



**Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU**

**CONTRATACIÓN DEL DESARROLLO DE FUNCIONALIDADES
PARA UN GEMELO DIGITAL EXISTENTE PARA DOTAR DE
SERVICIOS AL ECOSISTEMA EMPRENDEDOR RURAL Y MARINO
DE LA REGIÓN DE MURCIA - FINANCIADO POR LA UNIÓN
EUROPEA-NEXTGENERATIONEU, DENTRO DEL MECANISMO DE
RECUPERACIÓN Y RESILIENCIA**

Número de expediente: TRI-25

Pliego de Prescripciones Técnicas



**Plan de Recuperación,
Transformación y Resiliencia**

ÍNDICE

1. Objeto del contrato.....	7
2. Lote 1: «Ampliación del gemelo digital de la cuenca vertiente del mar menor para la gestión del riesgo hidrometeorológico en zonas rurales y costeras a todo el territorio regional».....	7
2.1. Objeto del lote	7
2.2. Alcance de los Trabajos.....	8
2.2.1. <i>Análisis del Estado del Arte y Mejores Prácticas:</i>	8
2.2.2. <i>Identificación, Adquisición y Preparación de Datos:</i>	8
2.2.3. <i>Definición y Priorización de Casos de Uso</i>	9
2.2.4. <i>Diseño Técnico Detallado:</i>	10
2.2.5. <i>Plan de Implementación:</i>	10
2.2.6. <i>Plan de Gestión de Datos:</i>	10
2.2.7. <i>Pruebas de Aceptación:</i>	10
2.2.8. <i>Documentación y Entrega Final:</i>	10
2.3. Especificaciones Técnicas de los Datos de Origen:	11
2.3.1. <i>Datos PNOA (Máxima Actualidad):</i>	11
2.3.2. <i>Datos Regionales y Otras Fuentes:</i>	13
2.3.3. <i>Calidad, Preprocesamiento e Integración:</i>	14
2.4. Requisitos Técnicos de la Plataforma del Gemelo Digital:.....	15
2.4.1. <i>Arquitectura:</i>	15
2.4.2. <i>Módulo de Integración de Datos:</i>	16
2.4.3. <i>Módulo de Visualización 3D:</i>	17
2.4.4. <i>Módulo de Análisis y Simulación:</i>	18
2.4.5. <i>Interoperabilidad y Estándares:</i>	18
2.4.6. <i>Rendimiento y Escalabilidad:</i>	19
2.5. Alcance del Proyecto y Entregables:.....	19
2.5.1. <i>Fases Detalladas del Proyecto:</i>	19
2.5.2. <i>Definición del Producto Mínimo Viable (MVP):</i>	21
2.5.3. <i>Listado de Entregables Clave:</i>	22
2.6. Gestión, Seguridad y Mantenimiento de Datos:	22
2.6.1. <i>Almacenamiento, Backup y Recuperación:</i>	22

2.6.2. Seguridad:	22
2.6.3. Estrategia y Procedimientos de Actualización de Datos:	23
2.6.4. Gestión de Metadatos:	23
2.7. Aseguramiento de la Calidad y Criterios de Aceptación:	23
2.7.1. Plan de Calidad del Contratista:	24
2.7.2. Metodología y Pruebas:	24
2.7.3. Métricas de Calidad y Umbrales Aceptables:	24
2.7.4. Proceso y Criterios Formales de Aceptación:	25
2.8. Plazo de Ejecución y Cronograma:	25
2.9. Garantía Técnica:	26
2.10. Propiedad Intelectual:	26
2.11. Formación online y Transferencia de Conocimiento:	26
3. Lote 2: Ampliación de la plataforma CLIMALERT para la vigilancia y gestión de los riesgos hidrometeorológicos dedicando especial atención a las zonas rurales y costeras	27
3.1. Objeto del Contrato	27
3.2. Ámbito de Aplicación	28
3.3. Riesgos Hidrometeorológicos	28
3.4. Funcionalidades Generales	29
3.5. Requisitos Técnicos de Integración de Datos	29
3.5.1. API de AEMET (Agencia Estatal de Meteorología)	31
3.5.2. Red SAIH Segura (Sistema Automático de Información Hidrológica)	32
3.5.3. SIAM (Sistema de Información Agrario de Murcia del IMIDA)	33
3.5.4. Imágenes Sentinel II (Copernicus)	34
3.5.5. Sistema EFAS (European Flood Awareness System)	35
3.5.6. Requisitos Generales de Integración de Datos	37
3.6. Arquitectura Técnica del Sistema	38
3.6.1. Arquitectura General	38
3.7. Requisitos Funcionales Detallados	38
3.7.1. Módulo de Monitorización y Visualización	38
3.7.2. Módulo de Procesamiento y Modelización	40
3.7.3. Módulo de Alertas Tempranas	41

3.7.4. Módulo de Gestión de Emergencias y de elaboración de informes	42
3.8. Suministro, Instalación y Configuración de Equipamiento Hardware	43
3.9. Requisitos de Seguridad	43
3.9.1. Cumplimiento del Esquema Nacional de Seguridad (ENS).....	44
3.10. Plan de Trabajo y Pruebas de Aceptación	44
3.10.1. Plazo Máximo de Ejecución.....	44
3.10.2. Fases del contrato	44
3.10.3. Hitos Clave y Entregables Obligatorios	46
3.11. Formación, Documentación, Garantía y Soporte	46
3.11.1. Plan de Formación.....	46
3.11.2. Documentación técnica requerida	47
3.11.3. Garantía Mínima.....	47
3.11.4. Soporte Técnico Post-Implantación	48
4. Lote 3: Ampliación de la plataforma IoT del IMIDA para la creación de “living labs” demostrativos para el sector agrícola en las parcelas experimentales del IMIDA.....	48
4.1. Objeto del contrato.....	49
4.1.1. Definición General:.....	49
4.1.2. Componentes Tecnológicos Clave:	49
4.1.3. Finalidad Específica:.....	50
4.2. Alcance del objeto del contrato.....	50
4.2.1. Suministro: Equipamiento de comunicaciones, IoT, seguridad y protección. 50	
4.2.2. Instalación:.....	51
4.2.3. Configuración:.....	51
4.2.4. Integración:	51
4.2.5. Pruebas y Puesta en Marcha:.....	51
4.2.6. Formación:	52
4.2.7. Documentación:.....	52
4.2.8. Mantenimiento y Soporte Técnico:.....	52
4.3. Descripción de las parcelas experimentales (IMIDA)	53
4.3.1. Ubicación General:.....	53
4.3.2. Parcela 1: Cítricos.....	53

4.3.3. Parcela 2: Viñedo	53
4.3.4. Parcela 3 y 4: Melocotonero	53
4.4. Requerimientos técnicos: componentes hardware.....	54
4.4.1. Estaciones Meteorológicas Campbell Scientific utilizadas en la red del IMIDA con capacidad Ratio Bowen.	54
4.4.2. Sensores de Suelo Sentek TriSCAN	57
4.4.3. Sensores agronómicos y cámara térmicas:.....	59
4.4.4. Monitorización y control del cabezal de riego:	59
4.4.5. Monitorización de centro de datos CTNET y control de accesos:.....	59
4.4.6. Metodología del Estudio de Cobertura	60
4.4.7. Requerimientos de la Red LoRaWAN en Entorno Rural	61
4.5. Requerimientos técnicos: red de comunicación (LoRaWAN).....	63
4.5.1. Arquitectura General:	64
4.5.2. Datalogger para Monitorización Agronómica en Campo:.....	64
4.5.3. Actualización de los datalogger para monitorización agronómica del IMIDA	65
4.6. Requerimientos técnicos: plataforma de datos (FIWARE).....	65
4.6.1. Arquitectura FIWARE:.....	65
4.6.2. Configuración del IoT Agent:.....	66
4.6.3. Modelado de Datos (FIWARE Smart Data Models):.....	67
4.6.4. Persistencia y Acceso a Datos:	67
4.6.5. Sensorica agronómica para riego de precisión	67
4.6.6. Sistema de almacenamiento para la gestión centralizada de datos y las copias de seguridad.....	72
4.6.7. Sistema de seguridad en la alimentación de la red CTNET (Fundación Integra) en el IMIDA.....	73
4.7. Integración del sistema, seguridad energética y flujo de datos	76
4.8. Instalación, puesta en marcha y pruebas	77
4.9. Mantenimiento y soporte técnico	78
4.10. Documentación y formación	79
4.10.1. Documentación a Entregar:	79
4.10.2. Formación:	80

4.11. Garantía de calidad y cumplimiento normativo	81
4.11.1. <i>Calidad de los Materiales y Equipos:</i>	81
4.11.2. <i>Normativa Aplicable:</i>	81
4.11.3. <i>Estándares Técnicos:</i>	82
4.11.4. <i>Pruebas de Calidad:</i>	82
5. Lote 4: Extensión del gemelo digital para la creación de un Sistema Integral de Modelado del Mar Menor y su cuenca vertiente	83
5.1. Objeto del contrato.....	83
5.2. Alcance del contrato	84
5.2.1. <i>Modelo de Hidrología Superficial-TETIS</i>	84
5.2.2. <i>Modelo hidrogeológico del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena.</i> 86	
5.2.3. <i>Modelo de circulación costera SHYFEM</i>	88
5.2.4. <i>Plataforma del sistema de monitorización</i>	89
5.2.5. <i>Sistema integral de modelado del Mar Menor</i>	94
5.2.6. <i>Soporte técnico, mantenimiento y seguridad</i>	96
5.3. Implementación de la plataforma del sistema integral de modelado del Mar Menor	96
5.4. Informes y documentación requerida durante la ejecución del contrato.....	97

1. Objeto del contrato

El objeto de la presente licitación es la contratación del suministro de equipos, licencias y el desarrollo que se precisen en los diferentes lotes para dotar de nuevas funcionalidades o ampliar las existentes, en el IMIDA, a un gemelo digital de la Región de Murcia, y que será de utilidad para el ecosistema empresarial de los sectores rural y marino de la Región.

La ejecución de este contrato se llevará a cabo bajo la supervisión y directrices de Fundación Integra, con el apoyo técnico del IMIDA.

El objeto del presente contrato se divide en cuatro (4) lotes, las cuales son:

- **Lote 1:** «Ampliación del gemelo digital de la cuenca vertiente del Mar Menor para la gestión del riesgo hidrometeorológico en zonas rurales y costeras a todo el territorio regional»
- **Lote 2:** «Ampliación de la plataforma ClimAlert para la vigilancia y gestión de los riesgos hidrometeorológicos dedicando especial atención a las zonas rurales y costeras»
- **Lote 3:** «Ampliación de la plataforma IOT del IMIDA para la creación de “Living Labs” demostrativos para el sector agrícola en las parcelas experimentales del IMIDA»
- **Lote 4:** «Extensión del gemelo digital para la creación de un Sistema Integral de Modelado del Mar Menor y su cuenca vertiente»

2. Lote 1: «Ampliación del gemelo digital de la cuenca vertiente del mar menor para la gestión del riesgo hidrometeorológico en zonas rurales y costeras a todo el territorio regional»

El objetivo principal de este lote es la creación de una réplica virtual del territorio regional, que permita la integración y análisis de datos geoespaciales, mejorando así la gestión del territorio y los servicios públicos.

2.1. Objeto del lote

El objeto del contrato de este lote tiene como objetivo el desarrollo de un gemelo digital (en adelante, GD) que se basará en una representación virtual dinámica e integradora del territorio, que permita modelar, simular y analizar distintos procesos físicos, ambientales, sociales y económicos. Este sistema proporcionará una base tecnológica avanzada para la toma de decisiones informada, la planificación estratégica, el seguimiento de indicadores clave y la evaluación de escenarios futuros, contribuyendo así a una gestión más eficiente, resiliente y sostenible del territorio regional.

Con el presente proyecto se pretende el desarrollo de un gemelo digital base, como representación virtual de la realidad, basado en un modelado 3D sin texturas, generado

a través de la huella de edificios obtenida de catastro y una nube de puntos LIDAR o modelo de terreno y modelo de superficies.

El plazo máximo para la ejecución del contrato debe de finalizar antes del 31/12/2025. Durante este tiempo, se requiere una planificación y ejecución eficiente para cumplir con los objetivos establecidos. El desarrollo del GD debe alinearse con las estrategias de investigación e innovación de la Región de Murcia, contribuyendo a la transformación digital, sostenibilidad, competitividad y gestión de servicios públicos.

2.2. Alcance de los Trabajos

El alcance del proyecto incluye varias fases, comenzando con un análisis del estado del arte en gemelos digitales, seguido por la identificación y preparación de datos, definición de casos de uso, diseño técnico, y un plan de implementación.

2.2.1. Análisis del Estado del Arte y Mejores Prácticas:

El adjudicatario deberá realizar un análisis de casos de éxito en otras regiones y evaluar las tecnologías y plataformas adecuadas para el GD de la Región de Murcia. Este análisis deberá identificar y evaluar:

- **Casos de Éxito:** Estudiar implementaciones similares como otras regiones, extrayendo lecciones aprendidas aplicables a Murcia.
- **Tecnologías y Plataformas:** Analizar las principales plataformas tecnológicas utilizadas, evaluando sus capacidades de integración de datos, visualización 3D, análisis y arquitectura.
- **Funcionalidades Comunes:** Identificar las funcionalidades básicas y avanzadas típicamente implementadas (visualización, simulación, análisis predictivo, integración IoT).
- **Estándares Aplicables:** Revisar la aplicación de estándares OGC (3D Tiles, OGC API Features, WMS, WFS), otros relevantes para la interoperabilidad.
- **Arquitecturas:** Evaluar diferentes enfoques arquitectónicos (Local, cloud-native, híbrido) y sus implicaciones en escalabilidad, seguridad y costes.

2.2.2. Identificación, Adquisición y Preparación de Datos:

Se requiere la documentación exhaustiva de los conjuntos de datos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y otros datos regionales necesarios, asegurando su correcta integración y uso en la plataforma del GD. Se enfatiza la importancia de realizar un preprocesamiento de datos para garantizar calidad y precisión. Esta tarea es fundamental y comprende las siguientes actividades:

- **Identificación y Documentación de Datos PNOA:** Localizar y documentar de forma exhaustiva los conjuntos de datos del PNOA de máxima actualidad que cubren el territorio de la Región de Murcia. Esto incluye Ortofotos PNOA MA,

Nubes de Puntos LiDAR de la 3ª Cobertura y Modelos Digitales de Elevaciones (MDT/MDS), especificando para cada uno sus características técnicas completas (resolución, precisión, fecha, formato, sistema de referencia, etc.), tal como se detalla en este pliego.

- **Identificación y Documentación de Datos Regionales:** Identificar, en colaboración con los servicios técnicos de la CARM, los conjuntos de datos regionales claves necesarios para los casos de uso priorizados. Esto incluye, como mínimo, el acceso a servicios WMS/WFS de Murcia (cartografía base, infraestructuras, medio ambiente, etc.) y los servicios WMS/WFS del Catastro. Se identificarán también otras fuentes sectoriales relevantes (Cartografía de zonas inundables del SNZI) y se documentará su formato, disponibilidad y método de acceso.
- **Adquisición/Acceso a Datos:** Gestionar activamente la obtención de los datos identificados desde sus fuentes oficiales: Centro de Descargas del CNIG para datos PNOA, servicios web de Murcia, servicios web del Catastro, y otros repositorios o sistemas de la CARM según corresponda. Se deberá cumplir con los términos de licencia aplicables.
- **Preparación:** Realizar todas las tareas de preparación necesarias sobre los datos brutos para asegurar su correcta integración y uso en la plataforma del GD. Se utilizará el sistema de referencia ETRS89 UTM Huso 30N (EPSG:25830), validación de calidad geométrica y temática, limpieza de datos, ajustes radiométricos (para ortofotos), clasificación o filtrado adicional de nubes de puntos LiDAR (si se parte de NPC01), estructuración de datos para carga en base de datos, etc. Todos los procesos aplicados deberán ser documentados.

2.2.3. Definición y Priorización de Casos de Uso

El adjudicatario deberá priorizar casos de uso que se alineen con las prioridades estratégicas y que sean viables dentro del plazo establecido. Algunos ejemplos incluyen modelado 3D del territorio, gestión de emergencias por riesgos hidrológicos y la gestión de recursos hídricos en el ámbito agrario. Algunos casos de uso a considerar y evaluar son:

- **Modelado 3D del territorio:** Visualización 3D interactiva de instrumentos de planeamiento, análisis de impacto visual de nuevas edificaciones, análisis de sombras arrojadas, estudios de visibilidad.
- **Monitorización Ambiental:** Base para análisis de calidad del aire/agua, delimitación de zonas de riesgo (Calados del SNZI T10, T50, T100 y T500), gestión de espacios naturales.

Considerando el plazo de ejecución y la reciente finalización de los vuelos LiDAR de la 3ª Cobertura para Murcia, cuya disponibilidad para procesamiento avanzado (NPC02/03) puede no ser inmediata al inicio del proyecto, es pragmático priorizar para el MVP

aquellos casos de uso que puedan implementarse utilizando las Ortofotos PNOA MA (2022, disponibles) y el MDT02 (disponible).

2.2.4. Diseño Técnico Detallado:

El diseño técnico del GD debe incluir una arquitectura híbrida local/cloud si fuese necesario, módulos de integración de datos y capacidades de visualización y análisis. Se establecerá un plan de trabajo detallado que incluya un cronograma con tareas y asignación de recursos.

2.2.5. Plan de Implementación:

El adjudicatario desarrollará un plan de trabajo que desglose la ejecución del proyecto en fases gestionables hasta el **31/12/2025**. Este plan deberá incluir un cronograma detallado con tareas, duraciones, dependencias, hitos clave y asignación de recursos.

2.2.6. Plan de Gestión de Datos:

Se definirá y documentará un Plan de Gestión de Datos que aborde de manera integral el ciclo de vida de los datos dentro del GD. Este plan incluirá, como mínimo:

- Estrategia de almacenamiento (tecnologías).
- Políticas de seguridad y cumplimiento normativo (ENS).
- Procedimientos de control de acceso y gestión de permisos.

2.2.7. Pruebas de Aceptación:

Se elaborará un informe en el que el adjudicatario informará de las pruebas realizadas para garantizar que la solución cumple con los requisitos de este pliego.

2.2.8. Documentación y Entrega Final:

El adjudicatario será responsable de generar y entregar toda la documentación técnica y de usuario necesaria para la comprensión, operación, mantenimiento y futura evolución del GD. Esta documentación deberá ser clara, completa, actualizada y redactada en español, siguiendo la estructura, terminología y formatos habituales en los proyectos tecnológicos de la administración pública española. La entrega final incluirá la plataforma GD desplegada, el código fuente (según condiciones de propiedad intelectual), los scripts, los manuales y todos los informes generados durante el proyecto.

2.3. Especificaciones Técnicas de los Datos de Origen:

La calidad del Gemelo Digital depende de la calidad y actualidad de los datos de entrada. El adjudicatario deberá utilizar, como mínimo, los siguientes conjuntos de datos, asegurando que se emplean las versiones más recientes disponibles para la Región de Murcia en el momento de inicio efectivo del proyecto. La descarga de datos PNOA se realizará desde el Centro de Descargas del CNIG, respetando la licencia CC-BY 4.0 que exige la atribución.

2.3.1. *Datos PNOA (Máxima Actualidad):*

- **Ortofotos PNOA Máxima Actualidad (PNOA MA):** Constituyen la base visual del GD.
 - *Cobertura:* Completa para la Región de Murcia.
 - *Fecha de Vuelo (Referencia):* Se utilizará la cobertura más reciente disponible en el Centro de Descargas del CNIG como PNOA MA. Según la información actual, la cobertura de Murcia corresponde al vuelo de 2022. Aunque los vuelos de 2024 han finalizado, las ortofotos definitivas derivadas de estos vuelos no se esperan hasta el segundo semestre de 2025. Existen ortofotos provisionales (expeditas/rápidas) de 2024, pero debido a su carácter no definitivo y menor precisión, no se consideran adecuadas como base principal para este proyecto, aunque podrían usarse puntualmente con precaución si fuera estrictamente necesario y acordado.
 - *Resolución Espacial (GSD):* **0.25 metros**. Esta resolución se deriva de un vuelo con GSD nominal de 0.35 metros para la Región de Murcia, según las especificaciones PNOA actuales.
 - *Precisión Planimétrica (RMSE X, Y):* **≤ 0.70 metros**, correspondiente a la ortofoto de 25 cm generada a partir de vuelo de 35 cm.
 - *Formato:* **COG (Cloud Optimized GeoTIFF)**, formato optimizado para acceso en entornos cloud y web.
 - *Bandas Espectrales:* **RGBI (4 bandas: Rojo, Verde, Azul, Infrarrojo Cercano)**. Las especificaciones recientes del PNOA recuperaron la producción en 4 bandas.
 - *Sistema de Referencia Geodésico:* **ETRS89** (compatible con WGS84).
 - *Proyección Cartográfica:* **UTM Huso 30N**.
 - *Unidad de Descarga:* Mosaicos por **hoja del MTN25** (Mapa Topográfico Nacional 1:25.000).
 - *Metadatos:* Fichero **XML** asociado a cada hoja, conforme a la norma **ISO 19115-1:2014** y al Núcleo Español de Metadatos (NEM).

- **Nubes de Puntos LiDAR PNOA (3ª Cobertura):** Proporcionan la información altimétrica y tridimensional detallada del territorio y sus elementos.
 - *Cobertura:* Completa para la Región de Murcia.
 - *Fecha de Vuelo:* Adquisición realizada entre **agosto de 2023 y mayo de 2024**.
 - *Densidad Mínima de Puntos:* **5 puntos/m²** (primer retorno).
 - *Precisión Altimétrica (RMSE Z):* **≤ 10 cm.**
 - *Precisión Planimétrica Estimada:* **≤ 25 cm.**
 - *Formato:* **LAZ (LAS 1.4 comprimido, formato 8).**
 - *Información por Punto:* Coordenadas X,Y,Z, Intensidad, Número de retorno, Clasificación, Tiempo GPS, Color RGBI (4 bandas).
 - *Clasificación:* Se deberá utilizar la clasificación más avanzada y validada disponible en el Centro de Descargas del CNIG al inicio del proyecto para la zona piloto. Como mínimo, se requiere la **NPC01 (Clasificación inicial automática: suelo, vegetación baja/media/alta, edificios, agua, ruido, solape)**. Se valorará positivamente la capacidad de utilizar y procesar la **NPC02 (Edición básica: mejora de suelo y edificios, incluye puentes)** si estuviera disponible y validada para la zona. La plataforma deberá poder ingestar y diferenciar las distintas clases.
 - *Sistema de Referencia Geodésico:* **ETRS89.**
 - *Proyección Cartográfica:* **UTM Huso 30N.**
 - *Altitudes:* **Ortométricas**, referidas al geoide EGM08-REDNAP.
 - *Unidad de Descarga:* Ficheros de **1x1 km.**
- **Modelos Digitales de Elevaciones (MDE/MDS):** Representan la superficie del terreno (MDE/MDT) o la superficie incluyendo elementos sobre el terreno (MDS).
 - **MDE02 (MDT02) - 2ª Cobertura:** Modelo Digital del Terreno derivado de la clasificación de suelo del LiDAR PNOA de la 2ª Cobertura.
 - *Paso de Malla:* **2 metros.**
 - *Precisión Altimétrica (RMSE Z):* **≤ 25 cm.**
 - *Formato:* **COG (Cloud Optimized GeoTIFF).**
 - *Cobertura:* Disponible para toda la Región de Murcia en el Centro de Descargas del CNIG.
 - *Uso:* Este MDE será la **base altimétrica inicial** del GD, especialmente para la visualización del terreno y análisis básicos. La plataforma debe estar preparada para sustituirlo o

complementarlo con un MDE de mayor resolución (0.5m) derivado de la 3ª Cobertura LiDAR tan pronto como esté disponible y validado.

La dependencia crítica del proyecto reside en la disponibilidad efectiva de los datos LiDAR de la 3ª Cobertura, especialmente si se requieren clasificaciones avanzadas (NPC02 o superior) para los casos de uso del MVP. Los vuelos finalizaron en mayo de 2024, y aunque el CNIG está publicando datos, la disponibilidad de la cobertura completa de Murcia con una clasificación validada y de alto nivel (NPC02) en las primeras semanas del proyecto es incierta. El proceso de clasificación y validación requiere tiempo. Por lo tanto, es imperativo que el adjudicatario, en la Fase 0 del proyecto, verifique el estado exacto de disponibilidad y calidad de los datos LiDAR para el área piloto seleccionada y proponga un plan de mitigación en caso de que los datos óptimos no estén listos. Este plan podría incluir iniciar el trabajo con la clasificación NPC01, utilizar datos de la 2ª Cobertura como sustitución temporal en algunas áreas (con menor densidad y precisión), o ajustar el alcance funcional del gemelo si fuera necesario, siempre en acuerdo con la CARM.

2.3.2. Datos Regionales y Otras Fuentes:

- **CARM:** Se requiere la integración de servicios web estándar OGC publicados por la CARM. El adjudicatario deberá consumir, como mínimo, los servicios WMS de cartografía base regional (mapas topográficos, callejeros) y ortofotos históricas, así como los servicios WMS/WFS que proporcionen información relevante para los casos de uso priorizados (e.g., planes de riesgo de protección civil, espacios naturales protegidos, infraestructuras de la EIEL, zonas sanitarias, capas de planeamiento urbanístico). Se deberá asegurar la correcta visualización y consulta de estos servicios dentro de la plataforma GD, cumpliendo las especificaciones OGC.
- **Dirección General del Catastro:** La integración de la información catastral es obligatoria.
- Se utilizará el servicio WMS INSPIRE de Cartografía Catastral (<http://ovc.catastro.meh.es/cartografia/INSPIRE/spadgcwms.aspx>) para la visualización de las parcelas y construcciones. Se deberá consumir la capa de parcelas catastrales (CP.CadastralParcel) y la capa de edificios (BU.Building). Adicionalmente, se explorará el uso del servicio WFS INSPIRE de parcelas (CP), direcciones (AD) y edificios (BU) o la funcionalidad GetFeatureInfo del WMS para obtener la referencia catastral y otros atributos alfanuméricos asociados al seleccionar elementos en el GD. Se utilizará el sistema de referencia ETRS89 UTM Huso 30N (EPSG:25830).
- **Datos del SNZI:** Mapas de Peligrosidad por inundación fluvial elaborados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y las cuencas intracomunitarias por las administraciones hidráulicas competentes en cada

Comunidad Autónoma, proporcionados por IGN. Se usarán los calados correspondientes a T = 10 años, T = 50 años, T = 100 años, T = 500 años.

