PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS QUE HABRÁ DE REGIR LA LICITACIÓN, MEDIANTE PROCEDIMIENTO ABIERTO, PARA LA CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE Sistema de Inteligencia Artificial para la Predicción de Consumos y Presiones en las Redes de Abastecimiento y Saneamiento de Gipuzkoako Urak vinculado a la actuación A19 del proyecto TRADIGUSA financiado CON FONDOS PROCEDENTES DEL MECANISMO PARA LA RECUPERACIÓN Y RESILENCIA – NEXT GENERATION EU EN EL MARCO DEL COMPONENTE 5 "PRESERVACIÓN DEL LITORAL Y RECURSOS HÍDRICOS" INVERSIÓN 3 (C5.I3) DENOMINADA «TRANSICIÓN DIGITAL EN EL SECTOR DEL AGUA»

Diciembre 2025

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL CONTRATO

1.1. Objeto

El objeto del presente lo constituye la prestación de los servicios para el desarrollo, implantación e integración de un **sistema avanzado de Inteligencia Artificial (IA).** En concreto, se refiere al desarrollo de una aplicación para la gestión de fugas y la monitorización de las redes de abastecimiento y saneamiento de Gipuzkoako Urak vinculada a la actuación A19 del proyecto TRADIGUSA financiado con fondos procedentes del mecanismo para la recuperación y resiliencia - Next Generation EU- en el marco del componente 5 "Preservación Del Litoral Y Recursos Hídricos" inversión 3 "Transición Digital En El Sector Del Agua" de la tercera convocatoria para la mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE Digitalización Del Ciclo Del Agua). Consistirá en la modelización y predicción de series temporales (caudales, presiones y otras señales operativas) procedentes de las redes municipales de abastecimiento gestionadas por Gipuzkoako Urak.

El sistema tiene como fin último la detección temprana de anomalías (fugas, fraudes, fallos de sensorización) mediante la comparación entre el comportamiento predicho por el modelo y el comportamiento real observado, sirviendo como motor de inteligencia para la plataforma ADI (Alarmen eta Datuen Integrazioa). .

1.2. Contexto Operativo

La infraestructura actual incluye:

- **Más de 1.200 señales activas** (aproximadamente 850 de caudal y 350 de presión).

- **Frecuencia de muestreo de 5 minutos** (288 registros diarios por señal).
- Heterogeneidad de patrones: DMAs domésticos, industriales, zonas turísticas y redes con alta variabilidad estacional.
- Integración con la plataforma ADI para la gestión centralizada de alarmas y datos.

1.3. Justificación

La predicción precisa del comportamiento hidráulico permite optimizar la operación de la red, reducir las pérdidas de agua no registrada (ANR), anticipar necesidades de mantenimiento y cumplir con los objetivos de eficiencia establecidos por la normativa vigente y los planes directores de la entidad.

2. ALCANCE TÉCNICO GENERAL

El adjudicatario deberá suministrar una **solución integral, modular y basada en microservicios** que abarque los siguientes componentes funcionales:

1. **Ingesta y Preprocesamiento:** Tratamiento automatizado de series históricas de más de 1.200 sensores, incluyendo limpieza de datos, interpolación de huecos y normalización.
2. **Modelado Predictivo:** Selección dinámica y entrenamiento de modelos óptimos por señal, adaptados a las características específicas de cada punto de medida.
3. **Detección de Anomalías:** Algoritmos de comparación predicción vs. realidad con umbrales adaptativos y clasificación de tipos de evento.
4. **Visualización y Observabilidad:** Interfaz gráfica web para la inspección de señales, predicciones, intervalos de confianza y métricas de error en tiempo real.
5. **Ciclo de Vida del Modelo (MLOps):** Arquitectura segregada para inferencia (CPU) y reentrenamiento (GPU), con versionado y trazabilidad de experimentos.
6. **Integración Bidireccional:** Exposición de resultados vía API REST y consumo de datos reales de ADI para evaluación continua del rendimiento.
7. **Sistema de Alertas Inteligente:** Generación de notificaciones categorizadas por severidad y tipo, con integración en los flujos de trabajo existentes.

