



SEMINARIO II - INGENIERÍA MECATRÓNICA

M3: Estación Micrometeorológica IoT Autónoma de Bajo Costo

Integrantes:

José Miguel Cabrera Blanchet

Rodrigo Azael Reyes Alcocer

Profesor de Proyectos: Freddy Antonio Ix Andrade

Institución: Universidad Modelo

Contexto y Propósito del Proyecto



El Problema: Los sistemas regionales proveen alertas generales. Faltaba una solución granular para microclimas a nivel de campus que brinde alertas tempranas sobre inundaciones o temperaturas extremas locales.

La Solución: Diseño de un nodo IoT (M3) 100% autónomo, inalámbrico y de bajo costo.



Presupuesto

< \$1,500 MXN.



Autonomía

100% Solar y
Batería de Litio.



Conectividad

Largo alcance vía
LoRa (Banda UHF).

Estación M3: Integración de Hardware

Cerebro y Control:

Microcontrolador ESP32 (FireBeetle 2).
Procesamiento de datos y gestión de energía.

Módulo de Comunicación:

Transceptor LoRa (SX1278).
Transmisión de largo alcance sin depender de Wi-Fi local.

Sensores Ambientales:

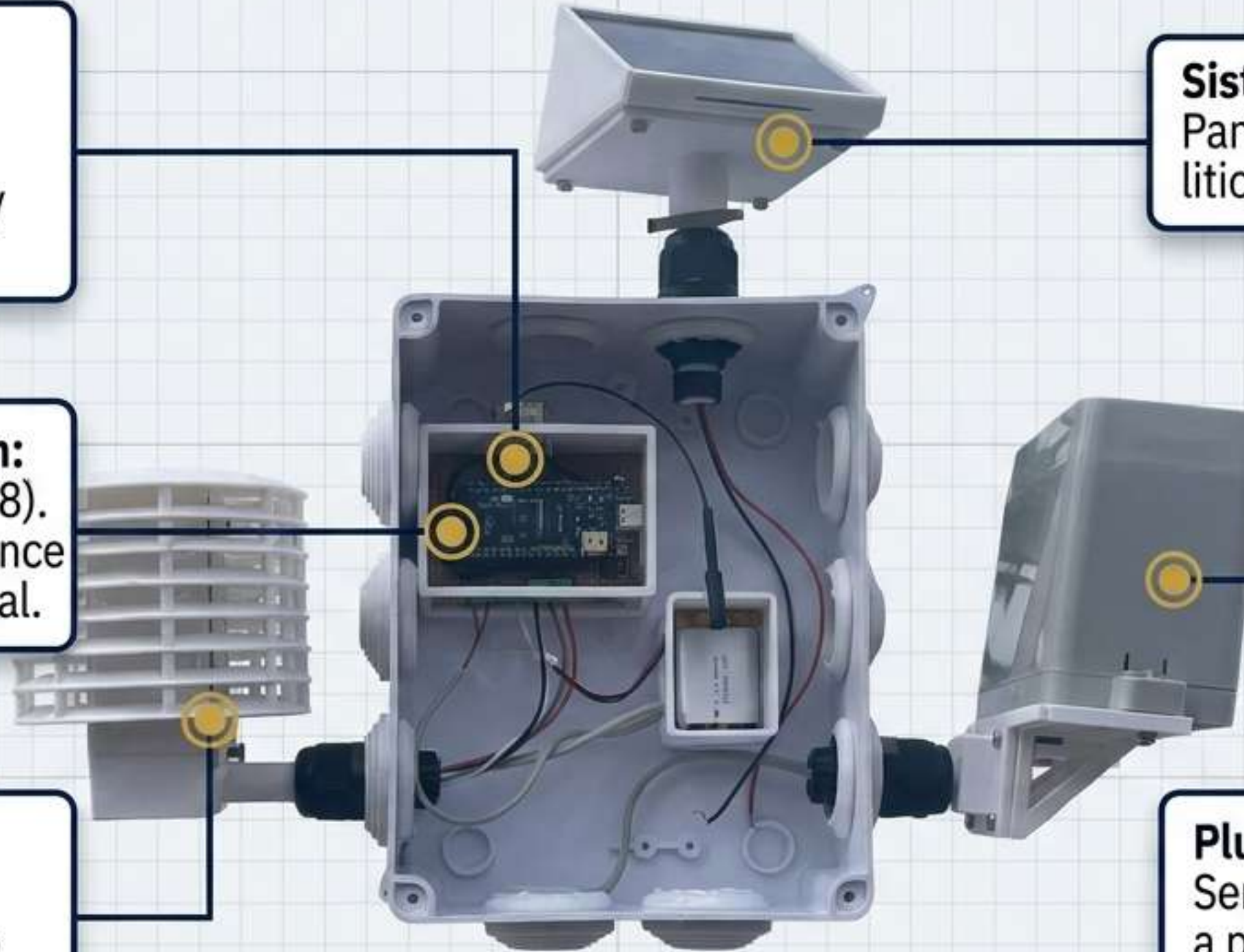
BME280 y ENS160.
Protegidos por un Escudo Solar FDM impreso en 3D.