- **Datos meteorológicos horarios de alta resolución (< 1 km):** Este módulo permitirá la integración de datos meteorológicos y climáticos horarios, que permitirán tanto la monitorización como el análisis de tendencias y anomalías. Las variables de alta resolución contempladas son:
 - ✓ Temperatura del aire
 - ✓ Humedad relativa
 - ✓ Temperatura del punto de rocío
 - ✓ Precipitación acumulada
 - ✓ Viento (velocidad y dirección)
 - ✓ Índices de convección
 - ✓ Nieve
 - ✓ Presión atmosférica
 - ✓ Nubosidad
 - ✓ Geopotencial
 - ✓ Escorrentía
 - ✓ Anomalías diarias en diferentes escalas temporales: 7 días, últimos 7 días y últimos 30 días

La incorporación del módulo atmosférico permite añadir una dimensión temporal y predictiva del gemelo digital, clave para la planificación urbana resiliente y gestión de emergencias. La herramienta que utilizar para la integración de estos datos será ArcGIS Pro en su última versión disponible.

2.3.3. Calidad, Preprocesamiento e Integración:

- **Control de Calidad:** El adjudicatario será responsable de implementar procedimientos para evaluar la calidad de todos los datos de origen antes de su integración en el GD. Esto incluye verificar la completitud, la consistencia lógica (topología, atributos), la precisión posicional (comparación con fuentes de referencia si es posible) y la precisión temática. Se documentarán los resultados de estas validaciones.
- **ETL (Extract, Transform, Load):** Se aplicarán los procesos ETL necesarios para preparar los datos para su carga en la plataforma. Esto incluye la extracción desde las fuentes originales, la transformación (limpieza, armonización geométrica y semántica, conversión de formato/proyección si es estrictamente necesario) y la carga en la estructura de datos definida para el GD.

- **Armonización:** Se prestará especial atención a la armonización de datos provenientes de distintas fuentes, asegurando la consistencia en sistemas de referencia, definiciones semánticas (utilizando vocabularios controlados o mapeos explícitos) y niveles de detalle.
- **Documentación:** Todos los flujos de trabajo de preprocesamiento e integración de datos deberán ser documentados, incluyendo las herramientas utilizadas, los parámetros aplicados, las validaciones realizadas y cualquier incidencia detectada.

2.4. Requisitos Técnicos de la Plataforma del Gemelo Digital:

La plataforma tecnológica constituirá el núcleo del Gemelo Digital, proporcionando las capacidades para almacenar, gestionar, visualizar y analizar la información integrada. Deberá cumplir los siguientes requisitos técnicos:

2.4.1. *Arquitectura:*

- **Arquitectura:** La implementación del Gemelo Digital del Mar Menor actualmente en funcionamiento se ha implementado bajo la Plataforma Tecnológica ArcGIS. Es requisito del presente contrato, seguir trabajando con la misma plataforma tecnológica, garantizando: fiabilidad, robustez, seguridad e interoperabilidad. EL IMIDA pondrá a disposición de la empresa adjudicataria un servidor (físico o virtualizado con las características y requisitos necesarios para el despliegue del software y la solución correspondiente, tanto a nivel de HW, SW como Almacenamiento), accesible vía red segura (VPN), donde se llevarán a cabo las tareas de instalación, configuración y puesta en marcha del entorno GIS corporativo.
- **Acceso a la Plataforma:** El acceso principal para los usuarios finales se realizará a través de una **interfaz web segura (HTTPS)**, moderna y **responsive**, compatible con los principales navegadores web (Chrome, Firefox, Edge, Safari) en sus versiones recientes. La interfaz deberá adaptarse a diferentes tamaños de pantalla (escritorio, tablet). Adicionalmente, la plataforma deberá exponer **APIs (Application Programming Interfaces)** seguras y bien documentadas para permitir la integración con otras aplicaciones o sistemas de la CARM o de empresas interesadas en los servicios.
- **Escalabilidad:** La arquitectura debe ser inherentemente **escalable horizontalmente**. Deberá poder gestionar de forma eficiente el volumen actual de datos (derivados de PNOA y otras fuentes para la Región completa) y estar preparada para soportar incrementos significativos en el futuro, tanto en volumen de datos (nuevas coberturas, datos históricos, datos IoT) como en número de usuarios concurrentes y complejidad de las operaciones de análisis y simulación.

- **Modularidad:** El diseño de la plataforma será **modular**, separando claramente los componentes funcionales principales (e.g., ingesta de datos, almacenamiento, visualización, análisis, API). Esto facilitará el mantenimiento, la actualización independiente de módulos y la incorporación futura de nuevas funcionalidades o tecnologías sin requerir una reingeniería completa del sistema.
- **Licencias de software:** A continuación, se describe el software a utilizar en las propuestas presentadas:

ArcGIS Enterprise, ArcGIS Image Analyst for ArcGIS Pro Enterprise y ArcGIS Pro: serán la base tecnológica para desarrollar y operar el gemelo digital, ya que permite integrar, visualizar, analizar y gestionar datos espaciales y temporales en tiempo real dentro de una infraestructura segura y escalable.

La propuesta del adjudicatario debe analizar los requisitos de **residencia de los datos** y el cumplimiento del **Esquema Nacional de Seguridad (ENS)**.

2.4.2. Módulo de Integración de Datos:

Este módulo será responsable de la ingesta, procesamiento y gestión de los datos de diversas fuentes.

- **Formatos Soportados:** Deberá soportar de forma nativa la lectura y procesamiento de los formatos clave identificados en la Sección 3: **COG** (para ortofotos y MDE), **LAZ** (para nubes de puntos LiDAR). Además, deberá manejar formatos GIS vectoriales estándar como **Shapefile, GeoJSON, GML, KML**.
- **Consumo y Publicación de Servicios OGC:** Capacidad robusta para consumir servicios web geoespaciales estándar OGC provenientes de fuentes externas como LA CARM y Catastro: **WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service)**, y preferiblemente también **OGC API Features**. La plataforma también deberá ser capaz de actuar como servidor, exponiendo los datos integrados del GD a través de estos mismos estándares (WMS, WFS, OGC API Features) para su uso por otras aplicaciones.
- **Interfaces de Programación (APIs):** Deberá proporcionar un conjunto de **APIs RESTful** bien documentadas, preferiblemente siguiendo la especificación **OpenAPI**, que permitan la carga programática de datos, la realización de consultas espaciales y de atributos, y la extracción de datos del GD. Estas APIs facilitarán la integración con otros sistemas y el desarrollo de aplicaciones personalizadas.
- **Capacidades ETL:** Incorporación de funcionalidades o herramientas **ETL (Extract, Transform, Load)** que permitan definir, automatizar y monitorizar los flujos de trabajo de integración y pre-procesamiento de datos descritos en la Sección 3.3. Se valorará la integración con herramientas ETL estándar del mercado (e.g., FME) o el uso de bibliotecas y frameworks robustos para este fin.

2.4.3. Módulo de Visualización 3D:

Componente central para la interacción del usuario con el GD.

- **Estándar de Streaming 3D:** La visualización 3D en el cliente web se basará preferentemente en el estándar **OGC 3D Tiles**. Este estándar está diseñado para el streaming eficiente y escalable de grandes volúmenes de contenido geoespacial 3D heterogéneo (terreno, edificios, nubes de puntos) a través de la web, utilizando estructuras jerárquicas de niveles de detalle (LOD). El formato CityGML podrá utilizarse como modelo de datos o formato de intercambio intermedio, pero no como formato de streaming directo para la visualización web principal.
- **Gestión de Niveles de Detalle (LOD):** La plataforma deberá ser capaz de generar y gestionar eficientemente múltiples Niveles de Detalle (LOD) para los diferentes tipos de datos 3D. El servicio de streaming 3D Tiles deberá servir dinámicamente el LOD apropiado en función de la distancia y la importancia visual, optimizando así el rendimiento del renderizado.
- **Rendimiento de Visualización:** Se exigirán métricas objetivas de rendimiento para la visualización 3D en el área piloto definida, bajo condiciones de prueba especificadas (hardware cliente, navegador, conexión de red). Las métricas clave incluirán el tiempo de carga inicial de la escena y la tasa de fotogramas por segundo (FPS) durante la navegación interactiva (zoom, pan, órbita).
- **Interfaz de Usuario (UI) 3D:** La interfaz web de visualización 3D deberá ser intuitiva y fácil de usar, proporcionando:
 - Controles de navegación 3D estándar (zoom, pan, órbita, inclinación).
 - Gestor de capas para activar/desactivar y gestionar la visibilidad y transparencia de las diferentes capas de datos (terreno, ortofotos, edificios 3D, nubes de puntos, capas WMS/WFS, etc.).
 - Herramientas de medición básica en 3D (distancia horizontal/vertical/directa, área 3D, altura de objetos).
 - Funcionalidad de selección interactiva de objetos 3D (edificios, parcelas) y visualización de sus atributos asociados (provenientes de Catastro, PNOA, etc.) en una ventana emergente o panel lateral.
 - Herramienta de corte de sección.
- **Calidad de Representación:** La visualización deberá permitir:
 - Representación fotorrealista del terreno y los edificios mediante texturizado a partir de las Ortofotos PNOA MA.
 - Opción de visualización temática de los edificios u otros elementos basada en sus atributos (e.g., altura, año de construcción, uso).

- Visualización de nubes de puntos LiDAR (3ª Cobertura) con simbología configurable (e.g., por clasificación, altura, intensidad, color RGB).
- Superposición correcta de capas 2D (WMS, WFS, vectoriales) sobre el modelo de terreno 3D.
- Capacidad para visualizar datos del subsuelo (e.g., infraestructuras subterráneas, geología) si los casos de uso lo requieren y los datos están disponibles, integrándolos correctamente con la superficie.

2.4.4. Módulo de Análisis y Simulación:

Este módulo proporcionará las capacidades analíticas del GD.

- **Funcionalidades Base:** La plataforma deberá incluir, como mínimo, las siguientes funcionalidades de análisis geoespacial, accesibles a través de la interfaz web:
 - **Consultas Espaciales y de Atributos:** Herramientas interactivas para seleccionar objetos en el mapa 3D o mediante consultas basadas en atributos (e.g., buscar edificios por referencia catastral, seleccionar parcelas con un uso específico) y visualizar/exportar los resultados.
 - **Perfil Topográfico:** Generación de perfiles de elevación a lo largo de una línea definida por el usuario sobre el modelo 3D.
- **Funcionalidades Futuras:** La arquitectura de la plataforma deberá ser diseñada previendo la integración futura de módulos o capacidades de análisis y simulación más avanzados, sin requerir una reestructuración fundamental. Algunos ejemplos de estas capacidades futuras, cuya implementación no forma parte del alcance de este contrato inicial, son:
 - Simulación de fenómenos naturales (e.g., inundaciones fluviales o pluviales, basándose en MDE de alta resolución y modelos hidrológicos/hidráulicos).
 - Simulación de tráfico y movilidad urbana (requiere modelos de red viaria, datos de aforo, modelos de comportamiento).
 - Análisis energético (cálculo de potencial solar en cubiertas, modelización del consumo energético de edificios).
 - Análisis de impacto acústico (modelización de la propagación del ruido).
 - Integración y análisis de datos en tiempo real de sensores IoT (Internet of Things) para monitorización ambiental, gestión de tráfico, etc.

2.4.5. Interoperabilidad y Estándares:

La plataforma deberá adherirse estrictamente a los estándares abiertos para garantizar la interoperabilidad y evitar la dependencia de tecnologías propietarias.

- **Estándares OGC:** Cumplimiento obligatorio de las versiones estables y más extendidas de los siguientes estándares del Open Geospatial Consortium: **WMS** (para servir y consumir mapas), **WFS** (para servir y consumir datos vectoriales), **OGC API Features** (alternativa moderna a WFS, basada en APIs RESTful/JSON), y **3D Tiles** (para streaming de contenido 3D).
- **Metadatos:** La gestión y exposición de metadatos se realizará conforme al estándar **ISO 19115** y al **Núcleo Español de Metadatos (NEM)**.

2.4.6. Rendimiento y Escalabilidad:

Se definirán requisitos cuantitativos y medibles para asegurar que la plataforma ofrece un rendimiento adecuado y puede escalar para satisfacer demandas futuras. Estos requisitos se especificarán en detalle en la fase de pruebas, pero incluirán como mínimo umbrales para:

- **Usuarios Concurrentes:** Número mínimo de usuarios que pueden acceder y utilizar simultáneamente las funcionalidades básicas de visualización y consulta sin degradación significativa del rendimiento.
- **Volumen de Datos:** Capacidad de la plataforma para gestionar eficientemente el volumen total de datos estimado para la cobertura completa de la Región de Murcia (considerando datos PNOA, Catastro, CARM, etc.), que podría alcanzar varios Terabytes (TBs).
- **Tiempos de Respuesta:** Tiempos máximos aceptables para operaciones clave, medidos en el entorno de producción y bajo condiciones de carga definidas (e.g., tiempo de carga inicial de la escena 3D para el área piloto < 3 segundos; tiempo de respuesta para consultas de atributos < 1 segundo).
- **Capacidad de Procesamiento:** Rendimiento mínimo para la ejecución de los análisis básicos incluidos en el MVP.

2.5. Alcance del Proyecto y Entregables:

Dada la complejidad inherente al desarrollo de un Gemelo Digital regional y el ajustado plazo de ejecución, es fundamental definir un alcance realista y priorizado (Producto Mínimo Viable - MVP) junto con un plan de trabajo detallado y una lista clara de entregables tal y como se indica en el apartado 2.5.3 de este documento.

2.5.1. Fases Detalladas del Proyecto:

El adjudicatario deberá proponer un plan de trabajo detallado, en el plazo de una (1) semana desde la formalización del contrato, que será acordado con la Fundación Integra. Este plan deberá estructurarse, como mínimo, en las siguientes fases principales:

- **Fase 0: Inicio y Planificación Detallada:**

- Reunión de lanzamiento, constitución del equipo de proyecto.
- Revisión y validación del análisis del estado del arte.
- Confirmación definitiva de la disponibilidad, calidad y fechas de entrega esperadas de los datos PNOA (especialmente LiDAR 3ª Cob.) y regionales claves.
- Definición final y acuerdo sobre el alcance geográfico y funcional del MVP.
- Priorización detallada de los casos de uso a implementar en el MVP.
- Elaboración y entrega para aprobación de la CARM del Diseño Técnico Detallado, Plan de Gestión de Datos y Plan de Aseguramiento de la Calidad.
- Ajuste y aprobación final del cronograma detallado del proyecto.
- **Fase 1: Adquisición y Preparación de Datos:**
 - Descarga de los datos PNOA (Ortofoto MA, LiDAR 3ª Cob., MDT02) y datos regionales (Catastro y SNZI) necesarios para el área piloto del MVP.
 - Ejecución de los procesos ETL: validación de calidad, limpieza, transformación y estructuración de los datos para su carga en la plataforma GD. Documentación de los procesos.
- **Fase 2: Ampliación de la plataforma del OMM a la región de Murcia:**
 - Configuración del entorno (cuentas, redes, seguridad básica).
 - Instalación y configuración del software necesario de la plataforma GD (servidores de aplicaciones, bases de datos, motor de visualización 3D, etc.).
- **Fase 3: Integración de Datos y Desarrollo de nuevas funcionalidades:**
 - Carga de los datos preparados (terreno, ortofotos, edificios 3D, nubes de puntos, capas 2D) en la plataforma GD para el área piloto.
 - Desarrollo y configuración de la interfaz de usuario web 3D.
 - Implementación de las funcionalidades de visualización (streaming 3D Tiles, gestión de capas, medición).
 - Implementación de las funcionalidades de análisis básico definidas.
 - Pruebas unitarias y de integración continuas.
- **Fase 4: Pruebas, Documentación y Formación:**
 - Pruebas: Pruebas funcionales, de rendimiento, precisión y seguridad en el entorno de pre-producción.
 - Resolución de incidencias detectadas.

- Elaboración de la documentación final: Manual de Arquitectura y Administración, Manual de Usuario, Documentación de APIs.
- Preparación e impartición de las sesiones de formación inicial al personal de la CARM.
- **Fase 5: Despliegue final en Producción y Aceptación:**
 - Despliegue de la versión final del MVP en el entorno de producción cloud acordado.
 - Realización de las Pruebas de Aceptación del Usuario (UAT) por parte de la CARM.
 - Corrección de posibles defectos bloqueantes detectados en UAT.
 - Entrega formal de la plataforma, documentación final y código fuente (si aplica).
 - Firma del Acta de Recepción Provisional/Definitiva.

2.5.2. Definición del Producto Mínimo Viable (MVP):

El Producto Mínimo Viable (MVP) a entregar antes del 31/12/2025 y deberá incluir, como mínimo:

- **Área Geográfica de trabajo:** Región de Murcia.
- **Datos Integrados (Región de Murcia):**
 - Ortofotos PNOA MA (2022 o la más reciente disponible).
 - Nube de Puntos LiDAR PNOA 3ª Cobertura (mínimo clasificación NPC01).
 - Modelo Digital del Terreno MDT02 PNOA.
 - Cartografía Catastral (consumida vía WMS INSPIRE).
 - Cartografía Base Regional de la CARM (consumida vía WMS).
 - Capas 3D cruzadas con los calados del SNZI (T10, T50, T100 y T500).
- **Funcionalidad Mínima:**
 - Plataforma desplegada y operativa.
 - Interfaz web segura y responsive.
 - Visualización 3D interactiva (basada en OGC 3D Tiles preferentemente) con los datos integrados.
 - Gestión básica de capas (activar/desactivar, transparencia).
 - Herramientas de medición 3D (distancia, área, altura).
 - Selección de objetos (parcelas, edificios) y visualización de atributos básicos.

2.5.3. Listado de Entregables Clave:

El adjudicatario deberá entregar la siguiente documentación y productos a lo largo del proyecto, según se especifique en el cronograma detallado:

- Proyectos de ArcGIS Pro y Geodatabase ArcGIS con los datos procesados y depurados. Plan de Gestión de Datos.
- Modelo 3D del gemelo digital de la Región de Murcia, en uno o varios paquetes permitiendo su publicación directa como servicios web (Scene Layer)
- Scripts de procesamiento, transformación e integración de datos desarrollados.
- Manual de Usuario de la Plataforma.
- Documentación de la APIs.
- Materiales de Formación.

2.6. Gestión, Seguridad y Mantenimiento de Datos:

La gestión adecuada de los datos es crucial para la fiabilidad, seguridad y sostenibilidad del Gemelo Digital.

2.6.1. Almacenamiento, Backup y Recuperación:

- **Almacenamiento:** La solución de almacenamiento en la nube deberá ser escalable, duradera y optimizada para el acceso a grandes volúmenes de datos geoespaciales. Se considerarán opciones como almacenamiento de objetos para ficheros ráster (COG) y nubes de puntos (LAZ), y bases de datos geoespaciales gestionadas para datos vectoriales y atributos. La elección deberá justificarse en el Diseño Técnico Detallado.
- **Backup:** Se implementará una política de backup automatizada y robusta para todos los datos críticos y la configuración de la plataforma. Se definirá la frecuencia de los backups (e.g., diaria, semanal), el periodo de retención y el método de almacenamiento de las copias (CPD de la Fundación Integra y en DMZ del IMIDA).
- **Recuperación ante Desastres (DR):** Se definirá un plan de recuperación ante desastres que especifique los objetivos de tiempo de recuperación (RTO - Recovery Time Objective) y punto de recuperación (RPO - Recovery Point Objective) en caso de fallo grave del sistema o pérdida de datos. El plan describirá los procedimientos para restaurar el servicio a partir de los backups.

2.6.2. Seguridad:

La seguridad de la información es un requisito importante, por ello la plataforma y todos los procesos asociados deberán cumplir con la normativa vigente y las mejores prácticas,

debiendo disponer de certificados en categoría MEDIA del Esquema Nacional de Seguridad.

Asimismo, los licitadores deberán aportar en el **sobre nº1** de la oferta el certificado de conformidad de los servicios a categoría ENS MEDIA o el compromiso de obtener el certificado de conformidad con el Esquema Nacional de Seguridad en categoría MEDIA en un plazo máximo de **un (1) mes** desde el inicio del contrato.

2.6.3. Estrategia y Procedimientos de Actualización de Datos:

El GD debe ser una réplica viva, por lo que la actualización de sus datos base es fundamental.

- **Proceso de Actualización:** Se definirá un procedimiento claro y, en la medida de lo posible, automatizado para actualizar los conjuntos de datos principales (PNOA, Catastro, LA CARM) a medida que las entidades productoras publiquen nuevas versiones. Esto implicará monitorizar las fuentes (e.g., Centro de Descargas CNIG, servicios WMS/WFS) y ejecutar los flujos ETL correspondientes para ingestar los datos actualizados.
- **Frecuencia:** Se establecerá una frecuencia mínima para la revisión de disponibilidad de actualizaciones y para la ejecución efectiva de las actualizaciones en el GD.

2.6.4. Gestión de Metadatos:

Una gestión adecuada de metadatos es esencial para la comprensión, uso y gobernanza de los datos del GD.

- **Estándares:** Se implementará un catálogo o sistema de gestión de metadatos conforme al estándar **ISO 19115** y al **Núcleo Español de Metadatos (NEM)**.
- **Contenido Mínimo:** Para cada conjunto de datos integrado en el GD, se documentarán como mínimo los siguientes metadatos: título, resumen, fecha de creación/publicación/revisión, extensión geográfica y temporal, sistema de referencia de coordenadas, linaje (origen y procesos aplicados), información de calidad (precisión, completitud), formato, condiciones de acceso y uso, y punto de contacto.
- **Accesibilidad:** Los metadatos deberán ser accesibles a través de la propia plataforma GD y/o publicables en el catálogo de metadatos de la CARM para facilitar su descubrimiento.

2.7. Aseguramiento de la Calidad y Criterios de Aceptación:

Se establecerá un marco riguroso para asegurar la calidad del producto final y definir los criterios para su aceptación formal por parte de la CARM.

2.7.1. Plan de Calidad del Contratista:

Al inicio del proyecto (Fase 0 descrita en el apartado 2.5.1 del presente documento), el adjudicatario deberá entregar un **Plan de Calidad** detallado para su aprobación por la Fundación Integra. Este plan describirá la metodología de aseguramiento de la calidad que se seguirá durante todo el ciclo de vida del proyecto, incluyendo:

- Organización y responsabilidades del equipo que realizase las pruebas
- Procedimientos de revisión de código y documentación.
- Estrategia de pruebas (niveles, tipos, herramientas).
- Gestión de configuración y control de versiones.
- Procedimientos para la gestión de no conformidades e incidencias.
- Métricas de calidad a monitorizar.

2.7.2. Metodología y Pruebas:

- **Entornos:** Se definirán y configurarán entornos separados para el desarrollo, la integración/pruebas y la producción final, asegurando que las pruebas no interfieran con el entorno operativo.
- **Tipos de Pruebas Mínimas:** Las pruebas a realizar son las siguientes:
 - **Pruebas Funcionales:** Verificar sistemáticamente que cada una de las funcionalidades especificadas en la Sección 4 (visualización, análisis, integración de datos, etc.) opera correctamente y cumple con los requisitos definidos. Se utilizarán casos de prueba detallados.
 - **Pruebas de Seguridad:** Realizar verificaciones del cumplimiento de los controles de seguridad del ENS aplicables. Se podrán requerir pruebas de análisis de vulnerabilidades o pruebas de penetración realizadas por un tercero independiente, según determine la CARM.
 - **Pruebas de Usabilidad:** Evaluar la facilidad de uso y claridad de la interfaz de usuario web con usuarios representativos.
 - **Pruebas de Compatibilidad:** Verificar el correcto funcionamiento de la interfaz web en los navegadores y versiones especificadas.

2.7.3. Métricas de Calidad y Umbrales Aceptables:

La propuesta deberá definir **métricas específicas, medibles, alcanzables, relevantes y temporalizadas (SMART)** para evaluar objetivamente la calidad del GD. La definición de umbrales cuantitativos es crucial para evitar subjetividades en el proceso de aceptación. Algunos ejemplos de métricas y umbrales a definir son:

- **Precisión Geométrica:** Error cuadrático medio (RMSE) de las coordenadas de puntos de control bien definidos en el GD comparado con sus coordenadas conocidas (e.g., < 1 metro para elementos derivados de PNOA MA).
- **Rendimiento de Visualización:** Tiempo medio de carga inicial de la escena 3D del área piloto (< 3 segundos en condiciones estándar). FPS medio durante navegación interactiva (> 25 FPS).

2.7.4. Proceso y Criterios Formales de Aceptación:

- **Proceso:** Se describirá el procedimiento formal para la entrega de los productos y la realización de las Pruebas de Aceptación del Usuario (UAT) por parte del personal designado por la Fundación Integra. Esto incluirá la notificación de disponibilidad para pruebas, el periodo de ejecución de UAT, el mecanismo para reportar incidencias y el proceso para su resolución y verificación por parte del adjudicatario.
- **Criterios de Aceptación:** La aceptación provisional y/o definitiva del sistema estará condicionada a:
 - La entrega completa y satisfactoria de los productos definidos en el apartado 2.5.1.
 - La superación exitosa de las Pruebas de Aceptación del Usuario (UAT), demostrando que el sistema cumple con todos los requisitos funcionales y no funcionales (rendimiento, seguridad, precisión) definidos en este pliego.
 - La ausencia de defectos críticos o bloqueantes que impidan el uso normal del sistema para los fines previstos.
 - La conformidad con la normativa aplicable, especialmente el ENS.