3. REQUISITOS DE INGESTA Y PREPROCESAMIENTO DE DATOS

3.1. Fuentes de Datos

El sistema deberá conectarse a las siguientes fuentes:

- **Base de Datos:** Base de datos principal para históricos de señales (lecturas de caudal y presión), Open Source (PotgreSQL o similar).
- **API de ADI:** Para la recepción de datos en tiempo real y el envío de predicciones/alertas.
- **Catálogo de sensores:** Metadatos de cada punto de medida (ubicación, tipo de DMA, características de la zona, fecha de instalación).

3.2. Tratamiento de Calidad de Datos

El módulo de preprocesamiento deberá implementar:

- **Detección y tratamiento de valores atípicos:** Identificación de outliers mediante métodos estadísticos (IQR, Z-score) o modelos de detección de anomalías.
- **Interpolación de huecos:** Relleno de valores faltantes utilizando técnicas apropiadas (interpolación lineal, splines, o imputación basada en patrones históricos).
- **Normalización y escalado:** Preparación de los datos para su uso en modelos de Machine Learning.
- **Detección de fallos de sensor:** Identificación de patrones indicativos de mal funcionamiento (valores constantes prolongados, derivas súbitas, ruido excesivo).
- **Agregación temporal:** Capacidad de generar series horarias y diarias a partir de los datos de 5 minutos.

3.3. Gestión de Cold Start (Nuevas Señales)

Cuando ADI incorpore un nuevo sensor:

- El sistema comenzará a ingestar datos inmediatamente.
- Existirá un **periodo de aprendizaje configurable** (recomendado: 2-4 semanas) durante el cual no se emitirán alertas predictivas.
- Opcionalmente, se podrán utilizar **modelos proxy** basados en DMAs similares hasta disponer de historia suficiente.

4. REQUISITOS DE LOS MODELOS PREDICTIVOS Y ESTADÍSTICOS

El sistema deberá implementar técnicas de **Machine Learning y Deep Learning** para generar una 'curva de comportamiento esperado' para cada señal.

4.1. Selección Dinámica del Modelo (AutoML)

Dada la heterogeneidad de las señales (caudales en DMAs domésticos vs. industriales, presiones estables vs. variables), la solución **no debe limitarse a un único algoritmo**.

- El sistema evaluará y seleccionará automáticamente el modelo que mejor se ajuste a cada señal específica.
- **Modelos candidatos mínimos:** ARIMA/SARIMA (señales lineales simples), Prophet (estacionalidades fuertes), LSTM/GRU (dependencias temporales complejas), Transformers (Lag-Llama, Temporal Fusion Transformer para dependencias a largo plazo).
- El dataset de entrenamiento será suministrado por Gipuzkoako Urak, debiendo el sistema realizar la **separación automática** en conjuntos de Train, Validation y Test.

4.2. Métricas de Evaluación de Error

Para validar la calidad de las predicciones, el sistema calculará y monitoreará las siguientes métricas:

Métrica	Fórmula	Propósito
RMSE	$\sqrt{(\Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2 / n)}$	Penalizar grandes desviaciones (picos de fuga)
MAE	$\Sigma\|y_i - \hat{y}_i\| / n$	Interpretar error medio en unidades (l/s, mbar)
MAPE	$\Sigma\|y_i - \hat{y}_i\| / y_i \times 100 / n$	Comparar rendimiento entre sectores

Criterio de aceptación: Se exigirá un RMSE promedio inferior al 10% del caudal medio del sector para dar el modelo por válido. MAPE promedio <10% y MAE según la tabla adjunta:

Tipo de Señal	Rango Típico	MAE Aceptable	Observaciones
Caudal DMA pequeño	5 - 20 l/s	**< 1-2 l/s**	Zonas residenciales
Caudal DMA medio	20 - 100 l/s	**< 5-10 l/s**	Zonas mixtas
Caudal DMA grande	100 - 300 l/s	**< 15-20 l/s**	Cabeceras de sector
Caudal industrial	300 - 500+ l/s	**< 25-35 l/s**	Alta variabilidad
Presión en red	2 - 6 bar	**< 0.1-0.2 bar**	Señales estables

Nota: Estos valores son orientativos y deberán ajustarse en función de las características específicas de cada punto de medida. Se recomienda que el MAE no supere el 10% del caudal medio de cada sensor como regla general.

