Firmware para Microarquitecturas de Algoritmia Embebida con Resiliencia

KK-2025/00047

Entregable E1.1-2

Arquitecturas, prestaciones y requisitos funcionales de los dispositivos con recursos limitados (RCD) en Redes Eléctricas inteligentes

<Versión 0.1>

31/12/2025

Proyecto subvencionado por el Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad del Gobierno Vasco (Programa ELKARTEK 2025)
Eusko Jaurlaritzaren Industria, Trantsizio Energetiko eta Jasangarritasun Saila (ELKARTEK 2025 Programa) finantziatutako proiektua
Project funded by the Department of Industry, Energy Transition and Sustainability of the Basque Government (ELKARTEK 2025 Programme)

Resumen ejecutivo

El entregable E1.1-2 constituye la primera entrega del paquete de trabajo PT1 del proyecto FIRMAR, cuyo objetivo es analizar las prestaciones y los requisitos funcionales que deben cumplir los dispositivos con recursos limitados (RCD) dentro de las Redes Eléctricas Inteligentes (*Smart Grids*). Las actividades principales que se abordan en este documento corresponden a las tareas T1.1 (Revisión de arquitecturas y prestaciones) y T1.2 (Definición de requisitos funcionales).

El objetivo de este entregable es proporcionar una base técnica que facilite el diseño, la implementación y la evaluación de soluciones basadas en RCD, garantizando su interoperabilidad, eficiencia y robustez en entornos críticos. Para ello, el documento se estructura en tres bloques clave:

1. **Arquitecturas RCD**: se describen y comparan las distintas arquitecturas de referencia empleadas en *Smart Grids*, destacando su capacidad de integración con sensores, redes de comunicación, sistemas de protección y plataformas de gestión. Se analizan además los requisitos de ciberseguridad y de resiliencia que deben incorporarse a dichas arquitecturas. Se considerarán los cuatro grupos de tipologías *edge* identificados:
    - **Tipo 0:** *smart meters* de baja tensión.
    - **Tipo 1:** dispositivos de protección y supervisión de baja tensión.
    - **Tipo 2:** IEDs de media tensión con funciones de protección.
    - **Tipo 3:** equipos avanzados de subestación.
2. **Requisitos funcionales:** se recogen los requisitos esenciales que los RCD deben cumplir en cuanto a consumo energético, tamaño de modelo, velocidad de inferencia y robustez frente a datos incompletos o ruidosos. Asimismo, se especifican los requerimientos de interoperabilidad definidos por los modelos de referencia SGAM y SGIRM.
3. **Prestaciones técnicas:** se examinan las capacidades de procesamiento, consumo de energía, conectividad y escalabilidad de los RCD, con especial atención a los cuatro grupos de tipologías *edge* indicados anteriormente.

En el ámbito de la sensórica y el procesamiento de datos, el documento define tres bloques de actuación que sustentan los **algoritmos "verdes"** orientados a minimizar el consumo energético y a maximizar la eficiencia computacional:

- **Muestreo:** técnicas de muestreo adaptativo, *data-augmentation*, compresión de datos y transmisión adaptativa, acompañadas de reducción de precisión y gestión dinámica de recursos.
- **Entrenamiento:** compresión de modelos mediante cuantización y poda, con mecanismos que permiten adaptar el entrenamiento local a la disponibilidad de recursos del dispositivo.
- **Inferencia:** ejecución directa en el dispositivo con modelos comprimidos, búsqueda de arquitecturas neuronales y gestión adaptativa de recursos mediante preprocesamiento de los datos.

En resumen, el documento establece una clasificación clara de los RCD según su capacidad de procesamiento, describe las arquitecturas más adecuadas para su despliegue en Smart Grid y define las estrategias de muestreo, entrenamiento e inferencia que permitirán integrar de forma eficiente estos dispositivos, garantizando al mismo tiempo un uso responsable de los recursos energéticos y computacionales, así como la robustez y la interoperabilidad requeridas por las futuras infraestructuras de SG.