2.8. Plazo de Ejecución y Cronograma:

- El plazo máximo final para la ejecución completa del contrato será el **31/12/2025**.
- El adjudicatario deberá incluir en su oferta técnica una propuesta de cronograma detallado (preferiblemente en formato de Diagrama de Gantt) que desglose las tareas, duraciones, dependencias, hitos y asignación de recursos para cada una de las fases descritas en la Sección 2.5.1 del presente pliego. Este cronograma será revisado, ajustado si fuera necesario, y aprobado formalmente por la Fundación Integra al inicio del proyecto y servirá como base para el seguimiento del progreso.

2.9. Garantía Técnica:

- El contratista proporcionará una garantía técnica sobre la plataforma GD desarrollada, y suministrará los datos climáticos de alta resolución por un periodo mínimo de **veinticuatro (24) meses**, a contar desde la fecha del Acta de Recepción Definitiva del sistema.
- Durante el periodo de garantía, el contratista será responsable de corregir, sin coste adicional para la Fundación Integra, cualquier error, defecto de funcionamiento (bug) o no conformidad del software desarrollado con respecto a las especificaciones establecidas en el presente pliego, que sea detectado y notificado por la Fundación Integra.
- La garantía no cubrirá el desarrollo de nuevas funcionalidades no incluidas en el alcance del contrato, ni las actualizaciones mayores de componentes de software de terceros (aunque sí la corrección de problemas derivados de la integración de dichos componentes si fueran imputables al adjudicatario). Tampoco cubrirá incidencias derivadas de un mal uso o modificación no autorizada del sistema por parte de la Fundación Integra.

2.10. Propiedad Intelectual:

- Todos los productos desarrollados específicamente para la CARM en el marco de este contrato, incluyendo, pero no limitándose a, el código fuente de los módulos a medida, los scripts de procesamiento y transformación de datos, los modelos de datos específicos del GD, la documentación técnica y de usuario, y cualquier otro material generado, serán **propiedad de la Fundación Integra**.
- El contratista deberá identificar claramente en la documentación final todos los componentes de software base o de terceros (librerías, frameworks, etc.) utilizados en la solución, especificando sus respectivas licencias de uso (e.g., open source, comerciales). La CARM deberá poder utilizar dichos componentes bajo los términos de sus licencias sin infringir derechos de terceros. **Se priorizará el uso de software disponible en el IMIDA (Arc GiS Server Advanced y ArcGiS Pro) o el uso de código abierto con licencias siempre que sea técnicamente viable y el rendimiento sea similar al utilizado actualmente.**

2.11. Formación online y Transferencia de Conocimiento:

- Para asegurar la autonomía de la Fundación Integra en el uso y gestión básica de la plataforma GD, el contratista impartirá un programa de formación online dirigido al personal técnico y/o usuario final que designe la Fundación Integra.
- La formación tendrá una duración mínima de **10 horas** y cubrirá, al menos, los siguientes aspectos:
 - Visión general de la arquitectura de la plataforma.

- Uso de la interfaz web de visualización 3D y funcionalidades del MVP.
- Administración básica del sistema (gestión de usuarios, monitorización).
- Procedimientos básicos de carga y actualización de datos.
- Se entregarán los materiales de formación utilizados (presentaciones, manuales) en formato digital editable.
- Además de la formación formal, el contratista deberá facilitar la transferencia de conocimiento necesaria al equipo técnico de la Fundación Integra a lo largo del proyecto, a través de la documentación detallada, reuniones técnicas y soporte durante la fase de pruebas y puesta en marcha.

3. Lote 2: Ampliación de la plataforma CLIMALERT para la vigilancia y gestión de los riesgos hidrometeorológicos dedicando especial atención a las zonas rurales y costeras

El objeto del presente lote es la contratación del servicio para el desarrollo de un sistema de vigilancia y gestión de los riesgos hidrometeorológicos a tiempo real con los siguientes módulos.

Acceso a datos a tiempo real: Datos en tiempo real de AEMET, CHS, IMIDA y previsiones meteorológicas de alta resolución de AEMET durante **veinticuatro (24) meses**.

Integración de datos y algoritmos hidrometeorológicos: El sistema debe integrar datos (observaciones y previsiones), algoritmos destinados a proporcionar las mejores estimaciones de peligro en todo momento y estimaciones del potencial impacto de los fenómenos en el territorio. Debe de integrar las salidas de los modelos usados por AEMET y puertos del Estado. El sistema incluirá los indicadores de riesgo de inundaciones generados por el sistema europeo EFAS.

Cruce dinámico de información: El sistema permitirá cruzar dinámicamente información de peligro en tiempo real con datos de vulnerabilidad propios del territorio. Esto le da una idea del impacto de los fenómenos de riesgo en la población, infraestructuras y otros elementos definidos, así como el desarrollo de un API para el acceso a los datos integrados desde otras plataformas.

Este sistema destinado a la vigilancia y gestión de riesgos hidrológicos y meteorológicos en la Región de Murcia es fundamental para hacer frente a fenómenos climáticos adversos, como inundaciones, sequías y olas de calor, que están aumentando con frecuencia e intensidad en las últimas décadas. La implementación de este sistema busca mejorar la resiliencia y protección de la Región de Murcia ante estos riesgos.

3.1. Objeto del Contrato

El objeto del presente lote tiene como objetivo la ampliación y puesta en marcha de un sistema integral para la vigilancia y gestión en tiempo real de los riesgos hidrológicos y meteorológicos basada en la plataforma ClimAlert para la Región de Murcia. Este sistema

debe ser completamente operativo en un plazo máximo de cinco meses desde la formalización del contrato. Además, debe integrar diversas fuentes de datos y proporcionar funcionalidades avanzadas, como la monitorización continua y la generación de alertas tempranas. Las nuevas funcionalidades de la plataforma pueden proporcionarse como servicio **durante 24 meses** (SaaS: Software as a Service) accesible desde cualquier punto con conexión a Internet, ya sea con un ordenador o dispositivo móvil.

3.2. Ámbito de Aplicación

El sistema abarcará toda la Región de Murcia y deberá estar diseñado para poder diseminar información relevante (avisos, informes) a otros organismos y entidades implicadas en la gestión de emergencias, como Ayuntamientos, servicios de emergencia (112), y potencialmente, a la ciudadanía a través de canales específicos.

El sistema contendrá los datos de los avisos oficiales de la Agencia Estatal de Meteorología (en adelante, AEMET) sobre fenómenos atmosféricos adversos (en lo sucesivo, FMA) de acuerdo con el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (en adelante, Meteoalerta). Estos avisos se incorporarán al sistema propuesto para que puedan formar parte (por su cuenta, o junto con otras variables) en la generación de alertas. Para adquisición de estos datos se identifica más de una vía: Obtención del portal OpenData de la AEMET donde se pueden obtener los avisos en formato EDXL-CAP, establecer un mecanismo de conexión dedicado con AEMET, para la obtención de los avisos de forma directa.

3.3. Riesgos Hidrometeorológicos

El sistema debe estar diseñado para gestionar al menos estos tipos de riesgos:

- **Inundaciones.** Algoritmos específicos de nowcasting radar, alertas en cauces de alta resolución (200x200 m²), alertas por superación de umbrales hidráulicos en zonas urbanas. Posibilidad de activación de elementos críticos a partir de la información generada por dichos productos o las redes de sensores incluidos. Posibilidad de incluir modelos hidrológicos o hidráulicos de previsión.
- **Tormentas:** Algoritmos de identificación tracking y previsión de células convectivas, probabilidad de tormentas y rayos. Alertas por proximidad de rayos.
- **Nevadas:** Algoritmo de Previsión de estado de la vía (acumulación de nieve en pavimento) a partir de un modelo de previsión de nevada y un modelo de inercia del asfalto alta resolución. Generación de alertas de impacto en el tráfico por tramos de alta resolución (vías conflictivas, prioritarias, rutas escolares, etc.).
- **Sequías.** Algoritmo de previsión de indicadores de sequía a partir de las

predicciones estacionales del ECMWF (índices probabilísticos de SPI, SPEI).

- **Fenómenos costeros.** Posibilidad de incluir modelo de inundaciones costeras (nivel y aviso por marejada, nivel superficial, etc.). Modelos de Puertos del Estado, información de boyas y mareógrafos, posibilidad de integrar información de playas (aforos, banderas, etc.).
- **Olas de calor y frío.** Producto de temperatura de alta resolución a partir de downscaling orográfico de la información de modelos numéricos de predicción.
- **Viento.** Producto de viento de alta resolución a partir de downscaling orográfico de la información de modelos numéricos de predicción y activación de elementos críticos, núcleos urbanos u otros elementos a partir de él.

3.4. Funcionalidades Generales

La plataforma ClimAlert ampliada deberá proporcionar, como mínimo, las siguientes funcionalidades generales:

- **Monitorización en Tiempo Real:** Visualización y seguimiento continuo de los datos integrados de todas las fuentes especificadas en el presente pliego.
- **Predicción a Corto Plazo:** Generación o integración de predicciones meteorológicas e hidrológicas a corto plazo (horas/días).
- **Modelización de Impacto:** Capacidad para estimar los posibles efectos de los fenómenos previstos (ej. extensión de la inundación, zonas afectadas) mediante la integración o ejecución de modelos adecuados.
- **Sistema de Alerta Temprana:** Generación y difusión automatizada y manual de alertas y avisos basados en umbrales configurables y resultados de predicción/modelización.
- **Gestión de Avisos:** Seguimiento del ciclo de vida de las alertas emitidas, incluyendo confirmación de recepción y registro de actuaciones asociadas.
- **Generación de Informes:** Creación de informes predefinidos y personalizables para análisis de eventos, evaluación post-emergencia, planificación y reporte a diferentes organismos.

3.5. Requisitos Técnicos de Integración de Datos

La plataforma para desarrollar debe estar basada en tecnologías abiertas y modulares (backend-dockerizado, fronted-tecnología web), lo que le permite centralizar, unificar y armonizar una gran diversidad de datos, módulos y requerimientos asociados a la información hidrometeorológica.

Las principales características funcionales del sistema deben ser:

- Posibilidad de integración de diversas fuentes de datos (modelos meteorológicos, satélite, radar, sensores (pluviometría, caudal, piezometría, boyas, etc.), información de alertas oficiales, datos de tráfico y cámaras, etc.).
- Ejecución de algoritmos–modelos para la generación de previsiones / alertas específicas (hidrológicas, sequías, nevadas, etc.), con procesos simplificados de integración de nuevos modelos.
- Inclusión de información específica de vulnerabilidad sobre peligrosidad y riesgo ya disponible (información del SNZI o catálogos de infraestructuras/elementos críticos).
- Capacidad para la ejecución de software externo y recoger y plasmar sus resultados, tales como modelos meteorológicos, hidrológicos o hidráulicos, de incendios, Inteligencia Artificial (IA), etc.
- Generación de productos de alerta a partir de la combinación de una o diversas fuentes o modelos y la activación de puntos críticos a partir de dicha información. Cruce dinámico de información: el sistema permite cruzar dinámicamente información de peligro en tiempo real con datos de vulnerabilidad propios del territorio.
- Sistema de monitorización del conjunto de procesos incorporados (adquisición de datos, ejecución de modelos, generación de alertas, exportación de datos, informes, etc.), crítico para realizar un seguimiento en tiempo real de la calidad de los productos, alertas y predicciones.
- APIs específicas de descargas de información a diferentes niveles (datos básicos a través del visor, procedimientos de exportación programados, etc.) o de interoperabilidad con otros sistemas.
- Gestión avanzada de usuarios y roles, con trazabilidad detallada de acceso a las diversas funcionalidades de los módulos implementados.
- Procesos de análisis y validación de datos, permitiendo el registro de todos los procesos de validación (criterios temporales de validación, datos originales, usuarios asignados, etc.).
- Activación y seguimiento de planes de gestión asociados a las alertas registradas o la activación de puntos críticos.
- Visualización y diseminación de información mediante mail, SMS, notificaciones, generación de boletines.
- Posibilidad de analizar episodios históricos.
- Construcción simplificada de portales privados y públicos a partir de la información existente y gestión de posibles usuarios con capacidades específicas. Construcción simplificada de vistas temáticas.

- Visor web multidispositivo: desktop, Tablet/ móvil web-app.
- Interfaz multilinguaje (castellano, inglés, etc.).
- Fácil de mantener, escalar, actualizar, configurar, introduciendo nuevos modelos, datos, nuevos productos, alertas, etc.

El sistema integrará datos en tiempo real de diversas fuentes, incluyendo la API de AEMET, la red SAIH Segura, y el SIAM. Cada fuente tiene requisitos específicos de acceso y protocolos de comunicación.

3.5.1. API de AEMET (Agencia Estatal de Meteorología)

- **Acceso:** El sistema utilizará la API REST de AEMET OpenData.
- **Autenticación:** El adjudicatario implementará la gestión segura de la(s) API Key(s) proporcionada(s) por el Órgano Gestor, necesaria para la autenticación en la API de AEMET.
- **Endpoints Obligatorios:** El sistema deberá consumir, como mínimo, los siguientes endpoints:
 - **Observación Convencional (Tiempo Real):** Endpoint /api/observacion/convencional/todas para obtener datos horarios o sub-horarios de la red de estaciones de AEMET en la Región y zonas limítrofes relevantes. El formato esperado es JSON.
 - **Predicciones por Municipios:** Endpoints /api/prediccion/especifica/municipio/diaria/{municipio} y /api/prediccion/especifica/municipio/horaria/{municipio} para los municipios de la Región de Murcia. El formato esperado es JSON.
 - **Avisos Meteorológicos Adversos (CAP):** Endpoint /api/avisos_cap/archivo/ultimoselaborados (o consulta por rango de fechas si es necesario) para obtener los avisos vigentes. El sistema deberá parsear el formato CAP (Common Alerting Protocol, basado en XML), interpretar los niveles de aviso (Minor/Verde, Moderate/Amarillo, Severe/Naranja, Extreme/Rojo), los tipos de fenómeno, las zonas geográficas afectadas (identificadas por geocode) y los periodos de validez.
 - **Modelos Numéricos:** El sistema debe integrar los datos del modelo numéricos de AEMET HARMONIE-AROME (resolución 2.5 km). Se especificarán las variables requeridas (ej. precipitación acumulada, temperatura, viento, humedad). Los formatos habituales son GRIB y NetCDF, aunque AEMET también puede ofrecer visualizaciones descargables en GeoTIFF/GeoJSON. El contratista deberá detallar el método de acceso y procesamiento para estos formatos.
- **Protocolos y Formatos:** La interacción principal será mediante API REST con

respuestas en JSON y XML (CAP). Si se integran modelos numéricos, se deberá soportar GRIB y/o NetCDF.

- **Frecuencia de Actualización:** El sistema realizará consultas periódicas adaptadas a la frecuencia de actualización de cada producto de AEMET (ej. observaciones horarias, predicciones varias veces al día, avisos según emisión) y respetando los límites de uso de la API de AEMET.
- **Gestión de Errores:** Se implementará un manejo robusto de errores de conexión, errores de API, timeouts, y datos faltantes o inválidos, con registro detallado y alertas al administrador del sistema.

3.5.2. Red SAIH Segura (Sistema Automático de Información Hidrológica)

- **Acceso:** El sistema se integrará con la red SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS).
- **Puntos de Acceso y Datos Relevantes:** Se deberán integrar los datos en tiempo real procedentes de los puntos de control sensorizados relevantes para la Región de Murcia, incluyendo como mínimo:
 - Niveles de embalse y volúmenes almacenados.
 - Caudales circulantes en ríos, ramblas y canales principales.
- **Protocolos de Comunicación:** Dado que los protocolos específicos pueden variar entre distintas Confederaciones Hidrográficas y evolucionar con el tiempo, el adjudicatario deberá, durante la fase de análisis, verificar y confirmar el método de acceso en tiempo real proporcionado por la CHS para su red SAIH. Las posibilidades técnicas habituales incluyen:
 - **Web Services:** Protocolos estándar como SOAP/XML o REST/JSON o sistema equivalente.
 - **Transferencia de Ficheros (SFTP):** Acceso a un servidor SFTP para la descarga automatizada de ficheros de datos (ej. formato CSV, TXT u otros específicos). Se deberán especificar los detalles de conexión (servidor, puerto, credenciales) y la estructura de los ficheros a parsear. Este método es menos idóneo para tiempo real estricto, pero puede ser un mecanismo de respaldo o para datos históricos.
 - **Otros Protocolos:** Si la CHS utiliza protocolos propietarios o específicos de sistemas SCADA, el adjudicatario priorizará soluciones basadas en estándares abiertos si existen alternativas. El adjudicatario deberá documentar detalladamente el protocolo finalmente utilizado y justificar su elección en base a la disponibilidad y fiabilidad ofrecida por la CHS.
- **Frecuencia de Actualización:** El sistema deberá consultar los datos con una frecuencia adecuada para la vigilancia en tiempo real, típicamente entre 5 y 15 minutos, especialmente durante situaciones de avenida o riesgo elevado. Se

debe tener en cuenta que los datos SAIH/AEMET en tiempo real son a menudo provisionales y pueden requerir validación posterior. El sistema deberá poder manejar y marcar adecuadamente estos datos.

- **Gestión de Errores:** Implementar mecanismos robustos para la gestión de fallos de conexión, errores en la recepción de datos, y datos inválidos o fuera de rango, con registro y notificación.

El contratista tiene que adaptarse específicamente a la implementación concreta de la Confederación Hidrográfica del Segura. La existencia de visores web como **iVisor** sugiere una digitalización de los datos, pero no garantiza per se la existencia de una API pública o servicio web estandarizado para la integración por terceros.

3.5.3. SIAM (Sistema de Información Agrario de Murcia del IMIDA)

- **Acceso:** El sistema integrará datos relevantes procedentes de la red SIAM, gestionada por el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA).
- **Datos Relevantes:**
 - **Datos Agroclimáticos:** Variables medidas en la red de estaciones automáticas del SIAM, tales como temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento, y evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada. Se integrarán los datos de todas las estaciones SIAM activas en la Región.
- **Forma de Acceso/Integración:** El contratista utilizará el método más eficiente y fiable disponible para la obtención de datos SIAM en tiempo real, priorizando APIs sobre descarga de ficheros.
 - **API (Application Programming Interface):** Se verificará la existencia y funcionalidad de una API REST o servicio web que proporcione acceso programático a los datos de las estaciones SIAM en tiempo real o cuasi-real). Se investigarán las APIs mencionadas en contextos relacionados como SIAR o ClimAlert. Si existe una API adecuada, se detallarán sus endpoints, métodos de autenticación y formatos (probablemente JSON o XML).
 - **Descarga Automatizada de Ficheros:** Si no se dispone de una API en tiempo real adecuada, el sistema implementará un mecanismo automatizado para descargar periódicamente ficheros de datos desde los servidores de IMIDA/SIAM (ej. vía HTTPS, SFTP). Se especificarán los formatos de fichero esperados (ej. CSV, JSON). Se definirá la frecuencia de descarga (ej. cada hora).
- **Frecuencia de Actualización:** El objetivo es obtener los datos de las estaciones con la mayor frecuencia posible permitida por el sistema SIAM y el método de acceso elegido (idealmente, actualizaciones horarias o más frecuentes).

- **Gestión de Errores:** Implementar mecanismos robustos para la gestión de fallos de conexión, errores en la recepción de datos, y datos inválidos, con registro y notificación.

3.5.4. Imágenes Sentinel II (Copernicus)

- **Acceso:** El sistema integrará imágenes ópticas multiespectrales de la misión Sentinel-2 (S2A y S2B) del programa Copernicus.
- **Plataforma de Acceso:** El adjudicatario utilizará una de las APIs ofrecidas por el Copernicus Data Space Ecosystem o plataformas DIAS para la búsqueda y descarga automatizada de imágenes. Se priorizarán APIs eficientes como Sentinel Hub API, o los interfaces estándar OData, OpenSearch o STAC. Se evitará la descarga manual. El adjudicatario detallará la API y el flujo de trabajo propuesto.
- **Área de Interés (AOI):** Se definirá un AOI que cubra la totalidad de la Región de Murcia y las cabeceras de cuencas externas relevantes que puedan influir en los riesgos hidrológicos dentro de la Región.
- **Frecuencia de Adquisición y Selección:** El sistema deberá configurarse para buscar y descargar nuevas imágenes sobre el AOI con la máxima frecuencia disponible (revisita teórica de 2-3 días en latitudes medias con S2A y S2B). Se establecerán criterios automáticos de selección, principalmente un umbral máximo de nubosidad aceptable por imagen/tile (ej. < 20% sobre el AOI).
- **Preprocesamiento Requerido:** El sistema deberá incluir un flujo de trabajo automatizado para el preprocesamiento de las imágenes S2 seleccionadas:
 - **Corrección Atmosférica:** Se utilizarán productos Sentinel-2 Nivel-2A (L2A), que proporcionan reflectividad en la base de la atmósfera (BOA). Estos productos ya incorporan corrección atmosférica mediante algoritmos como Sen2Cor. Si los productos L2A no estuvieran disponibles a tiempo por alguna razón, el sistema deberá ser capaz de procesar productos L1C aplicando un algoritmo de corrección atmosférica validado (preferentemente Sen2Cor). El adjudicatario priorizará el uso directo de productos L2A.
 - **Enmascaramiento de Nubes, Sombras y Nieve:** Se aplicarán máscaras para identificar y excluir píxeles afectados por nubes, sombras de nubes y nieve, utilizando para ello las bandas de calidad proporcionadas en los productos L2A (ej. la banda SCL - Scene Classification Layer) u otros algoritmos robustos de enmascaramiento.
- **Productos Derivados Relevantes:** El sistema calculará y almacenará de forma automática los siguientes productos derivados a partir de las imágenes S2 preprocesadas, para su uso en monitorización y análisis:
 - **Índices de Vegetación:** Como mínimo, NDVI (Normalized Difference

Vegetation Index).

- **Índices de Humedad/Agua:** Como mínimo, NDWI (Normalized Difference Water Index).
- **Gestión de Datos:** El sistema implementará una gestión eficiente del almacenamiento de imágenes S2 y productos derivados, incluyendo políticas de retención y posible compresión.

3.5.5. Sistema EFAS (European Flood Awareness System)

Acceso: El sistema integrará información relevante (avisos y predicciones) del European Flood Awareness System (EFAS), parte del Copernicus Emergency Management Service (CEMS). El objetivo de EFAS es proveer información complementaria, y con valor añadido, a las autoridades nacionales y regionales para contribuir a la preparación previa ante inundaciones. EFAS dispone de:

- **Indicadores de inundaciones rápidas:** con horizontes de horas o pocos días para cuencas pequeñas, basadas directamente en la previsión de lluvia sobre esas cuencas.
- **Previsiones de inundaciones a medio plazo:** para grandes cuencas, usando el modelo hidrológico LISFLOOD alimentado por las previsiones de lluvia hasta 10 días.

Se seleccionarán los indicadores más útiles y apropiados para el uso que se requiere y serán incorporados en el sistema. De forma tentativa se incluirán los siguientes indicadores:

- **Rapid Flood Mapping:** Área máxima de inundación estimada para los próximos 10 días.
- **Rapid Impact Assessment:** Nivel de riesgo de inundación estimado para los próximos 10 días. Se combina la probabilidad y la severidad de la inundación con la exposición (población, usos del suelo, infraestructuras).
- **Reporting points:** Puntos de la red fluvial con hidrogramas previstos disponibles indicando si se superan los 2 (amarillo) o 5 (rojo) años de periodo de retorno de inundación para la previsión de los próximos 10 días.
- **Hydrological Products-Deterministic ECMWF:** Mapa de periodos de retorno superados en la red hidrológica basado en el pronóstico determinista del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF).
- **Hydrological Products – ECMWF-ENS 20 yr RP:** Mapa del número de simulaciones ECMWF-ENS que exceden el umbral de 20 años de periodo de retorno de EFAS.
- **Hydrological Products – ECMWF-ENS 5 yr RP:** Mapa del número de

simulaciones ECMWF-ENS que exceden el umbral de 20 años de periodo de retorno de EFAS.

- **ERIC:** Indicador de inundaciones rápidas basados en modelos de pronóstico meteorológico y el modelo hidrológico LISFLOOD, ambos de ámbito europeo. Tiene un horizonte de previsión de 5 días y esté concebido para cuencas menores de 2.000 km².
- **ERICHA 1h accumulation:** Mapa de acumulación horaria de lluvias basadas en la red europea de radares meteorológicas OPERA, de la que forman parte los radares de AEMET.
- **ERICHA FF Hazard level:** Secciones de la red fluvial se resaltan si la probabilidad de inundaciones rápidas en las próximas horas cumple ciertos criterios. Los umbrales están basados en los publicados por el consorcio MeteoAlarm. Está enfocado a capturar eventos muy locales difíciles de predecir por los modelos meteorológicos, y su horizonte de previsión es de 4 horas.

Requisito de EFAS: La integración de datos EFAS en tiempo real requiere que el Órgano Gestor sea un "EFAS Partner" registrado. El adjudicatario desarrollará la solución técnica asumiendo que esta condición de partner será satisfecha por la Región de Murcia.

Recepción de Avisos y Predicciones: El sistema deberá implementar mecanismos para recibir e integrar la información de EFAS a través de los canales disponibles para partners:

- **Notificaciones por Email:** Es el canal principal para la recepción de alertas formales, informales y de inundaciones súbitas (Formal/Informal/Flash Flood Notifications). El sistema deberá incluir un módulo capaz de monitorizar una cuenta de correo designada, identificar automáticamente los emails de notificación de EFAS, parsear su contenido (ej. zona afectada, nivel de alerta, probabilidad, pico previsto) e integrar esta información en el sistema de gestión de avisos.
- **Servicios Web (OGC WMS-T, SOS):** EFAS proporciona acceso restringido a partners a productos y datos en tiempo real a través de servicios OGC. El sistema deberá ser capaz de conectarse a estos servicios (WMS-T para visualización de capas, SOS para consulta de datos en puntos específicos), utilizando las credenciales de partner, para integrar capas relevantes como puntos de reporte con superación de umbrales, predicciones de caudal, o mapas de impacto rápido ("Rapid Flood Mapping").
- **API / FTP (Datos Archivados/Near Real-Time):** El acceso a datos históricos o pronósticos recientes (<30 días) para análisis o calibración se realiza a través de la API del Copernicus Climate Data Store (CDS), el archivo MARS de ECMWF o un FTP restringido para partners. Si se requiere esta funcionalidad (ej. para análisis histórico o mejora de modelos locales), el adjudicatario deberá implementar la integración con la fuente correspondiente.