4.3. Estacionalidad y Patrones Temporales

Los modelos deben capturar explícitamente la estacionalidad inherente a la demanda de agua:

- **Patrón Diario:** Curvas de modulación horaria (mínimos nocturnos vs. puntas diurnas).
- **Patrón Semanal:** Diferenciación automática entre días laborables, fines de semana y festivos (calendario configurable por municipio).
- **Patrón Anual:** Influencia estacional (temperatura, estacionalidad turística, periodos vacacionales).
- **Eventos especiales:** Capacidad de incorporar regresores externos (festivos locales, eventos deportivos, meteorología).

4.4. Robustez ante "Deriva de Fugas" (Avoiding Blind Following)

El algoritmo predictivo debe evitar el **sobreajuste (overfitting)** a cambios lentos y graduales que indiquen una fuga incipiente.

- **Requisito:** El modelo no debe adaptarse inmediatamente a un incremento paulatino del caudal mínimo nocturno asumiéndolo como "nuevo consumo normal".
- **Solución Técnica:** Implementación de mecanismos de trend dampening o ventanas de entrenamiento de largo plazo que ponderen más el comportamiento histórico sano que el reciente anómalo.

4.5. Evaluación Continua del Error en Tiempo Real

El sistema implementará un módulo de Evaluación Online:

- Conexión con ADI para recibir el dato real tan pronto esté disponible.
- Comparación del dato real vs. la predicción realizada anteriormente.
- Cálculo de **métricas rodantes (Rolling RMSE, MAE)** en ventanas configurables (últimas 24h, última semana).
- **Alarma de Degradación:** Si el error medio supera un umbral predefinido (ej. RMSE > 15% del caudal medio), se generará una alerta técnica de "Modelo Descalibrado".

5. FUNCIONALIDAD DE DETECCIÓN Y GESTIÓN DE EVENTOS

5.1. Detección de Anomalías

La anomalía se define como la **divergencia significativa** entre el valor predicho y el real que supera un umbral de confianza (intervalo de predicción). El sistema clasificará los eventos en:

Tipo de Evento	Posibles Causas
Aumento de Consumo	Posible fuga, nuevo suministro no registrado, conexión ilegal
Disminución de Consumo	Fallo de contador, obstrucción, baja de suministro, fuga reparada
Anomalía de Presión	Rotura de tubería, operación de válvulas, problemas en bombeo, problemas en reductora de presión

Para dotar de mayor certeza a los eventos de aumento y disminución de consumo, el sistema se deberá conectar con ADI para obtener los valores de m3 inyectados y consumidos diariamente en cada DMA.

5.2. Lógica de Offset por Objetivos de ANR

El sistema debe permitir la comunicación con ADI para la obtención de los objetivos anuales de reducción de Agua No Registrada (ANR) por DMA.

- **Funcionalidad:** El modelo predictivo aplicará un offset negativo configurable a la predicción base, generando una "curva objetivo" inferior a la histórica.
- **Objetivo:** Si el caudal real no desciende para encontrarse con esta curva predicha (con offset), el sistema alertará de que no se están cumpliendo los objetivos de reducción.

5.3. Reajuste Post-Reparación (Structural Breaks)

Cuando se confirma y repara una fuga, el modelo matemático queda invalidado por el cambio estructural en la serie.

- **Requisito:** El sistema debe detectar o recibir la notificación de "Fuga Reparada".
- **Acción 1 - Recalcular Offset:** Si la disminución se mantiene, se valida el nuevo nivel base.
- **Acción 2 - Limpieza de Dataset:** El periodo de la fuga debe ser marcado como "anómalo" y excluido de futuros entrenamientos.

5.4. Gestión de Cambios Estructurales

Ante cambios físicos en la red (resectorización, nuevas urbanizaciones, cambios de régimen):

- El sistema debe permitir la creación de alertas por mínimos.
- Se activará un **reentrenamiento forzoso** del modelo ignorando los datos históricos previos al cambio.
- Opcionalmente, se aplicarán técnicas de **transferencia de aprendizaje (transfer learning)** si fuera viable.

6. ARQUITECTURA, INTEGRACIÓN Y OPERACIÓN

El sistema deberá seguir una **arquitectura de microservicios contenerizados**, garantizando la escalabilidad, mantenibilidad y separación de responsabilidades.