Sistema de Energía:

Panel solar de 5V y celda de litio con módulo de carga.

Pluviómetro de Balancín:

Sensor magnético acoplado a pines de interrupción de hardware.

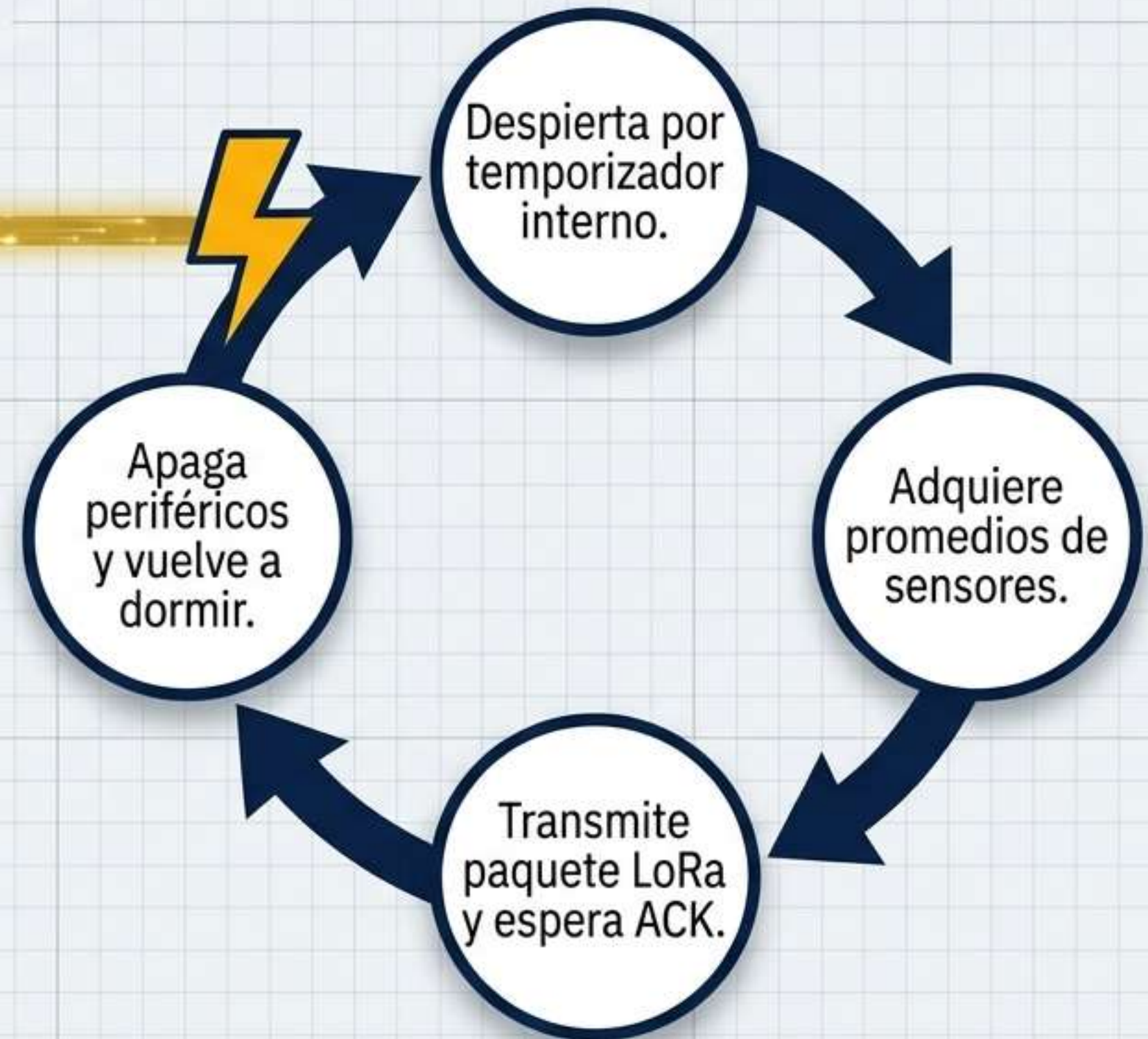


Electrónica y Optimización Energética

Arquitectura Orientada a Eventos: Transición a un modelo de Deep Sleep para maximizar la vida útil de la celda de litio.

Interrupción por Lluvia (EXT1)