Formatos de Datos:

- **Notificaciones:** Formato de texto/HTML dentro de emails.
- **Servicios Web:** Estándares OGC (WMS GetMap/GetFeatureInfo, SOS GetObservation).
- **Datos de Archivo/Pronóstico:** Formatos GRIB o NetCDF. El sistema deberá incluir librerías para leer estos formatos si se requiere la integración directa de estos datos.

Frecuencia de Actualización: Las notificaciones por email se reciben de forma asíncrona cuando EFAS las emite. Los servicios web y otras fuentes de datos se actualizan típicamente dos veces al día (ciclos de 00 y 12 UTC).

Gestión de Errores: Implementar mecanismos de monitorización y alerta para fallos en la recepción de emails, errores de conexión a servicios web/FTP, o problemas en el parseo de datos.

3.5.6. Requisitos Generales de Integración de Datos

- **Procesamiento en Tiempo Real:** El diseño de los módulos de integración deberá minimizar la latencia entre la disponibilidad del dato en la fuente original y su procesamiento y visualización en el sistema.
- **Robustez y fiabilidad:** Los mecanismos de integración deberán ser robustos frente a fallos temporales de conexión o indisponibilidad de las fuentes de datos, implementando políticas de reintentos y mecanismos de caché adecuados.
- **Monitorización de la Integración:** El sistema incluirá un panel de control o módulo específico para monitorizar el estado de cada flujo de integración de datos, mostrando la última hora de recepción, el estado (OK/Error) y estadísticas relevantes. Se configurarán alertas para el administrador del sistema en caso de fallos persistentes en la integración.
- **Modelo de Datos Unificado:** El sistema implementará un modelo de datos interno coherente para almacenar la información heterogénea procedente de las distintas fuentes. Se valorará el uso de estándares como NGSI-LD u otros modelos orientados a datos espaciotemporales, especialmente si se contempla la integración con plataformas como FIWARE. El adjudicatario deberá documentar detalladamente el modelo de datos implementado.
- **Calidad del Dato:** Implementar validaciones básicas (ej. rangos, tipos de datos) en el proceso de ingestión y permitir el marcado de datos como "provisionales" o "validados" según la fuente (ej. SAIH).

3.6. Arquitectura Técnica del Sistema

3.6.1. *Arquitectura General*

El sistema se diseñará siguiendo una arquitectura modular, escalable y basada en servicios, preferiblemente orientada a microservicios si la complejidad lo justifica. Se fomentará el uso de estándares abiertos para facilitar la interoperabilidad y la mantenibilidad. La arquitectura deberá contemplar claramente las siguientes capas lógicas:

- **Capa de Ingestión de Datos:** Responsable de la conexión con las fuentes externas (APIs, Web Services, SFTP, etc.), la recepción y el parseo inicial de los datos.
- **Capa de Procesamiento y Modelización:** Donde se realizan las tareas de validación, transformación, cálculo de índices, ejecución de modelos hidrometeorológicos y de impacto, y generación de lógica de alertas.
- **Capa de Persistencia:** Incluye las bases de datos para el almacenamiento de datos de series temporales, datos espaciales, datos relacionales (configuración, usuarios, logs), y metadatos.
- **Capa de Servicios/API Interna:** Expone funcionalidades y datos de manera controlada a la capa de presentación y potencialmente a sistemas externos autorizados.
- **Capa de Presentación:** Interfaz de usuario web para la monitorización, visualización, configuración y gestión del sistema.
- **Capa de Difusión de Alertas:** Gestiona el envío de notificaciones a través de los diferentes canales configurados.

El contratista deberá proponer una arquitectura (Híbrida) con un componente cloud (IaaS/PaaS) por su flexibilidad, escalabilidad y potencial reducción de la carga de mantenimiento de infraestructura, siempre que se garantice el cumplimiento de los requisitos de seguridad (ENS) y la localización de los datos dentro de la Unión Europea.

El plazo máximo para la ejecución del contrato será de un máximo de cinco meses y en cualquier caso debe de finalizar antes del 31/12/2025. Durante este tiempo, se requiere una planificación y ejecución eficiente para cumplir con los objetivos establecidos. La duración mínima de los servicios SaaS será de **24 meses** a partir de la ampliación de la plataforma ClimAlert.

3.7. Requisitos Funcionales Detallados

3.7.1. *Módulo de Monitorización y Visualización*

- **Cuadros de Mando:**
 - El sistema proporcionará cuadros de mando configurables por el usuario para la visualización sintética del estado general del sistema y de la

situación hidrometeorológica.

- Deberán incluir widgets para mostrar valores numéricos en tiempo real (ej. última precipitación registrada), indicadores de estado (ej. nivel de alerta por zona), gráficos de evolución temporal resumidos, mapas de situación general, y listas de alertas activas.
- Los usuarios autorizados podrán crear, modificar y guardar sus propios cuadros de mando personalizados, seleccionando las variables, zonas y tipos de visualización deseados.

- **Visualización GIS:**

- El sistema contará con una interfaz de mapa interactiva como componente central de visualización.
- Permitirá la superposición y gestión de múltiples capas de información geográfica, incluyendo:
 - Cartografía base (ej. topográfica, ortofotos, callejero), configurable por el usuario (preferiblemente servicios WMS/WMTS estándar).
 - Ubicación georreferenciada de los puntos de control de las redes integradas (AEMET, SAIH, SIAM), con simbología indicativa del estado o valor medido en tiempo real.
 - Capas de resultados de modelos (ej. mapas de extensión de inundación prevista, mapas de índices de riesgo).
 - Imágenes de satélite Sentinel-2 procesadas y productos derivados (NDVI, NDWI).
 - Zonas administrativas (municipios, comarcas) y zonas de aviso predefinidas (ej. zonas Meteoalerta AEMET, zonas de riesgo de inundación).
 - Alertas activas geolocalizadas, con simbología clara indicando tipo y nivel de riesgo.
- Funcionalidades interactivas sobre el mapa: zoom, desplazamiento (pan), selección de capas (leyenda interactiva), consulta de información de los elementos geográficos (Identify), medición de distancias y áreas, búsqueda de localizaciones.
- Actualización dinámica de los datos de sensores y alertas sobre el mapa en tiempo real o cuasi-real.

- **Gráficos Temporales:**

- El sistema permitirá generar gráficos interactivos para visualizar la evolución temporal de cualquier variable medida o pronosticada (ej. hidrogramas, pluviogramas, evolución de temperatura).

- Funcionalidades requeridas: selección de una o múltiples variables/sensores/puntos para comparar, selección interactiva del rango temporal (zoom y desplazamiento), visualización de valores al pasar el cursor, posibilidad de superponer umbrales de alerta, exportación de los datos del gráfico a formatos estándar (ej. CSV) y de la imagen del gráfico (ej. PNG).

3.7.2. Módulo de Procesamiento y Modelización

- **Capacidad de Modelización:**

- **Integración con Modelos Externos:** El sistema deberá disponer de mecanismos (interfaces API, intercambio de ficheros en formatos estándar) para poder integrar resultados (pronósticos, mapas) provenientes de modelos hidrológicos, hidráulicos o meteorológicos que se ejecuten externamente a la plataforma (ej. modelos gestionados por CHS, AEMET, u otros centros de investigación).
- **Ejecución de Modelos Internos (Opcional):** Se valorará la capacidad del sistema para ejecutar internamente modelos básicos preconfigurados (ej. modelos sencillos de transformación lluvia-escorrentía, modelos de propagación de crecidas simplificados) para zonas específicas donde no se disponga de modelos externos. Si se incluye esta capacidad, se deberán detallar los modelos propuestos, sus requisitos de datos de entrada, parámetros de calibración y formatos de salida. Modelos como LISFLOOD pueden servir de referencia conceptual para modelos más complejos, aunque aquí se buscarían soluciones más sencillas y rápidas de ejecutar si se integran internamente.

- **Cálculo de Índices de Riesgo:**

- El sistema permitirá a los administradores definir índices de riesgo configurables.
- Estos índices podrán combinar múltiples variables en tiempo real y/o pronosticadas (ej. precipitación acumulada + intensidad + nivel de humedad del suelo; nivel de río + caudal previsto).
- Los índices calculados podrán ser visualizados en mapas y cuadros de mando, y utilizados para la definición de umbrales de alerta.

- **Procesamiento de Datos Satelitales:**

- El sistema realizará de forma automatizada los cálculos de productos derivados de Sentinel-2 especificados en apartado 3.5.4 del presente pliego (NDVI, NDWI).
- Los resultados se almacenarán georreferenciados y estarán disponibles para su visualización en el módulo GIS y su posible uso en otros análisis o

modelos.

3.7.3. Módulo de Alertas Tempranas

Este módulo es fundamental para la operatividad del sistema y deberá cumplir los siguientes requisitos:

- **Definición y Gestión de Umbrales:**

- La plataforma permitirá a usuarios administradores definir y gestionar múltiples umbrales de alerta.
- Los umbrales podrán definirse por:
 - **Variable:** Nivel de río (m), caudal (m³/s), precipitación acumulada (mm en 1, 3, 6, 12 y 24 horas), intensidad de lluvia (mm/h), velocidad del viento (km/h), temperatura (°C), índices de riesgo calculados, etc.
 - **Localización:** Aplicables a puntos específicos (sensores, estaciones), tramos de río, áreas geográficas predefinidas (municipios, zonas de aviso, cuencas), o a todo el territorio regional.
 - **Nivel de Severidad:** Se podrán definir múltiples niveles de alerta por variable/localización (ej. Prealerta, Alerta Amarilla, Alerta Naranja, Alerta Roja), asociados a diferentes acciones y protocolos de difusión.
 - **Condiciones:** Los umbrales podrán ser simples (ej. nivel > X metros). Se valorará la capacidad de definir umbrales dinámicos (ej. dependientes de la época del año o de condiciones antecedentes de humedad).

- **Generación de Alertas:**

- **Automática:** El sistema monitorizará continuamente los datos en tiempo real y los resultados de las predicciones/modelos, generando alertas automáticamente cuando se superen los umbrales definidos.
- **Manual:** Los operadores autorizados tendrán la capacidad de generar alertas manualmente, seleccionando el tipo de riesgo, nivel, zona afectada, periodo de validez y redactando un mensaje descriptivo. Esto es crucial para situaciones no detectadas automáticamente o para añadir criterio experto.

- **Sistema de Difusión Multicanal:**

- El sistema deberá permitir configurar y gestionar la difusión de las alertas generadas (automáticas y manuales) a través de múltiples canales:
 - **SMS:** Integración con un proveedor de servicios SMS (gateway)

para el envío masivo de mensajes cortos a listas de distribución configurables. El adjudicatario propondrá una solución técnica para esta integración.

- **Correo Electrónico:** Envío de notificaciones por correo electrónico a direcciones individuales o listas de distribución, con formato configurable (texto plano, HTML).
 - **Interfaz Web:** Las alertas activas se mostrarán de forma prominente y clara en la interfaz de usuario del sistema (mapa, cuadros de mando, panel de alertas).
 - **API / Web Service:** El sistema expondrá una API (preferiblemente REST/JSON o utilizando el estándar CAP sobre HTTP) que permita a sistemas externos autorizados (ej. plataforma 1-1-2 Región de Murcia, sistemas municipales de emergencia) suscribirse o consultar las alertas activas en tiempo real. El adjudicatario definirá y documentará esta API antes del 15 de diciembre de 2025.
- **Gestión y Seguimiento de Alertas:**
 - El sistema registrará todas las alertas generadas (automáticas y manuales), incluyendo tipo, nivel, zona, hora de inicio, hora de fin prevista, y contenido del mensaje.
 - Permitirá a los operadores realizar un seguimiento del estado de cada alerta (ej. Activa, Reconocida, Finalizada, Cancelada).
 - Se mantendrá un histórico consultable de todas las alertas emitidas.

Un Sistema de Alerta Temprana eficaz no se limita a la detección de umbrales; su valor reside en la capacidad de comunicar la advertencia de forma clara, oportuna y fiable a quienes deben tomar decisiones o actuar. El sistema de notificaciones a desarrollar debe permitir que los usuarios se puedan suscribir a notificaciones (alertas) de forma individual según sus preferencias. En el momento que se genere una alerta el sistema enviará una notificación por correo electrónico o SMS a los usuarios que correspondan según su configuración individual. Las notificaciones se podrán configurar individualmente para cada usuario por tipología de datos, nivel de alerta a partir del cual recibirlas, frecuencias de reenvío (recordatorios periódicos si el nivel de alerta se mantiene), etc. Los canales de notificación por correo electrónico y SMS son independientes, de forma que, si se desea, se pueden configurar notificaciones distintas en cada canal. Las alertas también son visibles en el visor de Argos de forma destacada, de forma que si hay alertas vigentes estas se verán de forma destacada identificando los elementos afectados.

3.7.4. Módulo de Gestión de Emergencias y de elaboración de informes

- **Registro de Eventos:** El sistema facilitará el registro y catalogación de los eventos

hidrometeorológicos significativos que ocurran en la Región, vinculándolos con las alertas generadas y los datos observados/pronosticados asociados.

- **Seguimiento de Actuaciones:** Se proporcionará una funcionalidad simple (ej. un log o bitácora asociada a cada evento/alerta) donde los operadores puedan registrar de forma manual las principales actuaciones realizadas por el Órgano Gestor en respuesta a una alerta o evento (ej. activación de planes, comunicación a municipios, movilización de recursos).
- **Generación de Informes:**
 - **Informes Automáticos:** El sistema generará automáticamente informes predefinidos con periodicidad configurable (ej. informe diario de estado hidrometeorológico, resumen semanal de alertas, informe mensual de sequía).
 - **Informes históricos por episodios:** Los usuarios autorizados podrán generar informes personalizados, seleccionando variables, periodos de tiempo, áreas geográficas, y formatos de salida. Para facilitar la exploración histórica, la plataforma permitirá definir episodios (que podrán ser distintos para cada cuenta, es decir, por ejemplo, cada organismo de cuenca podrá definir sus episodios significativos). En la definición de los episodios se podrá incluir información como: Inicio y fin del episodio, siendo esta información enlaces directos a los momentos temporales en el visor histórico. Momentos clave del episodio: Descripción y enlace temporal. Archivos adjuntos: Notas de prensa, noticias, imágenes, etc.
 - **Formatos de Exportación:** Los informes deberán poder exportarse como mínimo en formato PDF para documentación y en formatos de datos tabulares (CSV) para facilitar análisis posteriores.

3.8. Suministro, Instalación y Configuración de Equipamiento Hardware

El contratista será responsable de la instalación física, configuración inicial y puesta en marcha de todo el equipamiento necesario para el correcto funcionamiento del sistema descrito en este pliego, de acuerdo con la arquitectura propuesta y aceptada.

3.9. Requisitos de Seguridad

La seguridad es un pilar fundamental de este sistema, dada la criticidad de la información manejada y su potencial rol en la gestión de emergencias. El contratista deberá implementar una solución que cumpla rigurosamente con los siguientes requisitos:

3.9.1. Cumplimiento del Esquema Nacional de Seguridad (ENS)

- **Normativa Aplicable:** El sistema deberá informar sobre el cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 311/2022, de 3 de mayo, por el que se regula el Esquema Nacional de Seguridad.
- **Política de Seguridad:** El contratista elaborará y entregará una Política de Seguridad específica para el sistema con las recomendaciones del ENS en un plazo de 1 mes a partir de la formalización del contrato.
- **Autenticación Segura:** Se implementará una política de contraseñas robusta, exigiendo complejidad mínima, longitud adecuada, historial y caducidad periódica.

La seguridad de la información es un requisito importante, por ello la plataforma y todos los procesos asociados deberán cumplir con la normativa vigente y las mejores prácticas, debiendo disponer de certificados en categoría MEDIA del Esquema Nacional de Seguridad.

Asimismo, los licitadores deberán aportar en el **sobre nº1** de la oferta el certificado de conformidad de los servicios a categoría ENS MEDIA o el compromiso de obtener el certificado de conformidad con el Esquema Nacional de Seguridad en categoría MEDIA en un plazo máximo de **un (1) mes** desde el inicio del contrato.

3.10. Plan de Trabajo y Pruebas de Aceptación

3.10.1. Plazo Máximo de Ejecución

El plazo máximo para la completa ejecución del contrato, incluyendo el suministro, instalación, configuración, pruebas, formación, entrega de documentación y puesta en marcha del sistema hasta su recepción definitiva por la Administración, será **hasta el 31/12/2025**, contados a partir del día siguiente a la fecha de formalización del contrato. Dada la criticidad del sistema y la urgencia de su puesta en marcha, no se contemplan ampliaciones de plazo salvo causas de fuerzas mayores debidamente justificadas y aceptadas por el Órgano de Contratación.

3.10.2. Fases del contrato

El contratista deberá presentar un Plan de Trabajo detallado, en el plazo de una (1) semana desde la formalización del contrato, que contemple, como mínimo, las siguientes fases principales:

- **Fase 1: Análisis y Diseño Detallado**
 - Reunión de lanzamiento.

- Validación y refinamiento detallado de todos los requisitos funcionales y no funcionales.
- Confirmación final de los protocolos y mecanismos de integración para cada fuente de datos (AEMET, SAIH Segura, SIAM, Sentinel, EFAS).
- Informe detallado de la arquitectura técnica propuesta (hardware, software, red, seguridad).
- Informe detallado interfaz de usuario.
- Informe detallado del modelo de datos (temporal, espacial, relacional).
- **Entregable:** Informe de diseño Detallado (DDD), Plan de Pruebas.
- **Hito:** Aprobación del DDD y Plan de Pruebas por el Órgano Gestor.
- **Fase 2: Desarrollo / Configuración e Integración Inicial**
 - Desarrollo de módulos software específicos o configuración de la plataforma base.
 - Desarrollo de los conectores e interfaces para la integración de las fuentes de datos.
 - Configuración inicial de bases de datos.
 - Implementación de la interfaz de usuario.
 - Pruebas unitarias continuas.
 - Integración inicial de módulos y componentes.
 - **Entregable:** Informes del desarrollo nuevas funcionalidades.
- **Fase 3: Instalación Software Base si fuese necesario**
 - Configuración del hardware (servidores) en la ubicación designada por el Órgano Gestor.
 - Instalación y configuración de sistemas operativos, software de virtualización, bases de datos, y software de plataforma base (GIS, etc.).
 - Configuración de red y seguridad básica.
 - **Entregable:** Informe de Instalación de Hardware y Software Base.
 - **Hito:** Hardware y software base instalados y operativos.
- **Fase 4: Integración Final y Pruebas Internas**
 - Despliegue de la aplicación completa en el entorno de producción.
 - Integración final de todas las fuentes de datos.
 - Ejecución de las Pruebas de Integración.
 - Ejecución de las Pruebas de Rendimiento y Carga.

- Ejecución de las Pruebas de Seguridad (vulnerabilidades, configuración ENS).
- Ejecución interna de las Pruebas Funcionales según el Plan de Pruebas.
- Resolución de defectos detectados.
- **Entregable:** Informes de Ejecución de Pruebas Internas (Integración, Rendimiento, Seguridad, Funcionales).
- **Hito:** Sistema integrado y superación de pruebas internas.
- **Fase 5: Pruebas de Aceptación y Puesta en Marcha**
 - Ejecución de las Pruebas de Aceptación de Usuario (por parte del personal designado por las CARM).
 - Resolución de incidencias por parte del adjudicatario.
 - Periodo de monitorización inicial en producción con soporte intensivo del adjudicatario.
 - **Entregable:** Informe de Resolución de Incidencias.
 - **Hito:** Puesta en Marcha en Producción.
- **Fase 6: Formación y Entrega Documentación Final**
 - Impartición de las sesiones de formación a los diferentes perfiles de usuario según el Plan de Formación.
 - Entrega de toda la documentación final requerida en el apartado 3.10.2 del presente documento.
 - **Entregable:** Materiales de Formación, Certificados de Asistencia (si aplica), Documentación Técnica Completa del Sistema.
 - **Hito:** Formación impartida y documentación entregada.

3.10.3. Hitos Clave y Entregables Obligatorios

El contratista deberá cumplir con los hitos y entregar la documentación obligatoria asociada a cada fase, según el Plan de Trabajo de su oferta. El Órgano Gestor de la CARM realizará el seguimiento del proyecto basado en estos hitos y entregables

3.11. Formación, Documentación, Garantía y Soporte

3.11.1. Plan de Formación

El adjudicatario elaborará e impartirá un plan de formación (On Line) de **10 horas** como mínimo, en idioma español, adaptado a los diferentes perfiles de usuario del sistema. El plan detallará objetivos, contenidos, metodología (teórico-práctica), duración, materiales y calendario. Se definirán cursos específicos para:

- **Operadores del Sistema:** Enfocado en el uso diario de la plataforma: monitorización de datos y alertas, interpretación de mapas y gráficos, generación manual de alertas (si aplica), consulta de informes, procedimientos básicos de operación.
- **Administradores del Sistema:** Enfocado en la gestión y mantenimiento de la plataforma: configuración general, gestión de usuarios y roles, configuración de umbrales y reglas de alerta, monitorización del sistema (rendimiento, logs, seguridad), gestión de backups y restauración, procedimientos de actualización, resolución de problemas comunes.

3.11.2. Documentación técnica requerida

El contratista entregará la siguiente documentación completa, en formato digital editable y PDF, en idioma español, como condición para la recepción final del sistema:

- **Manual de Usuario:** Dirigido a los operadores, describiendo detalladamente el uso de todas las funcionalidades de la interfaz de usuario.
- **Manual de Administración y Explotación:** Dirigido a administradores y técnicos, cubriendo la instalación, configuración avanzada, gestión de la seguridad, mantenimiento, monitorización y procedimientos operativos.
- **Documento de Arquitectura Detallada:** Descripción completa de la arquitectura hardware y software implementado, incluyendo diagramas, componentes, flujos de datos e interconexiones.
- **Descripción de Modelos de Datos:** Esquemas lógicos y físicos de las bases de datos implementadas (temporal, espacial/relacional), descripción de tablas, campos y relaciones.
- **Procedimientos de Operación y Mantenimiento:** Guías paso a paso para tareas rutinarias y de mantenimiento preventivo/correctivo.

3.11.3. Garantía Mínima

La garantía técnica del software, por los periodos mínimos indicados a continuación, contados a partir de la fecha del Acta de Recepción Provisional serán:

- **Garantía Software:** Mínimo de **un (2) años** para todo el software desarrollado a medida o configurado específicamente para este proyecto. Esta garantía cubrirá la corrección de errores (bugs), defectos de funcionamiento respecto a lo especificado en este PCT, y la entrega de parches y actualizaciones menores necesarias para mantener la operatividad y seguridad del sistema. Se establecerán tiempos máximos de respuesta y resolución en función de la severidad del defecto (crítico, alto, medio, bajo), que se definirán en el Plan de Mantenimiento acordado con Fundación Integra.

3.11.4. Soporte Técnico Post-Implantación

Durante el periodo de **garantía del software (mínimo 2 años)**, el contratista proporcionará un servicio de soporte técnico y mantenimiento correctivo y adaptativo, que incluirá como mínimo:

- **Servicio de Atención a Usuarios:** Un punto de contacto (teléfono, correo electrónico, portal web) para que los usuarios autorizados del Órgano Gestor definido por la CARM puedan reportar incidencias y realizar consultas sobre el funcionamiento del sistema. Se definirán horarios de atención (mínimo horario laborable) y procedimientos de registro y seguimiento de incidencias.

4. Lote 3: Ampliación de la plataforma IoT del IMIDA para la creación de “living labs” demostrativos para el sector agrícola en las parcelas experimentales del IMIDA.

El objeto de este lote es la sensorización avanzada en parcelas experimentales con el objetivo de demostrar cómo la digitalización puede mejorar la gestión de recursos hídricos y el rendimiento de los cultivos. El lote incluye el suministro de equipos y mejora del sistema de sensorización en parcelas experimentales (Chaparral en Bullas, Torreblanca en Torre Pacheco y la Estación sericícola en La Alberca) principalmente, incluye la ampliación de los sensores avanzados en las tres (3) parcelas experimentales, mejora del control con FIWARE de un cabezal de riego, medición en continuo de nutrientes, contadores inteligentes y mejora de las comunicaciones para los sensores IoT mediante el uso de Lora WAN en la fincas experimentales del Chaparral y Torreblanca) y la integración de sensores piezómetros para estudiar las entradas de agua del acuífero cuaternario al Mar Menor. Desarrollo de un API y un servicio OpenData para el acceso a los datos climáticos de la red de estaciones de la CARM usando la plataforma IoT basada en FIWARE del IMIDA para las empresas y explotaciones agrarias de la región de Murcia.

El Pliego de Cláusulas Técnicas para el suministro, instalación y puesta en marcha de un “Living Lab” agrario en las parcelas experimentales del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA) responde a los retos actuales del cambio climático, la escasez de recursos hídricos y la necesidad de optimizar las prácticas agrícolas. En este contexto, resulta estratégico establecer infraestructuras experimentales avanzadas que permitan investigar y validar tecnologías y metodologías innovadoras para una gestión eficiente del agua y una monitorización precisa de los cultivos, adaptadas a las condiciones específicas de la Región de Murcia. Así surge la necesidad de implantar un laboratorio vivo de carácter agrario, concebido no solo como una red de sensores, sino como un ecosistema de innovación abierta en un entorno real. Este enfoque promueve la experimentación colaborativa, involucrando a investigadores, técnicos, agricultores y otros agentes clave, con el objetivo de acelerar la adopción de prácticas más sostenibles, eficaces y ajustadas a la realidad del territorio.