6.1. Arquitectura de Contenedores (Docker)

La solución deberá entregarse orquestada (Docker Compose o Helm Charts para Kubernetes) y dividida en, al menos, los siguientes contenedores independientes:

A. Contenedor de Inferencia y API (CPU-Optimized)

- **Función:** Servir las predicciones a ADI, calcular métricas de error en tiempo real y exponer la API REST.
- **Características:** Ligero, optimizado para ejecución en entornos estándar sin GPU.
- **Responsabilidad:** Ingesta de datos reales desde ADI, inferencia rápida (<3s) y detección de anomalías operativas.
- **Disponibilidad:** 24/7 con alta disponibilidad.

B. Contenedor de Entrenamiento y Mantenimiento (GPU-Enabled)

- **Función:** Ejecutar procesos pesados de entrenamiento inicial, reentrenamiento periódico y optimización de hiperparámetros (AutoML).
- **Infraestructura:** Preparado para servidores con aceleración por hardware (NVIDIA GPUs), utilizando CUDA y cuDNN para modelos de Deep Learning.
- **Activación:** Bajo demanda (trigger manual), por calendario (crontab) o disparado por la "Alarma de Degradación".

C. Contenedor de Visualización (Dashboard)

- **Función:** Interfaz gráfica web para el equipo técnico de Gipuzkoako Urak.
- **Tecnología Recomendada:** Streamlit, Dash (Plotly) o Grafana conectado a la base de datos de resultados.
- **Capacidades requeridas:**
    - **Visualizador de Señales:** Gráficas interactivas con zoom mostrando historia, predicción, intervalos de confianza y anomalías.
    - **Monitor de Métricas:** Panel de estado con RMSE/MAPE actual por sector.
    - **Gestión de Modelos:** Botones para forzar reentrenamiento de sectores específicos.
    - **Histórico de Alertas:** Registro y filtrado de eventos detectados.

D. Contenedor de Base de Datos Operativa

- **Función:** Almacenamiento de métricas en tiempo real, caché de predicciones y estado de modelos.

- **Tecnología Recomendada:** PostgreSQL/TimescaleDB (series temporales) o Redis (caché de alta velocidad).

6.2. Integración con Plataforma ADI (Bucle Cerrado)

El sistema funcionará en un ciclo cerrado de retroalimentación con ADI:

1. **Envío:** El sistema envía la predicción (t+1 a t+24h) a ADI.
2. **Recepción:** ADI envía (o el sistema consulta) los datos reales medidos una vez transcurrido el tiempo, así como los datos de m3 inyectados y consumidos diariamente en cada DMA.
3. **Evaluación:** El sistema calcula la discrepancia y actualiza métricas rodantes.
4. **Acción:**
    - Si el error es bajo: Se almacena para histórico.
    - Si el error es alto (Anomalía Hidráulica): Se notifica posible fuga a ADI.
    - Si el error es alto y persistente (Error de Modelo): Se notifica alarma técnica al administrador.

6.3. API REST

Se expondrán endpoints seguros para que ADI consulte:

- Predicciones horarias y diarias por sensor/DMA.
- Alertas de anomalías activas y su clasificación.
- Estado de salud de los modelos.
- **Formato de respuesta:** JSON conteniendo Timestamp, Valor Predicho, Intervalo de Confianza Superior/Inferior, Flag de Anomalía y Tipo de Evento.

6.4. Registro y Trazabilidad de Modelos (MLOps)

Se requiere la implementación de un sistema de registro de modelos:

- **Herramienta recomendada:** MLflow o similar.
- **Funcionalidades:** Versionado de binarios de modelos, métricas de entrenamiento, parámetros e hiperparámetros, y capacidad de rollback a versiones anteriores.

7. ENTORNO TECNOLÓGICO

Componente	Especificación
Lenguaje de Programación	Python 3.11+
Librerías ML/DL	Darts, Prophet, Scikit-learn, TensorFlow/PyTorch, Optuna
Contenedorización	Docker, Docker Compose / Kubernetes (Helm Charts)
Base de Datos Históricos	PostgreSQL o equivalente

Componente	Especificación
Base de Datos Operativa	PostgreSQL/TimescaleDB o Redis
Aceleración GPU	NVIDIA CUDA, cuDNN (nvidia-docker runtime)
MLOps/Registro	MLflow o equivalente
Visualización	Streamlit, Dash (Plotly) o Grafana

8. ENTREGABLES

El adjudicatario deberá entregar los siguientes elementos:

8.1. Código y Artefactos

1. **Código Fuente:** Debidamente documentado, comentado y versionado en repositorio Git.
2. **Artefactos de Despliegue:**
    - Dockerfiles optimizados (inferencia, entrenamiento GPU, visualizador, base de datos).
    - Archivo docker-compose.yaml o Helm Chart para despliegue conjunto.
3. **Modelos Entrenados:** Binarios iniciales de los modelos para las +1.200 señales.

