" con los datos de los sensores en tiempo real.



# CONCLUSIÓN

Integración de tecnologías para un despliegue IoT viable



## Sensores Accesibles

Reducción drástica de costos permite instrumentación masiva en edificios.



## Protocolos Eficientes

MQTT asegura comunicación ligera, asíncrona y segura para datos IoT.



## Conectividad LPWAN

LoRaWAN ofrece largo alcance y bajo consumo con infraestructura mínima.



## Inteligencia Artificial

LLM y MCP transforman datos crudos en insights accionables y consultas naturales.



**Resultado: Ecosistema IoT viable, abierto y escalable**

## Próximos Pasos

### Implementar Piloto

1

Desplegar sensores en un área controlada para validar conectividad y flujo de datos.

### Medir y Ajustar

2

Evaluar calidad de señal, consumo energético y ajustar parámetros de red (ADR).

### Escalar Solución

3

Expandir infraestructura e integrar análisis avanzado con modelos de IA.