4.1. Objeto del contrato

4.1.1. *Definición General:*

- El objeto del presente contrato es el suministro, instalación física, configuración lógica, integración completa, pruebas exhaustivas, puesta en marcha operativa y mantenimiento durante el periodo de garantía de un sistema tecnológico integral que constituirá la infraestructura base para un "Living Lab" agrario. Este sistema estará específicamente diseñado y destinado a la monitorización avanzada y continua de parámetros agroclimáticos clave y de las condiciones edáficas (humedad, temperatura y salinidad del suelo a distintas profundidades) con el fin de optimizar la gestión del agua de riego y realizar un seguimiento detallado del estado fenológico y productivo de tres (3) cultivos leñosos de alta relevancia económica en la Región de Murcia: cítricos (limonero), viñedo y melocotonero. El sistema se implementará en tres parcelas experimentales designadas por el IMIDA, representativas de estos cultivos.
- La conceptualización como "Living Lab" implica que la infraestructura tecnológica suministrada debe ser robusta, fiable y accesible, diseñada para operar en condiciones reales de campo y facilitar la investigación aplicada y la experimentación sistémica. Debe permitir la recopilación de datos de alta calidad para la investigación científica, pero también estar preparada para servir como plataforma de demostración y diseño de soluciones innovadoras en colaboración con distintos agentes y empresas del sector agrario.

4.1.2. *Componentes Tecnológicos Clave:*

El sistema objeto de este contrato deberá integrar, como mínimo y de forma obligatoria, los siguientes componentes tecnológicos principales, cuyas especificaciones se detallan en secciones posteriores de este pliego:

- Integración de los datos de la red de cincuenta y cinco (55) estaciones meteorológicas completas de la marca Campbell Scientific del IMIDA.
- Dos (2) estaciones meteorológicas completas de la marca Campbell Scientific, equipadas con los sensores necesarios y la capacidad de programación en el datalogger para calcular el Ratio de Bowen como método de estimación de la evapotranspiración.
- Un conjunto de sensores multiparamétricos de perfil de suelo del modelo Sentek TriSCAN, que midan humedad, temperatura y salinidad a diferentes profundidades, integrados con las estaciones meteorológicas.
- Una red de comunicación inalámbrica basada en el protocolo LoRaWAN para las dos parcelas experimentales con problemas de cobertura de redes telefónicas, incluyendo nodos finales conectados a los dataloggers, gateways y un servidor de red (LNS), para la transmisión eficiente y de bajo consumo de los datos

recopilados en campo.

- Una plataforma software de gestión de datos IoT basada en la arquitectura y componentes de FIWARE, desplegada en la infraestructura designada por IMIDA, para la recepción, almacenamiento persistente, gestión contextualizada (NGSI) y facilitación del acceso y visualización de toda la información generada por el sistema.
- Sistema de protección y de garantía de suministro eléctrico en la parcela experimental de La Alberca donde se encuentra el nodo de comunicaciones de la red CTnet y la DMZ del IMIDA.

4.1.3. Finalidad Específica:

La implementación de este Living Lab persigue dotar a los equipos de investigación del IMIDA de una herramienta avanzada y fiable para la obtención de datos continuos, precisos y de alta resolución temporal y espacial sobre las interacciones clave en el continuo suelo-planta-atmósfera. Específicamente, el sistema permitirá:

- Monitorizar con precisión las variables meteorológicas que determinan la demanda atmosférica (radiación, temperatura, humedad, viento).
- Estimar la evapotranspiración real (ET) de los cultivos mediante el método del Ratio de Bowen, un método robusto basado en el balance de energía. Realizar un seguimiento detallado del contenido de agua, la temperatura y la salinidad en el perfil del suelo dentro de la zona radicular activa de los cultivos, utilizando las sondas Sentek TriSCAN.
- Integrar toda esta información en una plataforma estándar (FIWARE) que facilite su gestión, análisis y explotación para la investigación aplicada en áreas como:
 - Riego de precisión y optimización del uso del agua.
 - Estudio del estrés hídrico y sus efectos en los cultivos.
 - Modelización fenológica y predicción de cosechas.
 - Evaluación de estrategias de adaptación al cambio climático.

4.2. Alcance del objeto del contrato

El contrato abarca todas las fases necesarias para la entrega del sistema, incluyendo suministro, instalación, configuración, integración, pruebas y formación. Se requiere que la empresa adjudicataria realice un mantenimiento durante el periodo de garantía.

4.2.1. Suministro: Equipamiento de comunicaciones, IoT, seguridad y protección.

Entrega en las instalaciones designadas por el IMIDA de la totalidad del equipamiento hardware (estaciones meteorológicas completas, dataloggers, todos los sensores

especificados, sondas de suelo, nodos de comunicación LoRaWAN, gateways LoRaWAN, antenas, cableado estructurado y de conexión, mástiles, soportes, anclajes, cajas de protección, sistemas de alimentación autónoma -paneles solares, baterías, reguladores-, Sistema de alimentación Ininterrumpida y grupo electrógeno para el nodo CTnet en La Alberca, de etc.) y software (licencias de sistemas operativos, firmware, software de configuración, licencias de plataforma si aplicasen -aunque se priorizan soluciones open source como FIWARE.) necesarios para la completa implementación del sistema descrito en este pliego. Todos los equipos serán nuevos y cumplirán las especificaciones técnicas detalladas.

4.2.2. Instalación:

Montaje físico completo y conexionado de todos los componentes hardware en las tres parcelas experimentales designadas por el IMIDA (una por cada tipo de cultivo: cítricos, viñedo, melocotonero). Esto incluye la ejecución de cimentaciones o bases para los mástiles de las estaciones meteorológicas, el montaje de los mástiles y estructuras de soporte, la instalación de los sensores meteorológicos en las alturas y orientaciones correctas, la instalación cuidadosa de las sondas de suelo Sentek TriSCAN mediante el método Drill & Drop para minimizar la perturbación del perfil, la instalación de los nodos LoRaWAN y su conexión a los dataloggers, la instalación de los gateways LoRaWAN en las ubicaciones óptimas determinadas por el estudio de cobertura, el tendido y protección del cableado necesario, y el montaje de las cajas de protección para la electrónica. Se deberá prestar especial atención a minimizar el impacto sobre los cultivos y el suelo durante la instalación.

4.2.3. Configuración:

Parametrización lógica y puesta a punto de todos los elementos hardware y software del sistema. Implementación de kits de comunicación y sistemas de alimentación mediante PoE o paneles solares según disponibilidad de red eléctrica

4.2.4. Integración:

Aseguramiento de la interoperabilidad y el flujo de datos correcto y continuo a través de toda la cadena tecnológica del sistema. Esto implica verificar y garantizar la comunicación fluida y la correcta interpretación de los datos en cada interfaz.

4.2.5. Pruebas y Puesta en Marcha:

Realización de un protocolo exhaustivo de pruebas para verificar el correcto funcionamiento de cada componente de forma individual (pruebas unitarias) y del sistema en su conjunto (pruebas de integración). Se incluirán, como mínimo:

- Verificación de la correcta lectura y calibración de todos los sensores.
- Verificación de la correcta ejecución de cálculos en el datalogger (Ratio Bowen).

- Pruebas de comunicación entre datalogger y sondas Sentek.
- Pruebas de comunicación entre datalogger y nodo LoRaWAN.
- Pruebas de cobertura y calidad de la señal LoRaWAN en las tres parcelas.
- Verificación de la transmisión de datos a través de la red LoRaWAN hasta el LNS.
- Verificación de la publicación de datos en el broker MQTT por el LNS.
- Verificación de la recepción y correcta decodificación/traducción de datos por el FIWARE IoT Agent.
- Verificación de la correcta creación/actualización de entidades y atributos en el FIWARE Context Broker según los modelos de datos definidos.
- Pruebas de persistencia de datos (actuales y, si aplica, históricos).
- Pruebas de acceso a los datos a través de las APIs correspondientes. La culminación exitosa de estas pruebas dará lugar a la firma del Acta de Recepción Provisional. Se establecerá un periodo de pruebas en operación real (e.g., 1 mes) antes de la Recepción Definitiva.

4.2.6. Formación:

- Impartición de acciones formativas dirigidas al personal técnico e investigador designado por el IMIDA. La formación cubrirá, como mínimo, la operación básica del sistema en campo (estaciones, sensores), el manejo de la interfaz de usuario de la plataforma FIWARE para la consulta y visualización de datos, las tareas de mantenimiento preventivo de primer nivel, y el procedimiento para la gestión de incidencias. Se detallan los requisitos en el apartado 4.10 del presente pliego.

4.2.7. Documentación:

Entrega de la documentación técnica completa y detallada del sistema instalado, en formato físico y digital editable. Se incluirán, como mínimo, planos, manuales de todos los equipos y software, documentación de configuración, modelos de datos, certificados de calibración y diagramas de arquitectura. Se detallan los requisitos en el apartado 4.10 de este documento

4.2.8. Mantenimiento y Soporte Técnico:

Prestación de servicios de mantenimiento preventivo y correctivo durante el periodo de garantía establecido en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares, con los niveles de servicio (SLA) que se definan. Se detallan los requisitos en el apartado 4.9 del presente documento.

4.3. Descripción de las parcelas experimentales (IMIDA)

4.3.1. Ubicación General:

Las tres parcelas experimentales objeto de la instalación se localizan en fincas propiedad del IMIDA o gestionadas por éste, situadas en distintas ubicaciones dentro de la Región de Murcia. La selección final de la parcela exacta para cada cultivo será indicada por el IMIDA antes del inicio de los trabajos. La empresa adjudicataria deberá coordinar estrechamente con el personal técnico del IMIDA todas las visitas, accesos y trabajos a realizar en dichas fincas, respetando en todo momento las actividades de investigación en curso y las normas internas de funcionamiento. Es fundamental que los métodos de instalación minimicen la alteración del suelo y del entorno experimental más allá de lo estrictamente necesario para el montaje de los equipos. La naturaleza de estas parcelas como sitios de investigación activa requiere una planificación cuidadosa para no comprometer otros ensayos o la integridad del sitio experimental.

4.3.2. Parcela 1: Cítricos

- **Ubicación:** Finca Experimental de La Alberca (Término Municipal de Murcia) o localización alternativa designada por IMIDA. Esta finca alberga colecciones de variedades de limonero del IMIDA.
- **Características Estimadas:** Se espera encontrar suelos de textura franca o franco-arenosa, adecuados para cítricos. La topografía suele ser llana en esta zona. El marco de plantación, sistema de riego (goteo), y variedades específicas (e.g., 'Fino') serán confirmados por IMIDA. Se definirá un área específica dentro de una parcela existente para la instrumentación (tamaño aproximado a determinar, e.g., 0.1-0.5 ha).

4.3.3. Parcela 2: Viñedo

- **Ubicación:** Finca Experimental Hacienda Nueva (Término Municipal de Cehegín) o localización alternativa designada por IMIDA. Cehegín cuenta con un Centro de Ensayos de Evaluación de Variedades de Vid del IMIDA.
- **Características Estimadas:** Los suelos y la topografía pueden variar en esta zona. El sistema de conducción (espaldera, marco de plantación, sistema de riego (goteo) y variedades cultivadas serán especificados por IMIDA. Se definirá un área específica para la instrumentación (tamaño aproximado a determinar, e.g., 0.1-0.5 ha)

4.3.4. Parcela 3 y 4: Melocotonero

- **Ubicaciones:** Finca Experimental de Torreblanca.
- **Características Estimadas:** Características de suelo, topografía, marco de plantación, sistema de formación del árbol, sistema de riego y variedades serán

especificados por IMIDA. Se definirá un área específica para la instrumentación (tamaño aproximado a determinar, e.g., 0.1-0.5 ha).

4.4. Requerimientos técnicos: componentes hardware

Esta sección detalla las especificaciones técnicas mínimas obligatorias para los componentes hardware del sistema Living Lab.

4.4.1. Estaciones Meteorológicas Campbell Scientific utilizadas en la red del IMIDA con capacidad Ratio Bowen.

Se instalará dos (2) estación meteorológica completa por cada una de las tres parcelas experimentales (La Alberca y Torreblanca), ya que la parcela del chaparral ya dispone de una.

- **Funcionalidad Principal:**

Cada estación deberá estar equipada y configurada para medir de forma continua y registrar con alta precisión los parámetros atmosféricos y del suelo necesarios para calcular el Ratio de Bowen (β). El Ratio de Bowen, definido como la relación entre el flujo de calor sensible (H) y el flujo de calor latente (LE) ($\beta = H / LE$), permite estimar la evapotranspiración (ET) a partir de la ecuación del balance de energía en la superficie ($R_n - G = H + LE$).⁷ El datalogger de la estación deberá ser programable para realizar este cálculo de forma autónoma a intervalos regulares (e.g., cada 15 o 30 minutos) y almacenar tanto los datos brutos como los resultados calculados (H, LE, ET, β).⁶ La precisión en la medición de los gradientes de temperatura y humedad es crítica para la fiabilidad del método, especialmente cuando β se aproxima a -1.27

- **Sensores Mínimos Requeridos por Estación:**

Cada estación deberá incluir, como mínimo, los siguientes sensores de grado profesional o de investigación:

- **Radiómetro Neto (R_n):** Sensor de cuatro componentes para medir la radiación neta (diferencia entre radiación global entrante y reflejada, y entre radiación atmosférica descendente y terrestre emitida). Debe cubrir tanto la onda corta como la onda larga. Ejemplos de modelos adecuados incluyen Kipp & Zonen NR Lite, Hukseflux NR01, o modelos equivalentes ofrecidos por Campbell Scientific.
- **Placas de Flujo de Calor del Suelo (G):** Mínimo de dos (2) unidades por estación, instaladas a una profundidad estándar (e.g., 5-8 cm) y enterradas cuidadosamente para asegurar buen contacto térmico con el suelo. Se utilizará el promedio de las lecturas para obtener un valor representativo del flujo de calor en el suelo. Modelo requerido: Campbell Scientific HFP01, HFP01SC o equivalente de Hukseflux con precisión similar. La calibración individual de cada placa es necesaria.

- **Sensores de Temperatura y Humedad del Aire (T, e):** Se requieren mediciones de alta precisión de la temperatura del aire y la presión de vapor (o humedad relativa convertible a presión de vapor) a dos alturas distintas sobre la superficie del cultivo (e.g., 1 metro y 2 metros por encima de la altura media del dosel vegetal, con posibilidad de ajuste). La precisión en la medición de las diferencias (gradientes) ΔT y Δe entre las dos alturas es fundamental para el cálculo del Ratio de Bowen.

Sensores de Temperatura y Humedad Relativa (T/RH) de Alta Precisión:

Pares de sensores T/RH de alta gama (e.g., Campbell Scientific HMP155E, CS215 o equivalentes) alojados en protectores de radiación solar de aspiración forzada o pasiva eficiente para minimizar errores por calentamiento solar. Se deben especificar las precisiones alcanzables para los gradientes ΔT y Δe .

- **Sensor de Temperatura del Suelo:** Al menos un sensor de temperatura del suelo (e.g., termopar tipo T encapsulado, termistor 107 o similar) instalado a la misma profundidad que las placas de flujo de calor (G) para permitir correcciones en el cálculo del almacenamiento de calor en la capa superficial del suelo.
 - **Sensor de Velocidad y Dirección del Viento (Opcional pero Recomendado):** Anemómetro (e.g., de cazoletas) y veleta para medir velocidad y dirección del viento. Aunque no son estrictamente necesarios para el cálculo básico del Ratio de Bowen, proporcionan información contextual valiosa sobre las condiciones de turbulencia y transporte. Modelo robusto apto para uso agrícola.
 - **Pluviómetro:** Pluviómetro de balancín para registrar la cantidad e intensidad de la precipitación, dato fundamental para el balance hídrico.
- **Datalogger:**

El corazón de la estación será un datalogger programable de Campbell Scientific, seleccionado por su fiabilidad probada en entornos agrícolas exigentes, bajo consumo, flexibilidad y capacidad de procesamiento.

- **Modelo Mínimo:** Se requiere un modelo con capacidad suficiente para gestionar todos los sensores descritos, realizar los cálculos del Ratio de Bowen, gestionar la comunicación SDI-12 con múltiples sondas Sentek, y comunicarse con el nodo LoRaWAN externo. Modelos adecuados incluyen el **Campbell Scientific CR1000X**. La robustez de estos dataloggers y su capacidad para operar en amplios rangos de temperatura son esenciales para el despliegue en campo en la Región de Murcia.
- **Capacidad de Almacenamiento:** Memoria interna no volátil suficiente para almacenar datos crudos de sensores (e.g., cada minuto) y datos procesados (e.g., promedios de 15-30 minutos, valores calculados de H, LE, ET, β)

durante un periodo mínimo de un (1) mes, como respaldo ante posibles fallos de comunicación.

- **Interfaz SDI-12:** El datalogger debe disponer de puertos configurables como SDI-12 (Serial Data Interface at 1200 baud) y ser capaz de actuar como master/recorder en el bus SDI-12. Debe poder gestionar la comunicación con múltiples sensores Sentek TriSCAN conectados al mismo bus, direccionándolos individualmente y ejecutando los comandos SDI-12 necesarios para la toma de medidas y recuperación de datos.
 - **Programabilidad:** El datalogger debe ser programable utilizando el lenguaje **CRBasic** de Campbell Scientific. El adjudicatario será responsable de desarrollar e implementar el programa que gestione la lectura de todos los sensores (analógicos, digitales, SDI-12), realice los cálculos intermedios y finales para obtener el Ratio de Bowen y los flujos de energía (H, LE) y la evapotranspiración (ET), promedie los datos en los intervalos requeridos (e.g., 15-30 min), almacene los datos y gestione la comunicación con el nodo LoRaWAN externo. Se debe considerar la lógica para manejar condiciones donde el cálculo de Bowen es inestable ($\beta \approx -1$).
 - **Puertos de Comunicación:** Además del puerto SDI-12, debe disponer de al menos un puerto de comunicación configurable (e.g., RS-232, RS-485) para la conexión física con el nodo LoRaWAN externo.
- **Sistema de Alimentación:**
- Cada estación meteorológica deberá ser completamente autónoma energéticamente. Se suministrará e instalará un sistema de alimentación basado en energía solar fotovoltaica, dimensionado específicamente para cubrir el consumo total de la estación (datalogger, todos los sensores, sistema de aspiración si aplica, y nodo LoRaWAN conectado) operando 24 horas al día, 7 días a la semana, en las condiciones de irradiación de la Región de Murcia. El sistema incluirá:
- Panel(es) solar(es) de potencia adecuada.
 - Regulador de carga solar (preferiblemente MPPT).
 - Batería(s) recargable(s) de ciclo profundo (e.g., AGM, Gel) con capacidad suficiente para garantizar una autonomía mínima de cinco (5) días consecutivos sin radiación solar (días nublados o de lluvia).
- **Estructura y Montaje:**
- Se suministrará e instalará una estructura robusta y estable para soportar todos los componentes de la estación meteorológica. Esto incluye:
- Mástil trípode o poste fijo de altura adecuada (e.g., 2-3 metros), fabricado en material resistente a la corrosión (acero galvanizado, aluminio).
 - Sistema de anclaje seguro al terreno (base de hormigón, piquetas, etc.).

- Brazos y soportes específicos para cada sensor, asegurando la correcta orientación y exposición (e.g., radiómetro neto nivelado y sin sombras, anemómetro/veleta a altura estándar, protectores de radiación para T/RH).
- Caja estanca (mínimo IP66) para alojar el datalogger, la batería, el regulador de carga y la electrónica de comunicaciones, protegiéndolos de la intemperie, polvo e insectos.
- Protecciones adicionales contra vandalismo (vallado perimetral simple, si IMIDA lo considera necesario y factible) y posibles daños por fauna o maquinaria agrícola (señalización). La instalación deberá seguir las buenas prácticas y recomendaciones para estaciones agrometeorológicas de la CARM.

○ **Interfaz de Comunicación Saliente:**

El datalogger deberá configurarse para enviar los datos procesados a través de uno de sus puertos de comunicación físicos (e.g., RS-232, RS-485). Este puerto se conectará físicamente al nodo LoRaWAN externo. El protocolo de comunicación entre el datalogger y el nodo LoRaWAN se detalla en apartado 4.6 del presente pliego.

4.4.2. Sensores de Suelo Sentek TriSCAN

Se instalará un conjunto de sondas de perfil de suelo en cada una de las tres parcelas experimentales, conectadas al datalogger de la estación meteorológica correspondiente.

○ **Modelo:**

Se requiere el modelo Sentek Drill & Drop TriSCAN. Este modelo se selecciona por su método de instalación que minimiza la perturbación del suelo, su robustez (totalmente encapsulado y enterrable) y su capacidad de medir los tres parámetros clave requeridos.

○ **Parámetros Medidos:**

Cada sensor a lo largo de la sonda TriSCAN deberá medir simultáneamente:

- Contenido Volumétrico de Agua en el Suelo (VWC - Volumetric Water Content).
- Temperatura del Suelo (T).
- Salinidad del Suelo, expresada como Contenido Iónico Volumétrico (VIC - Volumetric Ion Content) o un índice equivalente proporcionado por el sensor TriSCAN. La medición de la salinidad es un requisito obligatorio, dada su importancia para la gestión del riego y la salud de los cultivos en condiciones mediterráneas, donde la calidad del agua de riego y la acumulación de sales pueden ser factores limitantes. La combinación de

VWC, T y VIC en el mismo punto proporciona una visión integral de las condiciones de la rizosfera.

- **Longitudes y Profundidades:**

Para capturar adecuadamente la dinámica del agua y las sales en la zona radicular de los diferentes cultivos (cítricos, viñedo, melocotonero), que exploran distintas profundidades, y para evaluar la variabilidad espacial dentro de cada parcela, se instalarán múltiples sondas por parcela con diferentes longitudes. Las sondas Drill & Drop TriSCAN disponen de sensores cada 10 cm a lo largo de su longitud.

- **Longitudes Requeridas:** Se deberán suministrar e instalar sondas de, al menos 90 cm.
- **Número Mínimo por Parcela:** Se instalará un mínimo de una sonda por parcela experimental. La ubicación exacta de cada sonda dentro de la parcela se decidirá en consulta con el personal investigador del IMIDA para asegurar que sean representativas de las condiciones de manejo y suelo.

- **Especificaciones Técnicas Mínimas:**

Las sondas Sentek Drill & Drop TriSCAN suministradas deberán cumplir o superar las siguientes especificaciones técnicas:

- **Precisión Humedad (VWC):** ± 0.03 % vol (o mejor).
- **Resolución Humedad (VWC):** 1:10000 (o mejor).
- **Precisión Temperatura:** $\pm 2^{\circ}\text{C}$ a 25°C (o la especificada por el fabricante si es mejor).
- **Resolución Temperatura:** 0.3°C (o mejor).
- **Resolución Salinidad (VIC):** 1:6000 (o mejor).
- **Rango de Temperatura de Operación:** -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$
- **Método de Medición:** Basado en capacitancia / FDR (Frequency Domain Reflectometry) con la tecnología TriSCAN patentada por Sentek para discriminar entre agua y contenido iónico.

- **Comunicación:**

Las sondas deberán disponer obligatoriamente de una interfaz de comunicación SDI-12. Deberán ser totalmente compatibles con los dataloggers Campbell Scientific especificados (CR1000X), permitiendo la conexión de múltiples sondas en un mismo bus SDI-12 y respondiendo correctamente a los comandos estándar SDI-12 para direccionamiento, medición y recuperación de datos.

- **Instalación:**

La instalación se realizará siguiendo estrictamente el procedimiento "Drill & Drop" recomendado por Sentek. Se utilizará una barrena del diámetro adecuado

para crear un agujero ajustado a la forma cónica de la sonda, asegurando un contacto óptimo entre los sensores y el suelo circundante sin crear huecos ni utilizar lechadas. Este método es crucial para obtener mediciones representativas de las condiciones reales del suelo. Las sondas son completamente enterrables, lo que permite protegerlas de daños por maquinaria agrícola. La empresa adjudicataria deberá disponer de la herramienta de instalación adecuada y personal con experiencia en su uso.

4.4.3. Sensores agronómicos y cámara térmicas:

Se desplegarán diferentes sensores agronómicos y cámaras para la monitorización de los cultivos y la optimización del sistema de riego. Todo el sistema de monitorización incluirá los siguientes componentes y adaptaciones:

1. Sensores de suelo y ambientales:

- Humedad y temperatura del suelo mediante sondas volumétricas para determinar el estado hídrico de la planta y su consumo hídrico, así como la profundidad y estado del sistema radicular.
- Sensor de temperatura ambiental de alta precisión para determinación de la temperatura a ras del suelo.

2. Cámaras:

- Cámaras térmicas infrarrojas para monitoreo de temperatura foliar y detección de estrés térmico.

3. Datalogger con capacidad de comunicación LoraWan y envío de datos a plataforma.

4. Actualización de la tecnología de comunicación de los dispositivos datalogger existentes a LoraWan.

4.4.4. Monitorización y control del cabezal de riego:

Sensor de nitratos para calidad del agua de riego, con precisión de $\pm 0,5$ mg/L, permitiendo el monitoreo de la concentración de nutrientes y la optimización de la fertirrigación.

1. Sistema de monitorización IoT y control del cabezal de riego mediante contadores y electroválvulas.

4.4.5. Monitorización de centro de datos CTNET y control de accesos:

Se instalará la siguiente sensorica para garantizar el control de las condiciones ambientales:

1. Sensores:

- Sensores de precisión $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ y $\pm 2\%$ de temperatura y humedad relativa.

- Sensores de humo y calidad del aire en las salas técnicas.

2. Datalogger con comunicación cableada y envío de datos a plataforma.

Se instalará sensorica para garantizar el control y la seguridad de las infraestructuras en las salas técnicas y de almacenamiento de equipos.