8.2. Documentación

4. **Manual de Despliegue:** Instrucciones detalladas para configurar el entorno, incluyendo requisitos de GPU (drivers, nvidia-docker runtime).
5. **Documentación de Algoritmos:** Justificación matemática de la selección de modelos y configuración de hiperparámetros.
6. **Manual de Usuario del Visualizador:** Guía de uso de la interfaz web para el equipo técnico.
7. **Documentación de API:** Especificación OpenAPI/Swagger de todos los endpoints.

8.3. Plan de Mantenimiento

8. **Plan de Mantenimiento Evolutivo:** Procedimiento para la recalibración periódica (semestral) de los modelos ante la degradación natural de la precisión.
9. **Protocolo de Actuación:** Procedimientos ante alarmas de degradación, cambios estructurales y eventos especiales.

9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y NIVEL DE SERVICIO

9.1. Criterios de Rendimiento del Modelo

Criterio	Umbral de Aceptación
RMSE promedio por modelo	< 10% del caudal medio del sector
Tasa de detección de fugas simuladas	≥ 85%
Tasa de falsos positivos	< 5% de las alertas generadas

9.2. Criterios de Rendimiento del Sistema

Criterio	Umbral de Aceptación
Latencia de inferencia (API)	≤ 3 segundos
Tiempo de carga del Visualizador	< 2 segundos por señal
Reducción tiempo entrenamiento con GPU	≥ 50% respecto a CPU
Disponibilidad del servicio de inferencia	≥ 99.5%

9.3. Validación Funcional

1. Sistema de alertas de "Salud del Modelo" funcional y validado.
2. Integración bidireccional con ADI operativa y verificada.
3. Visualizador con todas las funcionalidades especificadas implementadas.
4. Proceso de reentrenamiento automatizado y documentado.
5. Gestión de Cold Start para nuevos sensores implementada.

10. PLAN DE EJECUCIÓN Y FASES DEL PROYECTO

10.1. Fases del Proyecto

El proyecto se ejecutará en un plazo máximo de **4 meses**, distribuidos en **3 meses de desarrollo e implantación** y **1 mes de pruebas y validación**.

Fase	Descripción	Duración	Semanas
1	**Análisis y Diseño** Análisis de datos, definición de arquitectura, especificación de interfaces y plan detallado.	2 semanas	S1 - S2
2	**Desarrollo del Core Predictivo** Motor de ingesta, preprocesamiento, módulo AutoML y algoritmos de detección de anomalías.	4 semanas	S3 - S6
3	**Entrenamiento de Modelos** Entrenamiento para las 1.000+ señales, validación de métricas y ajuste de hiperparámetros.	3 semanas	S7 - S9

Fase	Descripción	Duración	Semanas
4	**Integración y Visualización** API REST, integración con ADI, dashboard de visualización y despliegue en contenedores.	3 semanas	S10 - S12
5	**Pruebas y Validación** Pruebas de integración, pruebas de carga, validación de criterios de aceptación, formación al equipo y ajustes finales.	**4 semanas**	**S13 - S16**
Desarrollo e Implantación (Fases 1-4)		**12 semanas (3 meses)**	
Pruebas y Validación (Fase 5)		**4 semanas (1 mes)**	
DURACIÓN TOTAL DEL PROYECTO		**16 semanas (4 meses)**	

10.2. Hitos de Control

Hito	Entregable	Fecha
H1	Documento de diseño y arquitectura validado	Semana 2
H2	Demo del motor predictivo con muestra de señales	Semana 6
H3	Modelos entrenados y métricas validadas (100% señales)	Semana 9
H4	Sistema integrado con ADI y visualizador operativo	**Semana 12**
H5	Pruebas de aceptación superadas y formación completada	**Semana 15**
H6	**Entrega final, documentación y cierre del proyecto**	**Semana 16**