El pin 4 (ESP_EXT1_WAKEUP) está acoplado al sensor magnético del pluviómetro. Despierta el hardware inmediatamente al detectar precipitación, evalúa la memoria RTC y actualiza el contador sin romper la eficiencia energética.



Comunicación y Enlace Gateway



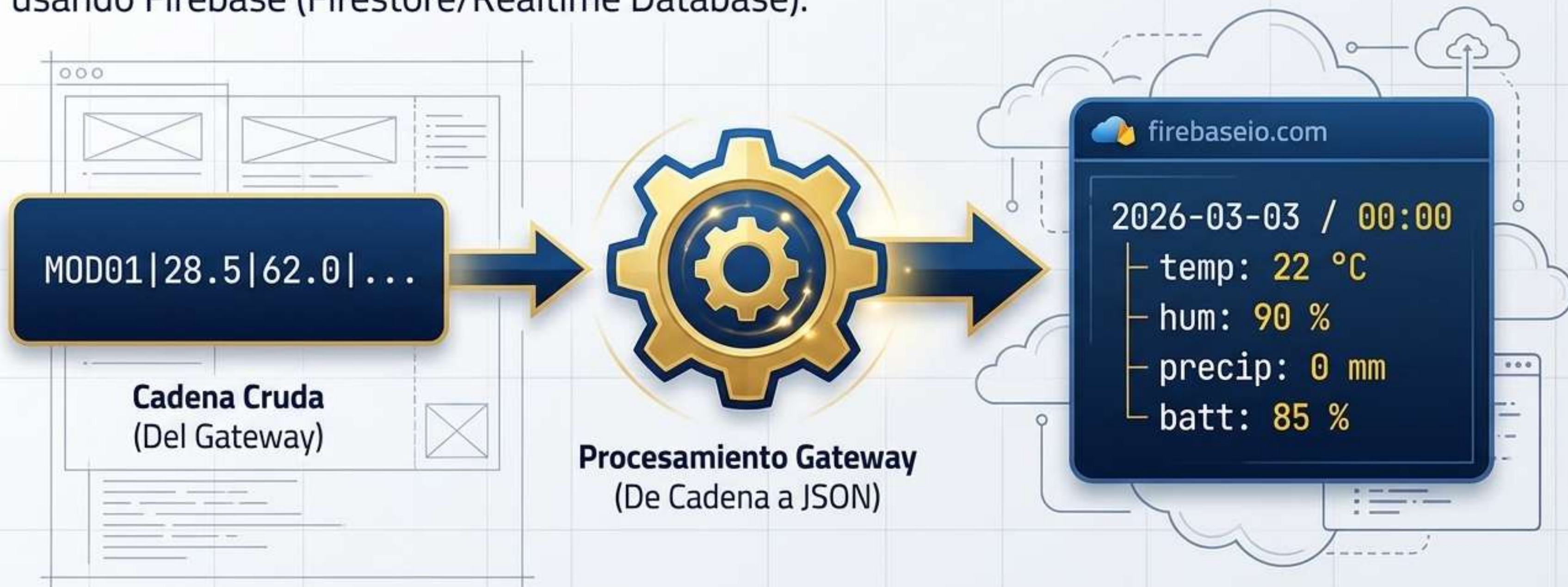
```
MOD01|28.5|62.0|1012.4|450|15|0.55|4.15|-105|7
```

```
(ID | Temp | Hum | Pres | eCO2 | TVOC | Lluvia | Batería | RSSI | SNR)
```