3. Sistema RFID de Control de accesos:

- Sensores de apertura/cierre de puertas con detección en tiempo real.
- Registro de accesos mediante identificación de usuarios.

4.4.6. Metodología del Estudio de Cobertura

El estudio deberá seguir una metodología técnica basada en simulación y validación en campo, incluyendo los siguientes pasos:

- **Análisis de propagación teórica**

Se emplearán herramientas de modelado radioeléctrico para simular la propagación de la señal LoRaWAN considerando la topografía, la vegetación y los obstáculos de gran tamaño presentes en la zona.

Se utilizarán mapas de elevación de alta resolución y modelos de atenuación específicos para entornos rurales.

Todas las pruebas se realizarán siempre dentro de la banda ISM 868 MHz, no teniendo en cuenta la banda 430 MHz.

- **Selección preliminar de ubicaciones para gateways**

A partir del análisis teórico, se definirán ubicaciones tentativas para los gateways LoRaWAN, maximizando la cobertura y minimizando interferencias.

- **Mediciones en campo**

Se llevará a cabo una campaña de pruebas en terreno con equipos de medición LoRaWAN para validar la cobertura real.

Se registrarán valores de intensidad de señal (RSSI), relación señal/ruido (SNR) y porcentaje de paquetes recibidos (PRR) en diferentes puntos de las fincas.

Se emplearán dispositivos emisores con características equivalentes a los sensores a instalar.

Se tendrán en cuenta diferentes tamaños de paquete y diferentes data rates LoRaWAN (DR0-DR5) con un coding rate de 4/5 en todo momento (CR4/5).

Todas las pruebas se realizarán siempre dentro de la banda ISM 868 MHz, no teniendo en cuenta la banda 430 MHz.

- **Optimización y ubicación definitiva de gateways**

En base en los datos recopilados, se realizarán los ajustes necesarios en la ubicación y configuración de los gateways.

Se definirá la altura de instalación y el tipo de antena más adecuado — bipolar de fibra de vidrio, sectorial, etc — o, en el caso que sea posible, se utilizarán las instalaciones presentes en las ubicaciones, en cada punto para maximizar la tasa de recepción de mensajes de la red.

- **Entrega del informe técnico**

Se elaborará un informe detallado con los resultados del estudio, incluyendo:

- i. Mapas de cobertura estimada y real.
- ii. Ubicación óptima de los gateways.
- iii. Configuración recomendada para maximizar el alcance y la estabilidad de la red.

Requisitos mínimos del estudio:

- Uso de herramientas de simulación profesional como Radio Mobile, CloudRF o similares.
- Pruebas de campo con dispositivos compatibles con LoRaWAN ISM 868 Mhz.
- Registro y análisis de métricas RSSI, SNR y PRR.
- Justificación técnica de la ubicación final de los gateways LoRaWAN.

4.4.7. Requerimientos de la Red LoRaWAN en Entorno Rural

Arquitectura de la Red

- La solución LP-WAN deberá cumplir con estándares de red de banda estrecha y baja potencia, adecuados para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) en entornos rurales.
- La red deberá estar diseñada para cubrir grandes extensiones de terreno con baja densidad de dispositivos, optimizando el consumo energético agregado y garantizando conectividad en áreas de difícil acceso sin supervisión humana.
- Se deberá garantizar la capacidad de expansión de la red para la incorporación de nuevos dispositivos y estaciones base en el futuro.

Seguridad y Disponibilidad

- Se deberá implementar segmentación de red mediante VLANs y políticas de seguridad perimetral para proteger la integridad de los datos.

- Los mecanismos de seguridad deberán garantizar la confidencialidad de los datos transmitidos, empleando cifrado AES128 y autenticación segura Over The Air Activation (OTAA).
- Se aplicarán medidas de protección contra ataques de repetición (replay attacks) para garantizar la integridad y actualidad de los datos.

Conectividad de las Estaciones Base LoRaWAN (Gateways)

- Las estaciones base LPWAN accederán a la red mediante conexiones cableadas (Ethernet) en los puntos habilitados o de forma inalámbrica mediante 4G/LTE en ubicaciones donde no exista acceso por cable.
- Las estaciones base deberán permitir la integración con redes privadas y plataformas en la nube para almacenamiento y análisis de datos.
- Se deberá asegurar compatibilidad con protocolos estándar de comunicación (MQTT, HTTPS, VPN) para garantizar interoperabilidad con otros sistemas.

Cobertura y Despliegue de la Red

- La cobertura proporcionada por la red LPWAN deberá alcanzar al menos el 95% del área rural definida en el proyecto.
- Se deberá realizar un estudio de planificación radioeléctrica previo para optimizar la ubicación de los gateways y minimizar zonas de sombra.
- Se garantizará compatibilidad con dispositivos de sensorización agrícola, telemetría ambiental y monitorización de infraestructuras rurales.

Requerimientos Técnicos de las Estaciones Base LoRaWAN (Gateways)

Las estaciones base a desplegar deberán cumplir con las siguientes especificaciones mínimas:

El equipo deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes características técnicas:

1. Antenas integradas

El equipo deberá disponer de antenas internas integradas para GPS, 4G y LoRa, con una ganancia de pico mínima de 2,6 dBi, sin necesidad de instalación de antenas externas. Opcionalmente, se deberá admitir el uso de antenas externas LoRa de 3 dBi o 6 dBi.

2. Conectividad

Deberá incluir, al menos, los siguientes interfaces de conectividad:

Puerto Ethernet 10/100 Mbps (conector RJ45).

Ranura para tarjeta SIM en formato mini-SIM.

3. Indicadores luminosos (LEDs)

El equipo deberá incorporar dos LEDs programables mediante software:

Un LED verde para indicar el estado de alimentación.

Un LED rojo para indicar el estado del sistema (actualizaciones, arranque, estado de LoRa, estado del backhaul, etc.).

4. Interfaz de depuración

Deberá incluir un conector USB tipo C destinado a funciones de depuración (debug).

5. Botón multifunción

El equipo deberá contar con un botón multifunción que permita al menos las siguientes operaciones: encendido, apagado, reinicio y restauración de fábrica.

6. Parámetros de radiofrecuencia

Sensibilidad de recepción (Rx): igual o superior a -141 dBm (para SF12).

Potencia de transmisión conducida (Tx): configurable en un rango comprendido entre 5 dBm y 27 dBm.

7. Condiciones ambientales

Rango de temperatura operativa: mínimo de -40 °C a +60 °C.

Humedad relativa soportada: hasta un 95 %.

8. Dimensiones y peso

Dimensiones máximas del equipo: 265 x 165 x 100 mm.

Peso máximo, incluyendo el kit de montaje: 1,4 kg.

Capacidades Adicionales:

Posibilidad de actuar como repetidor para extender la cobertura en zonas de baja señal.

Configuración remota de parámetros de transmisión, frecuencia y ancho de banda.

Soporte para actualizaciones de firmware remotas (FOTA).

- **Monitorización y Gestión:**

Plataforma de administración con interfaz web para configuración y diagnóstico.

Monitorización en tiempo real de todas las interfaces de red, con indicadores de latencia y rendimiento.

Generación de alertas automáticas en caso de fallo o degradación del servicio.

4.5. Requerimientos técnicos: red de comunicación (LoRaWAN)

Se implementará una red de comunicaciones basada en el protocolo LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) para la transmisión inalámbrica de los datos recopilados por las estaciones meteorológicas y sensores de las parcelas experimentales hasta la

plataforma central de gestión de datos.

4.5.1. Arquitectura General:

La arquitectura de la red LoRaWAN seguirá la topología estándar en estrella. Los datos generados en cada parcela serán recogidos por el datalogger, enviados a un Nodo Final LoRaWAN asociado, transmitidos por radiofrecuencia (RF) a uno o más Gateways LoRaWAN dentro del alcance, y finalmente encaminados por estos gateways a través de una red de retorno (backhaul) hasta un Servidor de Red LoRaWAN (LNS). El LNS gestionará la red y reenviará los datos de aplicación hacia la plataforma FIWARE a través de una interfaz definida (MQTT).

La empresa adjudicataria deberá realizar un análisis de cobertura real en las ubicaciones de las parcelas, los requisitos de fiabilidad y seguridad del IMIDA, y los costes asociados (inversiones iniciales y operativas a medio/largo plazo). Deberá proponer y justificar la solución más ventajosa para este proyecto específico, que será aprobada por el IMIDA.

4.5.2. Datalogger para Monitorización Agronómica en Campo:

Este datalogger se instalará en exteriores, proporcionando autonomía energética y conectividad mediante LoRaWAN para la recolección de datos agronómicos. Sus características serán:

- Diseño autónomo, con alimentación mediante panel solar integrado en la envolvente y batería interna, permitiendo su operación sin conexión a la red eléctrica.
- Microcontrolador de 16bits@8MHz con 256KB Flash, 16KB RAM
- Dataflash 4MB para almacenamiento de datos
- EEPROM 32KB para almacenamiento de configuración
- Carcasa con grado de protección IP67, resistente a condiciones ambientales adversas.
- Comunicación LoRaWAN, con cobertura de hasta 15 km en campo abierto. El mismo modelo debe poder permitir la comunicación NB-IoT
- Almacenamiento de datos local, con capacidad de hasta 10,000 registros antes de la transmisión.
- Consumo máximo: 90uA en espera, 60mA en transmisión
- PV Cargador: Circuito de carga mediante panel solar de 6V integrado en la envolvente
- Dos entradas analógicas o entradas digitales libres de potencial (10Hz), configurables. Las entradas analógicas deben permitir por voltaje o corriente en los siguientes rangos: 0-1.25V, 0-2.5V, 0-5V, 0-10V y 4-20mA.
- Un puerto comunicaciones SDI-12 que puede gestionar hasta dos sondas SDI-12

- Protección contra sobretensiones y fallos de comunicación, con watchdog interno.
- Deben ser instalados con sistema de estaca en suelo o soporte dedicado, según la necesidad de cada ubicación en particular.

4.5.3. Actualización de los datalogger para monitorización agronómica del IMIDA

El IMIDA cuenta en la actualidad con un despliegue de dispositivos datalogger en campo que deberán ser actualizados para poder comunicar a través de antenas LoraWan.

Especificaciones de la actualización:

- Los equipos deberán ser sustituidos por otros que sean compatibles con las características técnicas previamente detalladas para los dispositivos de monitorización agronómica.
- Se realizará la integración de todos las sondas y sensores actualmente instalados en dichos dataloggers.
- Se conservarán las condiciones físicas actuales de instalación de los dispositivos en sus ubicaciones originales

4.6. Requerimientos técnicos: plataforma de datos (FIWARE)

Se implementará una plataforma software para la gestión integral de los datos generados por el Living Lab, basada en la arquitectura y los componentes (Generic Enablers - GEs) de FIWARE. FIWARE se selecciona por ser una plataforma abierta, estándar y modular, diseñada para la gestión de información de contexto en tiempo real.

4.6.1. Arquitectura FIWARE:

La empresa adjudicataria desplegará y configurará una instancia de la plataforma FIWARE en la infraestructura que ya tiene el IMIDA. La arquitectura mínima obligatoria incluirá los siguientes GEs:

- **Orion Context Broker:** Es el componente central de FIWARE. Será responsable de gestionar la información de contexto en tiempo real, representando el estado actual de las entidades del Living Lab (parcelas, dispositivos, observaciones). Deberá soportar la API **NGSI-LD** (ETSI ISG CIM) como interfaz preferente, por su mayor riqueza semántica y alineación con los principios de Linked Data, aunque deberá mantener compatibilidad con NGSI-v2 si fuera necesario para integrarse con otros componentes.
- **IoT Agent:** Se requiere un componente IoT Agent que actúe como puente entre el protocolo de comunicación de la red LoRaWAN (MQTT desde el LNS) y la API NGSI del Context Broker. Opciones válidas:
 - **IoTAgent-LoRaWAN:** Un agente específico para LoRaWAN que típicamente

incluye funcionalidades para interactuar con LNSs como TTN o ChirpStack y decodificar formatos comunes como Cayenne LPP.

- **IoTAgent-JSON o IoTAgent-UL (sobre MQTT):** Agentes más genéricos que pueden configurarse para escuchar en topics MQTT y traducir payloads JSON o UltraLight hacia NGSI. Si se usa esta opción, el LNS deberá publicar los datos en el formato esperado por el agente (e.g., JSON). El IoT Agent seleccionado será responsable de: suscribirse al broker MQTT para recibir los datos de los nodos LoRaWAN, decodificar los payloads (e.g., Cayenne LPP), transformar los datos al modelo de datos NGSI definido (ver 6.3), y enviar las actualizaciones correspondientes al Orion Context Broker.
- **Bases de Datos:**
 - **MongoDB (o compatible):** Se utilizará como base de datos de persistencia para el Orion Context Broker (almacenamiento del estado actual de las entidades) y para el IoT Agent (almacenamiento del registro de dispositivos y configuraciones). Se requiere una versión compatible con los GEs desplegados.

4.6.2. Configuración del IoT Agent:

La configuración del IoT Agent seleccionado es un paso crítico y deberá incluir:

- **Conexión al Broker MQTT:** Establecimiento de la conexión segura (usuario/contraseña, certificados si aplica) con el broker MQTT donde el LNS publica los datos de los dispositivos LoRaWAN.
- **Suscripción a Topics MQTT:** Definición de los patrones de topics MQTT a los que el IoT Agent debe suscribirse para recibir los mensajes de uplink de los dispositivos registrados. La estructura del topic normalmente incluye identificadores del dispositivo (e.g., DevEUI).
- **Provisión de Servicios y Dispositivos:** Configuración dentro del IoT Agent de los "Service" y "Service Path" (equivalentes a Fiware-Service y Fiware-ServicePath headers) para organizar los dispositivos. Registro (provisión) de cada nodo final LoRaWAN (identificado por su DevEUI) en el IoT Agent, especificando el device_id que se usará como id de la entidad Device en el Context Broker, el endpoint (si aplica), el protocolo y el formato de payload (e.g., CayenneLPP).
Decodificación de Payloads: Configuración de la lógica interna del IoT Agent para interpretar correctamente los payloads binarios recibidos (e.g., habilitando el decodificador Cayenne LPP o proporcionando un script de parsing personalizado si se usa otro formato).
- **Mapeo a NGSI:** Definición explícita del mapeo entre los datos decodificados del payload (e.g., valor del canal 3 de CayenneLPP correspondiente a temperatura) y los atributos específicos de las entidades NGSI en el Context Broker (e.g., atributo temperature de la entidad WeatherObserved asociada al dispositivo).

4.6.3. Modelado de Datos (FIWARE Smart Data Models):

Para garantizar la interoperabilidad semántica y la reutilización de los datos, es obligatorio el uso de los FIWARE Smart Data Models estandarizados siempre que sea posible. Estos modelos proporcionan una estructura y semántica común para entidades de diversos dominios.

- **Formato Preferido:** Se utilizará **NGSI-LD** como formato de representación de datos en el Context Broker. NGSI-LD, basado en JSON-LD, permite definir entidades, propiedades y relaciones con semántica enriquecida a través de URIs y contextos (@context), facilitando la integración y el enlace de datos. El adjudicatario deberá definir y proporcionar los ficheros @context necesarios para todos los modelos utilizados. Se mantendrá compatibilidad con NGSI-v2.

4.6.4. Persistencia y Acceso a Datos:

- **Datos Actuales (Context Broker):** El Orion Context Broker mantendrá el último estado conocido de todas las entidades y sus atributos. El acceso a esta información en tiempo real se realizará a través de la API NGSI-LD/v2 estándar del Broker, permitiendo consultas (query) y suscripciones (subscribe) a los cambios de contexto.
- **Datos Históricos (si se implementa):** Si se utiliza QuantumLeap o un mecanismo similar, las series temporales de los atributos clave (e.g., temperatura, humedad, VWC@10cm, VWC@20cm,..., VIC@10cm, VIC@20cm,..., Rn, G, H, LE, ET, β) se almacenarán en la base de datos de series temporales seleccionada. El acceso a estos datos históricos se realizará a través de la API específica del componente de persistencia (e.g., API de QuantumLeap) o mediante consultas directas SQL/otras a la base de datos de series temporales (permitiendo agregaciones, filtrados por tiempo, etc.).
- **API de Acceso:** Se garantizará el acceso programático a los datos tanto actuales como históricos mediante APIs documentadas, para su uso por parte de aplicaciones de análisis, visualización o modelado del IMIDA.

4.6.5. Sensorica agronómica para riego de precisión

Sonda de suelo volumétrica

La sonda de suelo deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes características:

1.Profundidad de instalación

La longitud de la sonda deberá estar comprendida entre 60 y 90 cm.

2.Alimentación eléctrica

El equipo deberá funcionar con una tensión de alimentación comprendida entre 3,8 V y 15 V DC.

3. Consumo eléctrico

En operación:

Máximo de 25 mA con 4 sensores a 12 V DC.

Máximo de 30 mA con 8 sensores a 12 V DC.

En reposo: Consumo inferior a 1 mA.

4. Protocolo de comunicación

El equipo deberá emplear el protocolo de comunicación SDI-12.

5. Rango de temperatura operativa

La sonda deberá funcionar en un rango de temperatura comprendido entre -20 °C y +60 °C.

6. Características de los sensores integrados

Sensor de humedad del suelo:

Resolución: inferior a 0,005 % VWC (Volumetric Water Content).

Precisión: $\pm 0,05$ % VWC.

Frecuencia de operación: entre 67 MHz y 82 MHz.

Sensor de temperatura:

Resolución: 0,01 °C.

Precisión: ± 1 °C a 25 °C.

Tiempo de medida: máximo de 200 ms por sensor.

Sensor para Radiación del suelo

El sensor solicitado deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes características técnicas:

1. Precisión y fiabilidad de la medición

Incertidumbre de medición: $\pm 0,2$ °C con un nivel de confianza del 95 %.

Repetibilidad de la medición: inferior a 0,05 °C.

Estabilidad a largo plazo: desviación inferior al 2 % anual, siempre que el filtro se mantenga limpio.

2. Rango espectral

El sensor deberá operar en un rango espectral comprendido entre 8 y 14 μm , correspondiente a la ventana atmosférica, a fin de minimizar las interferencias provocadas por el vapor de agua.

3. Tiempo de respuesta

Tiempo máximo de respuesta: 0,2 segundos.

4.Campo de visión (FOV)

El campo de visión del sensor deberá estar comprendido entre 14º y 22º de ángulo medio.

5.Alimentación y consumo eléctrico

Tensión de entrada: entre 4,5 V y 24 V DC.

Consumo de corriente: En reposo: máximo de 1,1 mA.

Durante transmisión: máximo de 6 mA.

6.Dimensiones y peso

Dimensiones máximas: 2,3 cm de diámetro y 6,0 cm de longitud.

Peso máximo: 190 g (incluyendo cable de conexión de 5 metros).

7.Cableado

El sensor deberá incluir un cable de 5 metros de longitud, trenzado y blindado, con recubrimiento de Santoprene o material equivalente, resistente al agua y a los rayos ultravioleta (UV).

Sensor termográfico de mano

El dispositivo deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes características técnicas:

1.Rango de medición de temperatura

Gama de temperaturas medibles: desde -20 ºC hasta +550 ºC.

Precisión: ± 2 % de la lectura.

2.Calidad de imagen radiométrica (imagen térmica)

Resolución del detector térmico: mínimo de 256 x 192 píxeles.

Campo de visión (FOV): 56º x 42º.

Resolución geométrica (IFOV): máxima de 3,5 mrad.

Sensibilidad térmica (NETD): inferior a 1 ºC a 30 ºC.

Frecuencia de repetición de imagen: al menos 25 Hz.

Enfoque: fijo.

Distancia mínima de enfoque: 0,5 metros.

3.Calidad visual de imagen (cámara digital incorporada)

Resolución de la cámara visible: mínimo de 2 megapíxeles.

Campo de visión (FOV): mínimo de 65º.

Calidad del agua (sensor de N-P-K)

El sensor de nitratos deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes características técnicas:

1. Calibración

El equipo deberá requerir una calibración mínima para su correcta operación en campo.

2. Parámetros de medición

El sensor deberá ser capaz de medir, además de nitratos, al menos los siguientes parámetros:

- Nitratos
- Potasio
- Fosfatos
- Salinidad
- Conductividad eléctrica

3. Rangos de medición de nitratos

Para aplicaciones de fertirriego: entre 150 y 1000 ppm.

Para control de calidad de agua de riego: entre 0 y 150 ppm.

4. Resolución de medición

Para fertirriego:

50 ppm en el rango de 150 a 200 ppm.

100 ppm en el rango de 200 a 1000 ppm.

Para calidad de agua de riego:

2 ppm en el rango de 0 a 10 ppm.

5 ppm en el rango de 10 a 40 ppm.

10 ppm en el rango de 40 a 150 ppm.

5. Precisión de medición

Para fertirriego: ± 20 %.

Para calidad de agua de riego: ± 15 %.

6. Conectividad

El sensor deberá utilizar el protocolo de comunicación SDI-12.

7. Debe incluir repuestos para 1000 medidas

Sensor de nitratos (N-P-K) portable:

- Parámetros de medición: Nitratos con opción de medición de otros iones (nitrito, amonio, potasio y fosfatos)
- Sensor reutilizable, al menos 40 usos
- Compatibilidad de conexión con dispositivos Android a través de cable USB-C
- Mínimo calibrado

Sonda de radiación fotosintéticamente activa (PAR)

La sonda de radiación fotosintéticamente activa (PAR) deberá cumplir, como mínimo, con las siguientes especificaciones técnicas:

1. Alimentación eléctrica

Tensión de entrada: entre 5,5 V y 24 V DC.

Consumo de corriente:

En reposo: máximo de 1,4 mA.

En funcionamiento: máximo de 1,8 mA.

2. Parámetros de medición y exactitud

Incertidumbre de calibración: ± 5 %.

Repetibilidad de la medición: inferior al 1 % (hasta $4000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Inestabilidad (deriva a largo plazo): inferior al 2 % anual.

No linealidad: inferior al 1 % (hasta $4000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

3. Tiempo de respuesta

El tiempo de respuesta del detector, definido como el tiempo necesario para alcanzar el 95 % del valor final tras un cambio abrupto, no deberá superar los 0,6 segundos. La velocidad de transmisión de datos para protocolos SDI-12 no deberá ser superior a 1 segundo.

4. Características ópticas

Campo de visión: 180° .

Rango espectral: de 389 a $692 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$ (longitudes de onda con respuesta superior al 50 % del máximo).

Selectividad espectral: la respuesta fuera del rango útil ($412\text{--}682 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$) no deberá superar el 10 %.

Respuesta direccional (función coseno):

± 2 % a 45° .

± 5 % a 75° .

5. Errores de medición relacionados con la posición

Error de acimut: inferior al 0,5 %.

Error de inclinación: inferior al 0,5 %.

6.Respuesta térmica

Coefficiente de temperatura: $-0,11 \pm 0,04$ % por °C.

7.Exactitud del total diario

Incertidumbre en el cálculo del total diario de radiación PAR: inferior al 5 %.

8.Tipo de detector

Fotodiodo de silicio.

9.Protección ambiental

El sensor deberá contar con un grado de protección mínimo IP68 frente al ingreso de agua y polvo.

4.6.6. Sistema de almacenamiento para la gestión centralizada de datos y las copias de seguridad.

Para garantizar la seguridad de los datos recopilados, son necesarios dos sistemas de almacenamiento que ofrezcan un rendimiento elevado con más de 155.000/79.000 IOPS de lectura/escritura aleatoria y un rendimiento de lectura/escritura secuencial de hasta 3500/1700 MB/s, todo dentro de un entorno de red 10GbE.

Además, los sistemas deben tener un sistema operativo que permita el despliegue de una variedad amplia de aplicaciones, como: WebDAV, servicios FTP o SFTP, servicios Multimedia, servidor proxy, aplicaciones como base de datos y similares. Cada sistema en forma 2U debe tener garantía de 5 años y cumplir las siguientes características:

- Procesador AMD Ryzen V1500B o superior
- 12 receptáculos de unidad con sus correspondientes discos compatibles de 12 TB de 7200 rpm
- 12 Unidades de 12 TB de 7200 rpm de intercambio en caliente
- 32 GB de memoria
- Fuente de alimentación redundante
- Al menos 4 conexiones de red tipo RJ45 de 1 GbE o superior (recomendable 10 GbE) que cumpla las especificaciones IEEE: IEEE 802.3x, 802.3u, 802.3ab, 802.3bz y 802.3an. Con soporte para VLAN's
- Los accesorios necesarios para su instalación en armario rack

4.6.7. Sistema de seguridad en la alimentación de la red CTNET (Fundación Integra) en el IMIDA.

Garantía de continuidad operativa

El nodo de comunicaciones y la DMZ de la red CTNET en el IMIDA son infraestructuras críticas que requieren un suministro eléctrico estable y continuo. La adquisición de un **SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida) trifásico de entrada (3x400+N) y salida (3x400+N), Frecuencia (50/60 Hz)** permitirá mantener la operatividad del sistema en caso de fallos eléctricos breves, evitando la interrupción de servicios esenciales. Con un cuadro de operación automático para conectarse al grupo electrógeno

Por otro lado, el **grupo electrógeno 330 KVA** proporcionará una fuente de energía autónoma ante cortes prolongados, asegurando el funcionamiento de la infraestructura sin depender exclusivamente de la red eléctrica externa.

Protección de equipos y datos

Las fluctuaciones de tensión y los cortes abruptos pueden causar daños en los dispositivos de red y servidores, afectando la integridad de los datos y la seguridad de la información. El SAI actúa como un filtro contra picos de voltaje y caídas de tensión, protegiendo los equipos del nodo de comunicaciones.

Además, el grupo electrógeno garantiza un suministro eléctrico seguro y estable, minimizando el riesgo de pérdida de datos y posibles fallos en los sistemas.

Mejora de la resiliencia y seguridad de la red

La red CTNET en el IMIDA (Gestionada por Fundación Integra) maneja información sensible y debe cumplir con altos estándares de disponibilidad y seguridad. La incorporación del SAI y el grupo electrógeno fortalece la infraestructura ante eventos inesperados, permitiendo una respuesta rápida y eficaz ante cortes de energía, ciberataques o fallos técnicos.