10.3. Detalle de la Fase de Pruebas y Validación

Durante el mes dedicado a pruebas y validación (Fase 5) se realizarán las siguientes actividades:

- **Pruebas de integración:** Verificación de la comunicación bidireccional con ADI y correcta ingesta de datos.
- **Pruebas de carga:** Validación del rendimiento con las 1.000+ señales en tiempo real.
- **Validación de criterios de aceptación:** Comprobación de métricas (RMSE, MAPE, latencia, disponibilidad).
- **Pruebas de detección de anomalías:** Simulación de fugas y verificación de la tasa de detección.
- **Formación al equipo técnico:** Capacitación en el uso del visualizador y gestión de alertas.
- **Ajustes y correcciones:** Resolución de incidencias detectadas durante las pruebas.
- **Documentación final:** Entrega de manuales, documentación técnica y de usuario.

11. GARANTÍA Y SOPORTE POST-IMPLANTACIÓN

11.1. Periodo de Garantía

El adjudicatario garantizará el correcto funcionamiento del sistema durante un periodo mínimo de **24 meses** desde la recepción definitiva, incluyendo:

- Corrección de errores y bugs detectados.
- Soporte técnico ante incidencias.
- Actualizaciones de seguridad.

11.2. Niveles de Servicio durante Garantía

Severidad	Tiempo de Respuesta	Tiempo de Resolución
Crítica	< 4 horas	< 24 horas
Alta	< 8 horas	< 48 horas
Media	< 24 horas	< 5 días laborables
Baja	< 48 horas	< 10 días laborables

12. PROPIEDAD INTELECTUAL Y CONFIDENCIALIDAD

12.1. Propiedad del Desarrollo

Todos los desarrollos, código fuente, modelos entrenados, documentación y cualquier otro entregable producido en el marco de este contrato serán **propiedad exclusiva de Gipuzkoako Urak**, quien podrá disponer de ellos sin restricción alguna.

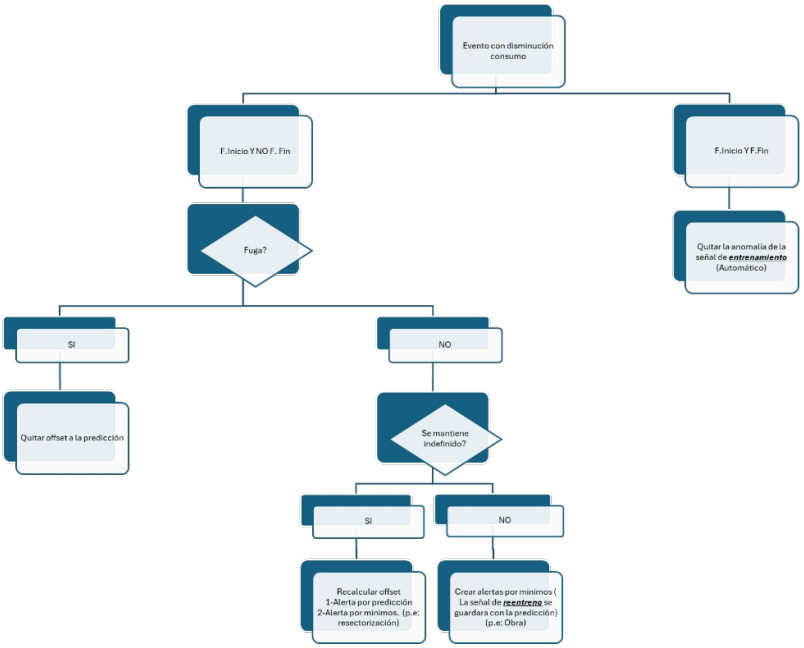
12.2. Confidencialidad

El adjudicatario se compromete a:

- Mantener la estricta confidencialidad de todos los datos operativos de las redes de abastecimiento.
- No utilizar los datos proporcionados para fines distintos a los del presente contrato.
- Implementar las medidas de seguridad necesarias para la protección de la información.
- Cumplir con la normativa vigente en materia de protección de datos (RGPD, LOPDGDD).

ANEXO I: DIAGRAMAS DE GESTIÓN DE LOS EVENTOS

Evento con disminución de consumo



Evento con aumento de consumo