Robustez del Servidor:
Configuración headless con scripts nativos de auto-detección serial para garantizar reconexión autónoma ante cortes de energía en el campus.

Arquitectura de Base de Datos en la Nube

Contingencia y Evolución: Migración a un modelo Backend-as-a-Service (BaaS) usando Firebase (Firestore/Realtime Database).



Ventajas: WebSockets nativos para sincronización en vivo (cero latencia) y persistencia segura de datos históricos.

Interfaz Web y Dashboard en Tiempo Real

Frontend Responsivo

Plataforma web HTML5/CSS3 desplegada globalmente a través de Netlify.

Visualización sin Intervención

Conexión directa a Firebase vía SDK de JavaScript. Lógica onSnapshot para actualización instantánea.



Análisis Gráfico

Integración de Chart.js para graficar la evolución termohigrométrica y la calidad del aire de las últimas 24 horas.

Sistema de Alertas Tempranas (Push)

Del Monitoreo Pasivo a la Acción Proactiva: Middleware en Firebase evalúa umbrales críticos.



Prevención de Saturación: Temporizadores en la memoria RTC imponen una ventana de bloqueo (Cooldown de 5 min) para evitar bombardeo de notificaciones durante lluvias continuas, optimizando ancho de banda.

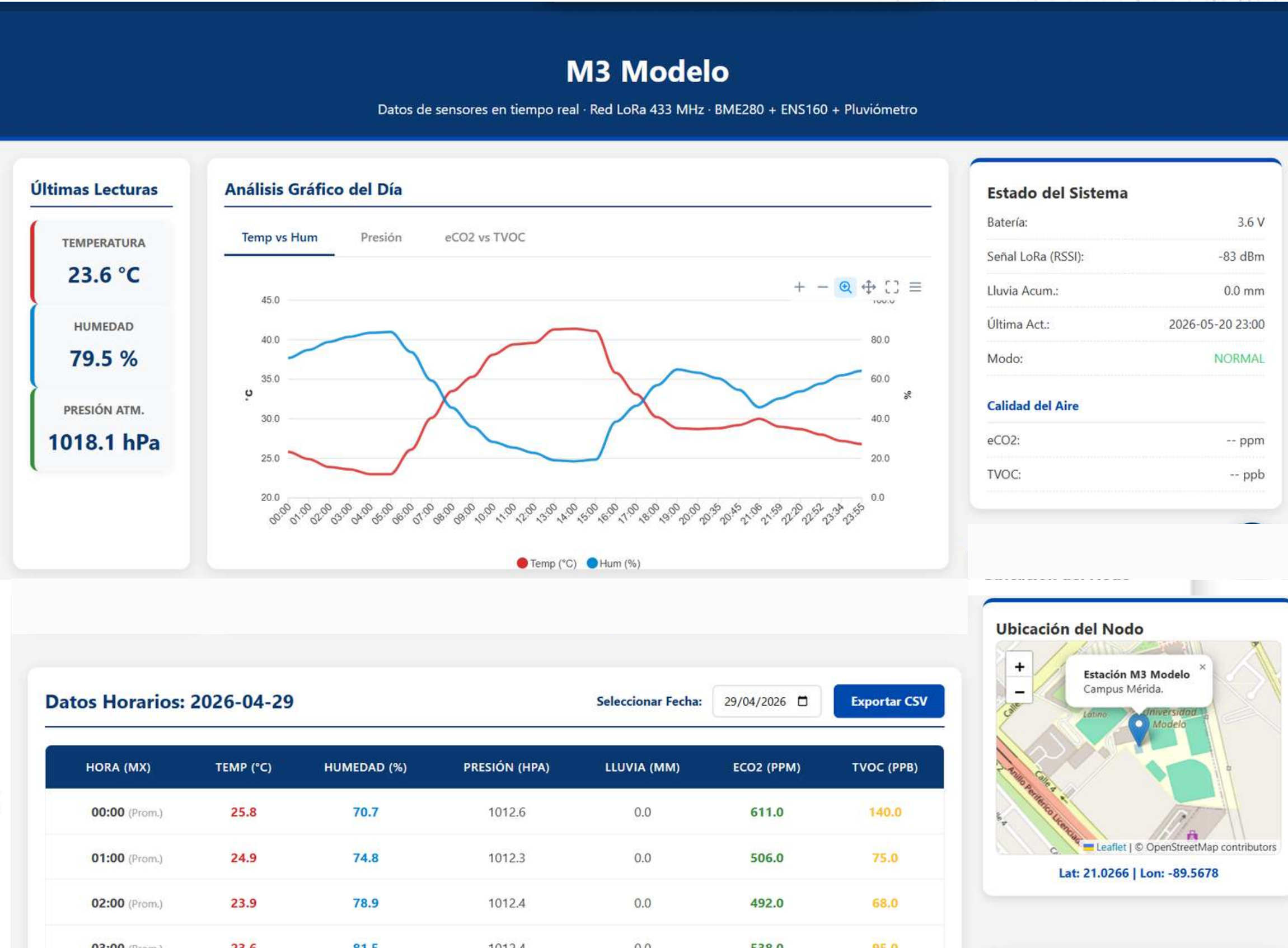
Retos Técnicos y Soluciones de Ingeniería

Síntoma/Falla	Causa Raíz	Solución de Ingeniería Aplicada
Desconexión permanente de la red tras cortes de energía en el campus.	El Power Management de Linux suspendía la interfaz wlan0.	Modificación del archivo de arranque <code>rc.local</code> para inyectar bloqueo físico de suspensión.
Drenaje excesivo de la batería en campo.	Ejecución continua del firmware e inestabilidad del pluviómetro.	Migración a arquitectura orientada a eventos (Deep Sleep) e interrupciones EXT1 apoyadas en memoria RTC .
Pérdida de histórico por falta de DB institucional.	Infraestructura local no habilitada para 2026.	Redirección de telemetría a un BaaS de contingencia (Firestore).