Cumplimiento normativo y optimización de costos

La inversión en un sistema de respaldo energético es una medida proactiva que ayuda a cumplir con normativas de seguridad y continuidad de negocio. Además, al prevenir fallos y minimizar tiempos de inactividad, se optimizan costos operativos, evitando pérdidas económicas derivadas de interrupciones del servicio.

Beneficio estratégico para el IMIDA y la Fundación Integra como gestor de la red CTNET.

Garantizar la disponibilidad y estabilidad del nodo de comunicaciones refuerza el papel del IMIDA como un centro tecnológico confiable y eficiente. Esta adquisición no solo mejora la operatividad actual, sino que también prepara la infraestructura para futuras expansiones y nuevas tecnologías.

Listado y características del equipamiento a suministrar

Equipo	Características	Unidades
Datalogger	Campbell Scientific CR1000X con SDI-12	2
Tarjeta MicroSD	Tarjeta MicroSD 2Gbytes, -40°C a +85°C, grado industrial (SLC) (para CR1000X, CR6)	2
Caja intemperie	Caja intemperie GRP blanca IP66 (406x356x140mm interno), con conectores/prensaestopas. Con el cableado, kit de sujeción	2
Batería	Batería recargable 12V 24Ah con soporte (mínimo ENC 14/16). Con regulador CH150 o CH200	2
Placa solar	SP80 Placa solar 80W, 5m cable, estructura sujeción a poste	2
Tripode ajustable	Tripode ajustable 2-3m, kit de tierra, hierro galvanizado	2
Brazo aluminio	CM204E Brazo aluminio 1.2m largo, diámetro 34mm, con anclaje CM210E a poste vertical (< 54mm)	6
Radiómetro	SN500SS Radiómetro neto 4 componentes, salida SDI 12, 10m cable. Kit de montaje	2
Protección Radiómetro	RAD10E Protector radiación y lluvia para HC2A-S3, EE181, HygroVue10 (5-25mm diámetro)	4
Sensor Flujo Calor Suelo (G)	Campbell HFP01SC Sensor flujo calor suelo autocalibración (5m cable)	4
Sensor T/RH Aire	EE181 Sonda T/HR, salidas 0-1Vdc, (-40°C a +60°C, 0 a 100% HR), 5m cable	4
Barómetro	BaroVUE10 Sensor presión atmosférica (500-1100 mb), certificado calibración	2
Anemómetro	Windsonic1 Anemómetro / veleta ultrasónico WindSonic 2D opción 1, salida RS232, 3m cable. Kit de montaje	4
Cableado	Conector IP68 en cable del sensor, caja estanca y cableado interno. (03C)	14
Instalación	Instalación y puesta en marcha en campo	2
Kit de comunicación	Modem 5G y antena de comunicaciones	3
Subtotal paquete estaciones científicas		
Nodo Comunicación LoRaWAN	Clase A, IP67+, interfaz compatible con datalogger a conecta a FIWARE	2
Antena LoRaWAN Kerlink	Antena LoraWan + PoE INJECTOR 30W INDOOR EU-AC input + Antenna kit +	2
Estudio de cobertura LoraWan	3 días de trabajo por finca. Cada estudio de cobertura requiere desplazamiento de los técnicos para análisis preliminar de propagación teórica, la definición de las ubicaciones para los GW, mediciones realizadas en campo y redacción de informe final. (Bullas y Torre Pacheco) unas 8 ha cada una.	2
DataloggerLoRaWAN	Datalogger con tecnología LoRaWAN según características del PPT y sustitución de los equipos actuales	15
Configuraciones	Configuración e integración en red LoRaWAN de los	15

	datalogger	
	Subtotal paquete Antena LoraWan	
SAI 60 KVA para nodo comunicaciones y DMZ de CTNET en IMIDA	Sistema de Alimentación Ininterrumpida trifásico de entrada (3x400+N) y salida (3x400+N), Frecuencia (50/60 Hz) de tecnología on-line, doble conversión, sin transformador, compuesto por rectificador con corrector del factor de potencia (PFC), cargador de baterías, ondulador, bypass estático y bypass manual de mantenimiento e interface de comunicación.	1
Cuadro a FTR 300kva 400v 50hz para nodo comunicaciones y DMZ de CTNET en IMIDA	Cuadro FTR Fallo Tensión Red. Central automática Comap IL4AMF8. Armario metálico 1900x800x600mm. Conmutador motorizado Socomec 4p 630a. Interruptor manual 4p 630a	1
GE Aem Volvo 300/330 KVA para nodo comunicaciones y DMZ de CTNET en IMIDA	GE Motor volvo tad842ge. Alternador Leroy Tal046f. Expulsión delantera. Kit extracción de aceite. Insonorizado y puesta en marcha en la Alberca.	1
NAS de alta capacidad para almacenamiento principal y copia de respaldo de los datos de la red CTNET en fundación Integra y en IMIDA	Sistemas de almacenamiento que ofrezcan un rendimiento alto con más de 155 000/79 000 IOPS de lectura/escritura aleatoria y un rendimiento de lectura/escritura secuencial de hasta 3500/1700 MB/s, todo dentro de un entorno de red 10GbE. El sistema en forma 2U debe tener garantía de 5 años y cumplir las siguientes características: - Procesador AMD Ryzen V1500B o superior - 12 receptáculos de unidad con sus correspondientes discos compatibles de 12 TB de 7200 rpm - 12 Unidades de 12 TB de 7200 rpm intercambio en caliente y 32 GB de memoria - Fuente de alimentación redundante - Al menos 4 conexiones de red tipo RJ45 de 1 GbE o superior (recomendable 10 GbE) que cumpla las especificaciones IEEE: IEEE 802.3x, 802.3u, 802.3ab, 802.3bz y 802.3an. Con soporte para VLAN's - Los accesorios necesarios para su instalación en armario rack	2
	Subtotal paquete Seguridad energía, almacenamiento y copias de seguridad	
Mantenimiento anual plataforma FIWARE	Mantenimiento anual de plataforma agroclima.es, incluye dos visitas al año, una conexión mensual en remoto, actualizaciones automáticas y asistencia. Revisión preventiva trimestral de dataloggers y sensores.	2
Digitalización riego	Automatización de cabezal de riego de la finca de Bullas (IoTConnector con 20 canales, incluidos zócalos y relés de actuación) e integración en FIWARE.	1
Contadores digitales	Caudalímetros woltman para lectura de suministro en tubería (Contador+Brida+Instalación)	10
Sensores de presión	Sensor de presión para monitorización de depósitos de suministro de agua (0,4mbar)	2
Sensores de Tª/HR	Sensor temperatura/humedad 5cm ras de suelo +	3

	cableado 10m + instalación	
	Subtotal paquete	
Sonda de nitratos para medición en continuo	Ecometry-4logger + Accesorio de montaje + Instalación	1
Sonda de nitratos para medición transportable	Ecometry-Nano + Funda de transporte	1
Repuestos de los electrodos	20 repuestos Ecometry-Nano	1
Piranómetros	Piranómetro SP-421 + base niveladora + Soporte montaje	1
Sensor de espectro complejo	Sensor cuántico de espectro completo SQ-521 + base niveladora	1
Integración de la nueva sensorica en la plataforma FIWARE	Integración en la plataforma FIWARE del IMIDA de toda la nueva sensorica que se instale.	1
Desarrollo FIWARE	Ampliación módulo de riego del SIAM en la plataforma FIWARE del IMIDA para frutales y cítricos	1
Control de accesos de sala CTNET y DMZ	Control de accesos basado en tecnología RFID con sistema de autenticación segura con código de identificación aleatorio. El dispositivo llevará 2 entradas digitales y 1 salida 12V. Se alimentará por POE y debe permitir su instalación en exteriores. Se colocará un cerradero electrónico en la puerta incluyendo la adaptación a la misma. Se incluye cableado y adaptación de carpintería	2
Monitorización sala CTNET y DMZ	1 detector de humo + Dispositivo Datalogger + sensor temperatura, humedad + Cuadro IP67, envolventes dispositivos, tubo, bridas e instalación	2
	Subtotal paquete sensores nutrición y FIWARE	
Sensorica riego de precisión, contador digital de agua	Sensorica riego de precisión, contador digital de agua, Sensor de potencial matricial, Sensor TDR, sensores clima.	4
Servicio plataforma digital, Nodo DL1 4G	Instalación de sensores clima, Servicio plataforma Irriman, Nodo 4G	4
Emisión de informes y monitorización con dron	Emisión de informes y monitorización con dron	8
Monitorización en continuo del cabezal de riego	Sonda de nitrato, Sonda de conductividad eléctrica inductiva, Contador, Modem, Panel de integración, Datalogger, Accesorios, Instalación y puesta en marcha	1
	Subtotal paquete agricultura de precision	
	Total lote 3	

4.7. Integración del sistema, seguridad energética y flujo de datos

La empresa adjudicataria deberá incluir en la documentación final un diagrama detallado y claro que represente visualmente la arquitectura completa del sistema Living Lab implementado. Este diagrama mostrará todos los componentes hardware y software (sensores, dataloggers, nodos, gateways, LNS, broker MQTT, GEs de FIWARE, bases de datos), las interfaces de conexión entre ellos, los protocolos de comunicación utilizados en cada interfaz, y la dirección de los flujos de datos principales.

4.8. Instalación, puesta en marcha y pruebas

La empresa adjudicataria será responsable de la ejecución completa de la instalación, configuración, integración y pruebas del sistema Living Lab, hasta su entrega en perfecto estado de funcionamiento.

- **Plan de Instalación:** Antes de iniciar los trabajos en campo, el adjudicatario presentará a IMIDA para su aprobación un Plan de Instalación detallado. Este plan incluirá, como mínimo: cronograma de trabajos, descripción de las tareas a realizar en cada parcela, planos o croquis de ubicación exacta de cada componente (estación, sondas, gateways si aplica), métodos de instalación específicos para minimizar la perturbación, necesidades logísticas (accesos, maquinaria), plan de gestión de residuos, y medidas de seguridad y salud. La coordinación con el personal del IMIDA será continua.
- **Ejecución de la Instalación:** Realización de todas las tareas de montaje físico descritas en el apartado 4.2.2 del presente pliego, siguiendo el Plan de Instalación aprobado, las especificaciones técnicas de este pliego, las recomendaciones de los fabricantes y las buenas prácticas de instalación en entornos agrícolas y de instrumentación científica.
- **Configuración del Sistema:** Ejecución de todas las tareas de configuración lógica descritas en el apartado 4.2.3 de este documento, asegurando que todos los componentes software y hardware estén correctamente parametrizados para su funcionamiento integrado.
- **Pruebas Unitarias:** Verificación funcional individual y exhaustiva de cada componente principal del sistema una vez instalado y configurado. Esto incluirá, como mínimo:
 - Comprobación de la correcta alimentación eléctrica de todos los dispositivos.
 - Verificación de la lectura de datos de cada sensor individual (meteorológico y de suelo) en el datalogger, comparando con valores de referencia si es posible.
 - Comprobación de la correcta ejecución de los cálculos programados en el datalogger (e.g., Ratio Bowen).
 - Verificación de la comunicación SDI-12 entre el datalogger y cada una de las sondas Sentek.
 - Prueba de comunicación entre el datalogger y el nodo LoRaWAN.
 - Verificación del registro (join) del nodo LoRaWAN en el LNS.
 - Comprobación del estado y conectividad de los gateways LoRaWAN.
 - Verificación del correcto funcionamiento de cada componente software de la plataforma FIWARE (Context Broker, IoT Agent, bases de datos).
 - Comprobación de las calibraciones de fábrica de los sensores y entrega de

certificados.

- **Pruebas de Integración:** Verificación del funcionamiento correcto del sistema completo, evaluando el flujo de datos end-to-end. Se realizarán pruebas que demuestren que los datos generados por los sensores en campo son correctamente transmitidos, procesados, almacenados y accesibles en la plataforma FIWARE.
- **Pruebas de Rendimiento:** Si el IMIDA lo considera necesario, se podrán definir y ejecutar pruebas para evaluar la capacidad del sistema (especialmente la red LoRaWAN y la plataforma FIWARE) para manejar la carga de datos esperada o cargas simuladas superiores, midiendo latencias y tasas de pérdida de paquetes.
- **Acta de Recepción Provisional:** Una vez finalizadas satisfactoriamente todas las pruebas unitarias y de integración, y verificado que el sistema cumple con todos los requisitos de este pliego, se procederá a la firma del Acta de Recepción Provisional entre el IMIDA y la empresa adjudicataria.
- **Periodo de Pruebas en Operación:** Tras la recepción, se establecerá un periodo de funcionamiento continuado del sistema bajo condiciones reales de operación (e.g., un (1) mes). Durante este periodo, el adjudicatario realizará un seguimiento activo del sistema, monitorizando su estabilidad y rendimiento, y corregirá cualquier anomalía, fallo o desajuste detectado sin coste adicional para el IMIDA.
- **Acta de Recepción Definitiva:** Transcurrido satisfactoriamente el periodo de pruebas en operación y solventadas todas las posibles incidencias, se procederá a la firma del Acta de Recepción Definitiva, que marcará la aceptación final del sistema por parte del IMIDA.

4.9. Mantenimiento y soporte técnico

La empresa adjudicataria garantizará el correcto funcionamiento y la disponibilidad del sistema Living Lab durante el periodo de garantía y ofrecerá soporte técnico.

- **Periodo de Garantía:** Se establecerá un periodo de garantía técnica total para todos los componentes hardware suministrado y el software desarrollado o configurado, de un mínimo de **dos (2) años** a contar desde la fecha del Acta de Recepción Definitiva. Esta garantía cubrirá, la reparación o sustitución de cualquier elemento que presente defectos de fabricación o funcionamiento anómalo, siempre que no sea debido a mal uso, vandalismo o causas de fuerza mayor externas al sistema. La garantía del software incluirá la corrección de errores ("bugs") detectados.
- **Mantenimiento Preventivo:** Durante el periodo de garantía, la empresa adjudicataria realizará, como mínimo, **dos (2) visitas anuales** de mantenimiento preventivo a las instalaciones en campo. Estas visitas incluirán tareas como:
 - Inspección visual de todos los componentes (mástiles, cajas, cableado, paneles solares).

- Limpieza de sensores (especialmente radiómetros, pluviómetros, paneles solares).
- Verificación del estado de las baterías y conexiones eléctricas.
- Comprobación del correcto funcionamiento de los dataloggers y la ejecución de programas.
- Verificación básica de la comunicación LoRaWAN.
- Revisión del estado de las sondas de suelo (si es posible visualmente).
- Actualización de firmware/software si es recomendado por los fabricantes y acordado con IMIDA. Se entregará un informe detallado tras cada visita de mantenimiento preventivo.
- **Mantenimiento Correctivo:** Durante el periodo de garantía, el adjudicatario deberá proporcionar un servicio de mantenimiento correctivo para resolver cualquier incidencia o avería que afecte al funcionamiento del sistema. Se establecerá un procedimiento claro para la notificación de incidencias por parte del IMIDA.
- **Soporte Técnico:** Durante el periodo de garantía, el adjudicatario proporcionará un canal de soporte técnico (e.g., teléfono, email) para atender consultas del personal del IMIDA relacionadas con el funcionamiento, operación básica o interpretación de datos del sistema.

4.10. Documentación y formación

La transferencia de conocimiento al personal del IMIDA es un aspecto clave para asegurar la correcta utilización y aprovechamiento a largo plazo del sistema Living Lab.

4.10.1. *Documentación a Entregar:*

La empresa adjudicataria entregará al IMIDA, como mínimo, la siguiente documentación completa, en formato digital editable (e.g., DOCX, XLSX, DWG, JSON) y en formato PDF, en lengua española, antes del Acta de Recepción Definitiva:

- **Planos:** Planos detallados y actualizados que reflejen la instalación final de todos los componentes en cada una de las tres parcelas, incluyendo ubicación exacta de estaciones, sondas, gateways (si aplica), trazado de cableado, etc.
- **Manuales de Fabricante:** Manuales originales de instalación, operación y mantenimiento de todos los equipos hardware suministrados (dataloggers, sensores, sondas, nodos, gateways, paneles solares, etc.).
- **Manuales de Software:** Manuales de usuario y administración de los componentes software clave (LNS si es privado, plataforma FIWARE - GEs desplegados).
- **Manual de Operación del Sistema:** Documento específico elaborado por el

adjudicatario que describa el funcionamiento general del sistema Living Lab, los procedimientos de operación básica, la interpretación de indicadores y alarmas, y el mantenimiento de primer nivel.

- **Manual de Usuario de la Plataforma FIWARE:** Guía orientada al usuario final (investigadores IMIDA) sobre cómo acceder a la plataforma, realizar consultas de datos actuales e históricos, interpretar los modelos de datos implementados y utilizar las herramientas de visualización básicas (si se incluyen).
- **Documentación de Configuración:**
 - **Red LoRaWAN:** Detalles completos de la configuración de la red, incluyendo: ubicación y configuración de gateways, parámetros del LNS, registro de dispositivos (DevEUI, AppEUI, AppKey - gestionadas de forma segura), estructura detallada del payload LoRaWAN (e.g., definición Cayenne LPP).
 - **Plataforma FIWARE:** Descripción de la arquitectura desplegada, versiones de los GEs, configuración detallada del IoT Agent (conexión MQTT, provisión de servicios/dispositivos, scripts de parsing si aplica, mapeo a NGSI), definición completa de los modelos de datos NGSI-LD implementados (incluyendo ficheros @context y, si es posible, JSON Schemas).
- **Certificados de Calibración:** Copia de los certificados de calibración de fábrica de todos los sensores suministrados que lo requieran (radiómetros, sensores T/RH, etc.).
- **Diagrama de Arquitectura:** Diagrama detallado del sistema.
- **Plan de Mantenimiento Preventivo:** Recomendaciones detalladas para el mantenimiento futuro del sistema.

4.10.2. Formación:

La empresa adjudicataria impartirá un programa de formación específico dirigido al personal técnico y al personal investigador del IMIDA que vaya a operar y utilizar el sistema **Living Lab**.

- **Objetivos:** Capacitar al personal del IMIDA para:
 - Comprender la arquitectura general y el funcionamiento del sistema.
 - Realizar la operación básica de los equipos de campo.
 - Acceder, consultar y visualizar los datos en la plataforma FIWARE.
 - Realizar tareas de mantenimiento preventivo de primer nivel (inspecciones visuales, limpieza básica de sensores).
 - Identificar y notificar correctamente las incidencias al servicio de soporte.
- **Contenido Mínimo:**
 - Introducción al sistema Living Lab: componentes y arquitectura.

- Operación de las estaciones meteorológicas y sensores de campo.
- Principios básicos de LoRaWAN y FIWARE.
- Acceso y navegación en la plataforma FIWARE: consulta de datos actuales (NGSI API), consulta de históricos (si aplica), uso de herramientas de visualización.
- Interpretación de los datos y modelos de datos implementados.
- Mantenimiento preventivo básico y buenas prácticas.
- Procedimiento de gestión de incidencias y uso del soporte técnico.
- **Formato y Duración:** La formación se realizará preferentemente de forma presencial en las instalaciones del IMIDA. Tendrá un enfoque eminentemente práctico. Se requiere una duración mínima total de **10 horas**, distribuidas en sesiones a acordar con el IMIDA. Se entregará material didáctico de apoyo en formato digital.

4.11. Garantía de calidad y cumplimiento normativo

La calidad de los equipos y la correcta ejecución de los trabajos, así como el cumplimiento de la normativa vigente, son requisitos esenciales del presente contrato.

4.11.1. Calidad de los Materiales y Equipos:

Todos los materiales, componentes y equipos suministrados e instalados serán nuevos, sin uso previo, de primera calidad y de fabricantes con reconocida experiencia y solvencia técnica en el sector de la instrumentación agrícola, meteorológica y de comunicaciones IoT. Deberán cumplir estrictamente con todas las especificaciones técnicas detalladas en este pliego y ser adecuados para el uso previsto en condiciones ambientales de exterior en la Región de Murcia.

4.11.2. Normativa Aplicable:

El diseño completo del sistema, la selección de los equipos, la instalación y la puesta en marcha deberán cumplir con toda la legislación y normativa técnica vigente que le sea de aplicación en España y la Unión Europea. Esto incluye, sin carácter limitativo:

- **Marcado CE:** Todos los equipos que lo requieran deberán disponer del marcado CE.
- **Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT):** Aplicable a las partes de la instalación eléctrica (alimentación, cableado).
- **Normativa sobre Espectro Radioeléctrico:** Cumplimiento de la normativa aplicable a los dispositivos LoRaWAN que operan en la banda de 868 MHz.
- **Compatibilidad Electromagnética (EMC):** Cumplimiento de las directivas EMC.

- **Protección de Datos:** Cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos (UE) 2016/679 y la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, en lo que respecta a la gestión y almacenamiento de datos (aunque los datos primarios son ambientales, la plataforma debe gestionarse de forma segura).
- **Normativa Ambiental:** Gestión adecuada de los residuos generados durante la instalación.

4.11.3. Estándares Técnicos:

La solución implementada deberá adherirse a los estándares técnicos abiertos y de facto referenciados a lo largo de este pliego, con el objetivo de asegurar la interoperabilidad y evitar la dependencia de tecnologías propietarias cerradas. Entre ellos destacan:

- **LoRaWAN:** Especificación de LoRa Alliance (v1.0.3 o superior).
- **MQTT:** Estándar OASIS (v3.1.1 o v5.0).
- **SDI-12:** Estándar para interfaz de sensores ambientales.
- **NGSI-LD / NGSI-v2:** Estándares ETSI / OMA para la gestión de información de contexto.
- **FIWARE Smart Data Models:** Modelos de datos promovidos por la FIWARE Foundation.
- **UN/CEFACT Common Codes:** Para la codificación de unidades de medida en metadatos NGSI.

La seguridad de la información es un requisito importante, por ello la plataforma y todos los procesos asociados deberán cumplir con la normativa vigente y las mejores prácticas, debiendo disponer de certificados en categoría MEDIA del Esquema Nacional de Seguridad.

Asimismo, los licitadores deberán aportar en el **sobre nº1** de la oferta el certificado de conformidad de los servicios a categoría ENS MEDIA o el compromiso de obtener el certificado de conformidad con el Esquema Nacional de Seguridad en categoría MEDIA en un plazo máximo de **un (1) mes** desde el inicio del contrato.

4.11.4. Pruebas de Calidad:

La conformidad con los requisitos de calidad se verificará mediante la documentación aportada (certificados, manuales), las inspecciones durante la instalación y, fundamentalmente, a través de la superación satisfactoria de todas las pruebas unitarias y de integración descritas en la Sección 8 de este pliego.

5. Lote 4: Extensión del gemelo digital para la creación de un Sistema Integral de Modelado del Mar Menor y su cuenca vertiente

El objeto de este lote es el desarrollo de un sistema integral de monitorización del Mar Menor, ligado a las actividades del Observatorio del Mar Menor. Este sistema operacional será un sistema autónomo y fiable que, a partir de las condiciones atmosféricas, oceánicas y terrestres existentes en el área del Mar Menor, sea capaz de dar una respuesta del comportamiento esperado por el Mar Menor, tanto en situaciones de predicción a corto plazo (varios días a futuro) como en situaciones de escenarios alternativos al actual, debido a posibles actuaciones que se realicen en el entorno. Este sistema estará compuesto por todo el hardware y software necesario para la implementación de la plataforma y del sistema de modelado del Mar Menor, compuesto por un conjunto de equipos, servicios y modelos numéricos necesarios para la caracterización integral del conjunto del Mar Menor (Cuencas, Acuíferos y Laguna Costera).

El objetivo principal de este lote es establecer un sistema de monitorización que permita predecir y simular el comportamiento del Mar Menor, considerando diversos factores ambientales y humanos.

5.1. Objeto del contrato

El objeto de este lote es el desarrollo de un sistema integral de monitorización del Mar Menor, ligado a las actividades del Observatorio del Mar Menor. Este sistema operacional será un sistema autónomo y fiable que, a partir de las condiciones atmosféricas, oceánicas y terrestres existentes en el área del Mar Menor, sea capaz de dar una respuesta del comportamiento esperado por el Mar Menor, tanto en situaciones de predicción a corto plazo (varios días a futuro) como en situaciones de escenarios alternativos al actual debido a posibles actuaciones que se realicen en el entorno.

Este sistema estará compuesto por todo el software necesario para la implementación técnica de la plataforma y del sistema de modelado del Mar Menor, compuesto por un conjunto de servicios y modelos numéricos necesarios para la caracterización integral del conjunto del Mar Menor (Cuencas, Acuíferos y Laguna Costera).

El ciclo del agua en la cuenca vertiente del Mar Menor puede simularse mediante modelos que representan etapas y procesos específicos de éste. En general, dichos modelos pueden clasificarse como: (i) hidrología superficial desarrollado por modelo TETIS; (ii) hidrología subterránea modelo del acuífero del cuaternario con SUTRA y (iii) hidrodinámica costera modelo SHYFEM.