Resultados y Validación en Campo



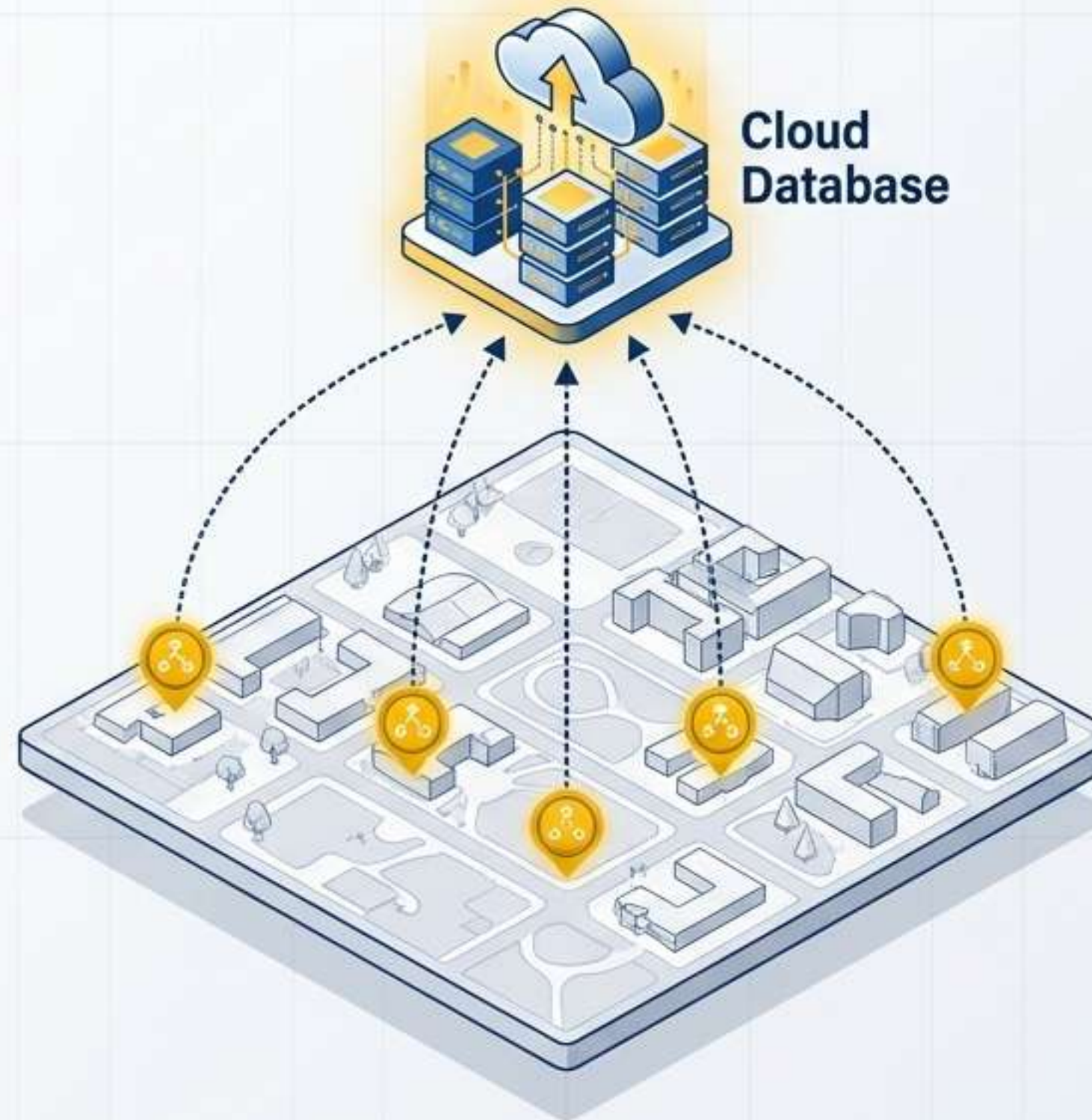
Despliegue Físico: Nodo instalado con éxito en la Universidad Modelo, superando pruebas de estrés energético y comunicacional.



Impacto Esperado y Visión a Futuro

Consolidación del Ecosistema

- El proyecto deja de ser un prototipo supervisado y se entrega como una infraestructura inmortal, tolerante a fallos y 100% autónoma.
- **Beneficio Institucional:** Creación del primer mapa de microclimas granulares de la Universidad Modelo, combinando hardware de bajo costo ($\leq \$1500$ MXN) con ingeniería de software.



Escalabilidad Comprobada

- Gracias a la arquitectura inalámbrica LoRa y la Energía Solar, el diseño base permite replicar y desplegar 10 o 20 nodos adicionales en el campus sin depender de infraestructura eléctrica o conectividad local.