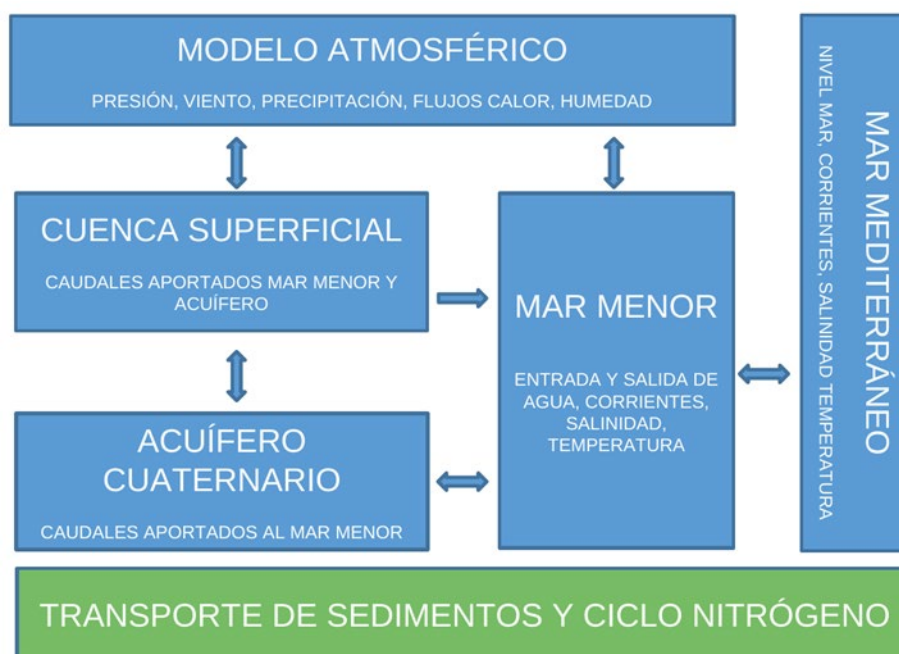


Diagrama de flujo del sistema de modelado integral, que contiene sus elementos principales, sus conexiones entre ellos (flechas (bi) direccionales) y las principales variables a considerar

5.2. Alcance del contrato

El alcance del contrato abarca diversas actividades, que incluyen la adquisición de datos, ejecución de simulaciones y gestión de información. Se define la plataforma del sistema como un conjunto de servicios y herramientas necesarias para el desarrollo de estas actividades.

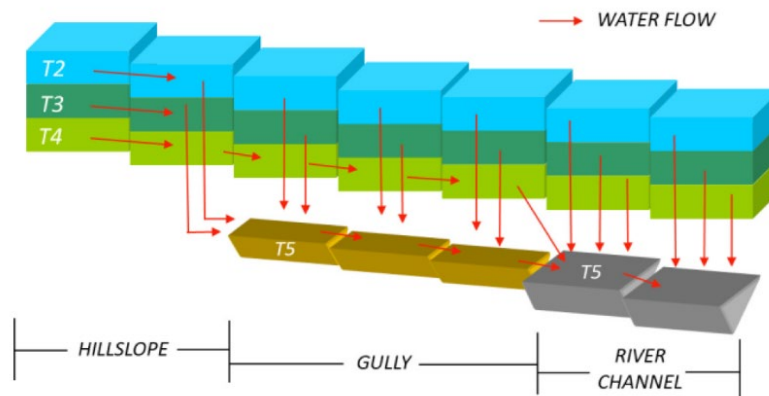
Periodo de simulación a suministrar: octubre 2020 a septiembre 2025.

Formato de entrega de los elementos: NetCDF diarios compatible con las herramientas de ESRI

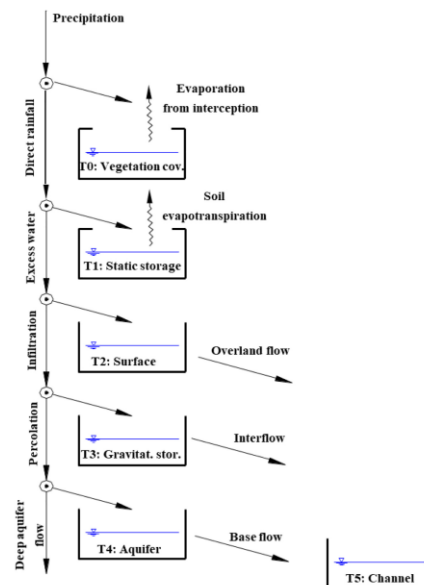
Fase 1 – Estado preoperacional de los modelos. Los modelos han de estar preparados para poder utilizar un forzamiento atmosférico común. El forzamiento común será HARMONIE, el sistema operacional HARMONIE-AROME en AEMET contempla ciclos de predicción son cada 3 horas, con un rango de previsión de 48 horas.

5.2.1. *Modelo de Hidrología Superficial-TETIS*

El modelo hidrológico TETIS es un modelo distribuido (i.e. variabilidad espacial celda a celda), que representa los procesos de ladera y acuífero mediante una estructura de 6 tanques conectados tanto horizontal como verticalmente. Permite resolver los siguientes procesos hidrológicos: (i) intercepción, (ii) fusión de nieve, (iii) evapotranspiración, (iv) infiltración, (v) escorrentía directa, (vi) percolación, (vii) interflujo, (viii) flujo base y (ix) flujo subterráneo profundo.



Conceptualización horizontal de TETIS.



Conceptualización vertical de TETIS

La propagación en la red fluvial (dividida en una red de cauces y otra de cárcavas) se calcula mediante la Onda Cinemática Geomorfológica (OCG). Ésta es un caso particular de las ecuaciones de Saint-Venant, despreciando los términos de fricción y gradientes de presión. El modelo supone que las laderas (escorrentía directa e interflujo) se conectan a la red de cárcavas, y el acuífero se conecta a la red de cauces sólo cuando existe flujo base.

Los datos de entrada son series temporales de precipitación, evapotranspiración potencial y temperatura; así como Modelos Digitales del Terreno (MDT) y mapas de tipo de suelo.

TETIS dispone de dos tipos de parámetros: hidrológicos (intrínsecos a la física de cada celda) y de corrección (común a todas las celdas del dominio). Los parámetros de corrección pueden calibrarse automáticamente con un sistema auxiliar. Los 9

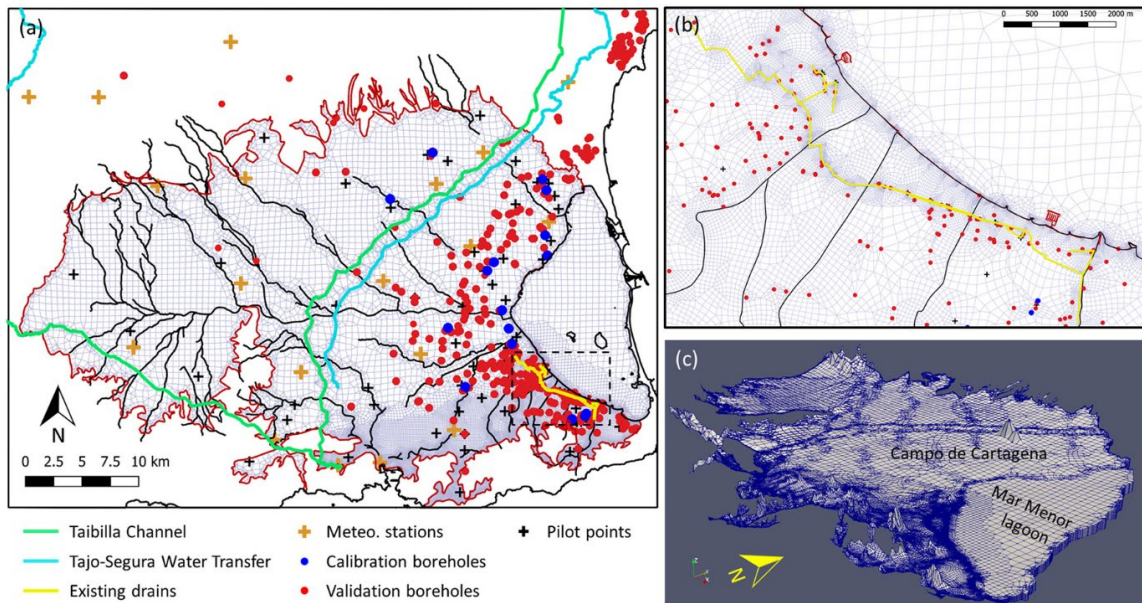
parámetros de corrección son los siguientes: (i) almacenamiento estático máximo, (ii) evapotranspiración, (iii) infiltración, (iv) velocidad superficial en laderas, (v) conductividad hidráulica interflujo, (vi) percolación, (vii) percolación profunda, (viii) conductividad hidráulica de flujo de base, (ix) velocidad de flujo.

- Implementación en la sub-cuenca en el Campo de Cartagena
- El modelo está implementado en las sub-cuencas del Sur del Campo de Cartagena, a una resolución horizontal de 5x5 metros. La resolución temporal de los procesos implementados en TETIS es diaria. Se podría modificar para obtener salidas en pasos temporales de escala horaria, pero se necesita revisar y modificar algunos procesos como el ciclo del nitrógeno y la producción agrícola. El modelo no permite la paralelización del código, pero se puede realizar una pseudo-paralelización por subcuencas. El coste computacional, en una CPU de uso personal es del orden de minutos para una simulación de 7 días.
- **Forzamientos meteorológicos:** SPAIN02 v4 de AEMET (datos diarios de precipitación y temperatura desde 1971 hasta 2024). + Datos de una estación meteorológica cercana, para complementar hasta 2016.
- **Mapa de usos del suelo:** CORINE Land Cover 2016.
- **Evapotranspiración:** estimada a partir de la temperatura mediante la ecuación de Hargreaves y Samani (1985).
- **Áreas de irrigación y volúmenes:** Plan Hidrológico del Segura.

La validación de la evapotranspiración está basada en medidas de satélite: Global Land Evaporation Amsterdam Model (GLEAM) v3.3b (actualmente, en versión 3.5b que cubre hasta finales de 2020; <https://www.gleam.eu/>)

5.2.2. Modelo hidrogeológico del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena

El modelo está basado en el código SUTRA (<https://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/sutra.html>), gestionado por la USGS, que permite simular flujo subterráneo. Este modelo permite el modelado de mallas 2D o 3D, si bien el modelado 2D es en realidad pseudo-3D, al poder variar el espesor de la región 2D en cada nodo de la malla. La resolución de ecuaciones diferenciales de equilibrio de masas de fluidos para flujos subterráneo no-estacionario saturado/no saturado, así como transporte de solutos, mediante el método de los elementos finitos.



Parámetros modelo SUTRA(a) Set-up del modelo, incluyendo la red de agua superficial, las transferencias de agua existentes y drenes, estaciones meteorológicas, pozos usados para la calibración/validación del modelo y puntos piloto; (b) detalle de la discretización de la malla en los alrededores de los drenes existentes; (c) vista 3D de la discretización del modelo (factor de exageración vertical x10).

En el caso concreto del Mar Menor, se considera lo siguiente:

- 1) Se han realizado dos modelizaciones distintas. Por un lado, se ha modelizado una malla pseudo-3D en el que se ha definido una densidad, caudal hidráulico y coeficiente de almacenamiento específico constantes por unidad de espesor en la vertical, que se utilizó para la calibración del modelo y una malla 3D en la cual se tuvo en cuenta la cuña de intrusión salina en las simulaciones.
- 2) La malla combina 8 millones de elementos hexaédricos y prismáticos, de tamaño irregular, yendo desde elementos del orden los centenares de metros hasta elementos del orden de centímetros. La discretización vertical es de 10 niveles. La discretización temporal es diaria.
- 3) Sólo se modela el acuífero Cuaternario superficial. Se supone desconectado de los acuíferos inferiores (hay una capa entre 40-50 m cercanas a la costa, de margas y evaporitas del Plioceno de muy baja conductividad).
- 4) En la parte terrestre, los procesos que controlan el funcionamiento hidráulico del sistema son:
 - a) la recarga de agua dulce por infiltración de agua de lluvia al acuífero superficial,
 - b) los aportes laterales de otros acuíferos al sistema,
 - c) el régimen de bombeos, y
 - d) la interacción entre los cauces de agua y el acuífero superficiales.

- 5) En la parte marina, los procesos físicos relevantes son las corrientes de convección marinas (temperatura y salinidad), el efecto del oleaje en la parte más somera del sistema, y de la fluctuación de la marea (mayor penetración cuanto más alta es la marea, y regresión de la zona de interfaz cuando la marea baja). Debido a que la discretización temporal es diaria, el efecto de mareas diurnas y semidiurnas, así como el oleaje, no se incluye. Si bien las mareas diurnas y semidiurnas quedarían promediadas, no está claro que pasaría con armónicos de largo período (Sa y SSa).

El coste computacional de las simulaciones, usando una CPU normal (enfocada al uso personal y no de computación de alto rendimiento) puede ser del orden de 3 horas para la simulación histórica usada en la calibración y del orden de minutos para la simulación de escenarios una vez calibrado el modelo.

5.2.3. Modelo de circulación costera SHYFEM

El modelo de circulación costera SHYFEM resuelve las ecuaciones de flujo 3D en aguas someras mediante discretización en elementos finitos. El esquema temporal consiste en un algoritmo semi-implícito, dotándole de mayor estabilidad numérica. Su esquema numérico es especialmente indicado para aguas costeras de bajo calado, con batimetría y geometría complicada.

El dominio de cálculo consiste en una única malla del Mar Menor, cuya dimensión horizontal consiste en una densidad variable (tamaño de elementos entre 10 y 1800 metros), con 16133 elementos tipo triángulo (8865 nodos). La resolución vertical es de 10 capas-zeta (i.e. referencia constante en todo el dominio). El paso de malla vertical es de 1 metro, para los primeros 7 metros de calado. Las otras tres capas restantes son a 13, 20 y 36 metros.

Las condiciones iniciales del modelo se han obtenido a partir de los resultados de una campaña específica de la Universidad de Murcia. Las condiciones de contorno para el nivel del mar y las corrientes, consiste en un gradiente de nivel del mar, que representa una corriente longitudinal (i.e. paralela a la línea de costa) equivalente a 0.08 m/s. Éstas no se anidan a ningún modelo oceánico regional. No se incluye forzamiento con mareas. Las condiciones de contorno de temperatura y salinidad sí son extraídas del servicio regional CMEMS MED-MFC.

En referencia a los forzamientos atmosféricos, se toman las observaciones de la estación del Aeropuerto de San Javier (homogéneos en el espacio). Se toman como variables: viento, lluvia, temperatura del aire, humedad, radiación solar y nubosidad. Entre los factores de interacción atmósfera-oceano se destaca un coeficiente de arrastre por viento de 0.0025. El caudal de escorrentía se estima mediante el método racional, considerando un coeficiente de escorrentía uniforme (6.5%). Dentro de la parametrización física del modelo se destacan dos procesos: (i) rugosidad de fondo, constante en todo el dominio (coeficiente de Strickler 30 m^{1/3}/s); (ii) modelo de turbulencia para la viscosidad vertical (k-epsilon, GOTM; estándar en muchos modelos de circulación).

Fase 2 – Estado de interconexión entre modelos. Cada equipo usará de forzamiento las salidas del HARMONIE-AROME de AEMET, como las salidas de componentes relacionados procedentes de la Plataforma. Por ejemplo, el modelo hidrológico superficial proporciona valores de escorrentía, que son condición de contorno a los modelos hidrodinámicos costeros.

5.2.4. Plataforma del sistema de monitorización

Se define la plataforma del sistema de monitorización del mar menor como el conjunto de servicios y herramientas de software necesarios para el completo desarrollo de las siguientes actividades:

- Adquisición de datos instrumentales de múltiples redes de medida a las que tenga acceso el Observatorio del Mar Menor.
- Adquisición de datos de partida para Sistema de Modelado.
- Ejecución de simulaciones del Sistema de Modelado del Mar Menor.
- Almacenamiento de datos instrumentales y productos de las simulaciones numéricas.
- Diseminación controlada de datos.
- Visualización de datos instrumentales y resultados de simulaciones, alertas tempranas y validación de los resultados de los modelos (herramientas de valor añadido).
- Gestión de identidades y control de acceso a las distintas capas y herramientas de la plataforma.

Estas actividades se implementarán mediante los siguientes servicios:

Servicios de adquisición de datos instrumentales

Se deberá dotar a la plataforma de un servicio o conjunto de microservicios encargados de la adquisición de datos instrumentales, ejecución de los procesos de control de calidad que sean necesarios, así como la conversión de los datos a un formato estándar no propietario de la relación de proveedores y datos instrumentales que especifique el IMIDA al inicio de los trabajos. Este servicio deberá ser flexible, permitiendo la ampliación del conjunto de proveedores o de tipo de datos en el futuro por parte de los técnicos de la CARM.

Los datos instrumentales adquiridos de esta forma tendrán que incorporarse tanto al servicio de almacenamiento provisto por el IMIDA para la plataforma del Observatorio del Mar Menor, como a la base de datos de esta plataforma.

Este servicio deberá contar con un mecanismo de control de funcionamiento que permita detectar posibles fallos o anomalías en el funcionamiento de este.

Servicio de adquisición de datos de partida para Modelos

Se dotará a la plataforma de un servicio o conjunto de microservicios encargados de la adquisición de datos de partida, forzamientos y condiciones de contorno procedentes de otros modelos regionales y externos al Sistema de Modelado del Mar Menor que sean necesarios para la ejecución de simulaciones.

Este servicio será el encargado de adquirir y procesar estos datos para su conversión a un formato estándar no propietario. Deberá ser flexible y permitir su futura modificación para adaptarse a cambios en estos datos externos.

Servicios de ejecución de simulaciones del sistema de modelado del Mar Menor

Se deberá dotar a la plataforma de un servicio que gestione la ejecución de las distintas simulaciones del Sistema de Modelado del Mar Menor. Este servicio se compondrá de dos grandes tareas:

- **Gestión de los procesos de ejecución de las operativas**, de manera que se lancen a los nodos de cálculo de la infraestructura hardware sobre la que reside la plataforma del Mar Menor: Esta gestión tendrá que permitir configurar procesos dependientes de otros, identificación de códigos de estado de salida de los procesos y acciones asociadas, así como la definición de particiones o colas de distinta prioridad para garantizar el funcionamiento óptimo de las simulaciones.
- **Desarrollo de los scripts o procesos necesarios** para la realización del preproceso de los datos de entrada necesarios de acuerdo con las especificaciones técnicas que definan los grupos de desarrollo de los diversos modelos de la plataforma del Mar Menor, la ejecución de estos modelos numéricos y el post-procesado de los resultados para su correcto almacenamiento en la plataforma del Mar Menor, tanto de los productos completos como de puntos singulares en base de datos.

Este servicio debe permitir gestionar las simulaciones en varios niveles de acceso. Por un lado, deberá gestionar con un nivel de máxima prioridad las simulaciones diarias necesarias para la correcta identificación de la evolución del sistema del Mar Menor, y por otro lado, con un nivel de prioridad menor, la ejecución de escenarios de casos “y si”, que permitan evaluar los impactos que tendrían diversas actuaciones en el sistema del Mar Menor.

Todos los procesos del servicio de ejecución de Simulaciones del Mar Menor deberán estar correctamente monitorizados para facilitar la identificación de fallos en el sistema y la metodología a seguir para el restablecimiento de este.

Servicios de gestión de la información

Se desarrollará un conjunto de servicios que permitan la visualización de los diversos resultados que se obtengan a través de la plataforma del Observatorio del Mar Menor. Estos servicios se centralizarán en una aplicación web que contará con, al menos, las siguientes características:

- Acceso identificado de los usuarios: Si bien el sistema se desarrollará para el libre acceso de la información del Observatorio del Mar Menor, será necesario registrarse e identificarse para usar esta herramienta. Se dotará de distintos niveles de acceso a los usuarios, de acuerdo con los requisitos que se fijen con el IMIDA al inicio de los trabajos.
- Se dividirá en cinco (5) grandes bloques: (i) Dashboard o cuadro resumen de la situación actual del Mar Menor; (ii) Visualización de la información asociada a la instrumentación y datos obtenidos en tiempo real; (iii) Visualización de la información asociada a las simulaciones de predicción a corto plazo; (iv) Desarrollo y visualización de escenarios “y si”; y (v) Herramientas de configuración y administración de alertas e informes
- La información a mostrar se dividirá al menos en dos tipos: mapas bidimensionales que den información de distribución espacio-temporal de las distintas variables evaluadas y series temporales de evolución de puntos singulares e instrumentos de medidas.

Para llevar a cabo estas tareas, la aplicación web deberá tener acceso a los siguientes servicios:

- Servicio de acceso y consulta a la BBDD de la plataforma del Mar Menor.
- Servicio de generación de mapas 2D de visualización de resultados de los modelos y de instrumentación (insitu o remota).
- Servicio de generación de gráficas de series temporales de datos instrumentales y resultados de modelos, así como métricas de validación de resultados de los modelos.
- Servicio de evaluación y envío de alertas a usuarios.

Servicio de diseminación de datos instrumentales y productos de los modelos

Se desarrollará un servicio que permita la diseminación de los productos de los modelos y la información de la red de medidas de los datos instrumentales. Este servicio distribuirá los datos en formato estándar no propietario de uso científico extendido y permitirá marcar el nivel de acceso de los distintos elementos, de manera que se garanticen las posibles restricciones de uso de los distintos datos procedentes de grupos de investigación o proyectos en desarrollo.

Servicio de gestión de identidades y control de acceso a las herramientas de la plataforma

El servicio de gestión de identidades servirá para provisionar, administrar y controlar los usuarios que accedan a los distintos servicios y herramientas de la Plataforma del Mar Menor. Para poder gestionar de manera eficiente el acceso y uso que se haga de la plataforma y los datos generados y, todo usuario que desee acceder a estos servicios deberá estar identificado correctamente en el sistema, de manera que los

administradores de la Plataforma puedan dotar a cada usuario de un nivel de acceso acorde a su filiación o participación en el Observatorio del Mar Menor.

Este servicio deberá contar con las siguientes características:

- Interfaz gráfica de administración para la provisión de usuarios y configuración del sistema.
- Interoperabilidad basada en estándares abiertos: OpenID Connect e interfaz REST de administración y operación.
- Soporte genérico para aplicaciones (Conectores LDAP, DB, AD...) y la posibilidad de desarrollar conectores específicos por aplicación.
- Soporte para doble factor de autenticación.
- Soporte de políticas de contraseña y notificación de caducidades.
- Soporte de políticas de expiración de usuarios.
- Control del ciclo de vida del usuario: Administración manual o automática de usuarios e identidades.
- Autoservicio y opciones de recuperación de contraseña.
- Auditoría: Todas las acciones realizadas deberán ser auditadas y almacenadas para su consulta posterior desde la interfaz gráfica de administración.

Servicios de adquisición de datos de los diferentes modelos

Se requerirá un servicio para la adquisición de datos instrumentales y de partida para el sistema de modelado, garantizando la calidad y el formato estándar de los datos.

Módulo meteorológico Harmonie-Arome

- Extensión: toda la cuenca del Campo de Cartagena, Mar Menor y Mar Mediterráneo litoral.
- Resolución temporal: horaria.
- Resolución horizontal: mínimo de 2.5 km.
- Debe predecir las siguientes variables: (i) precipitación, (ii) temperatura del aire, (iii) viento a 10 metros, (iv) presión atmosférica en superficie, (v) radiación solar, (vi) humedad relativa.

Módulo hidrología superficial-TETIS

- Extensión: toda la cuenca del Campo de Cartagena.
- Resolución espacial: suficiente para resolver los gradientes del terreno.
- Resolución temporal: sub-diaria (horas). Con el fin de capturar correctamente los gradientes y flash floods.

- Debe incorporar los diferentes tipos de suelo y MDT.
- Debe calcular la percolación, por lo tanto, la recarga hacia los acuíferos solidarios a la cuenca del Campo de Cartagena, en particular el acuífero cuaternario que aporta agua y nutrientes al Mar Menor.
- Debe tratarse la evapotranspiración, considerando diferentes formulaciones; como aquellas que sólo tienen en cuenta la temperatura (Hargreaves), o aquellas que tengan en cuenta diferentes variables (temperatura, humedad relativa).
- Contemplar transporte de sedimento por fondo y por suspensión.

Módulo hidrología subterránea-SUTRA

- Extensión: Debe cubrir todos los acuíferos cuaternarios conectados con la cuenca del Campo de Cartagena.
- Resolución espacial: suficiente para resolver la geometría de los acuíferos cuaternarios. Se recomienda mayor resolución espacial cerca de la costa (del orden de una decena de metros), para poder resolver la cuña salina.
- El modelo tiene que ser tridimensional, para poder resolver el transporte en la dimensión vertical y procesos físicos, como la mencionada cuña salina.
- La resolución temporal mínima debe ser diaria.
- El MDT tiene que ser coherente con el que se use para el módulo de hidrología superficial.
- Las ecuaciones de transporte (agua y solutos) deben ser resueltas como flujo en densidad variable, para que tenga en cuenta los fuertes gradientes de salinidad que hay en el contorno Este del acuífero.
- El modelo debe incluir pozos y bombeos.
- El modelo tiene que incluir la variación del nivel del mar debido a períodos largos (anuales, semi-anuales) por marea astronómica. A un paso de tiempo diario, gran parte de la información de los armónicos diarios y semidiarios se pierde; pero se puede representar correctamente dichos períodos largos.

Módulo hidrodinámico costero-SHYFEM

- Extensión: Todo el Mar Menor y el área costera colindante en el Mar Mediterráneo.
- La resolución espacial máxima horizontal debe ser del orden de 10 metros en la zona de las Golas.
- La resolución vertical debe ser suficiente para reproducir posibles episodios de estratificación, así como el transporte baroclínico (dependiente de gradientes en vertical de salinidad y temperatura) en el Mar Menor. Debido

al calado en la zona (con un máximo del orden de 10 metros en el interior de dicho mar), se recomienda un mínimo de 10 capas verticales. La discretización puede ser tanto en capas sigma (i.e. paso de malla variable, en función de la profundidad), como en zeta (i.e. paso de malla constante).

- La resolución temporal debe ser horaria, con el fin de capturar los gradientes inducidos por marea diurna y semidiurna, así como los regímenes intradías del viento.
- El modelo debe tener como input flujos de masa de agua procedentes de tierra, tanto por escorrentía como por descarga del acuífero.
- El modelo tiene que resolver flujos de masa de agua en el Mar Menor inducidos por (i) mareas, (ii) factores atmosféricos (viento y presión atmosférica) y contemplar la circulación del Mar Mediterráneo (véase punto siguiente).
- El modelo tiene que estar anidado a un modelo de circulación regional (como Copernicus Marine Service **IBI-MFC**), añadiendo en su condición de contorno datos de (i) corrientes marinas, (ii) nivel del mar, (iii) temperatura del agua y (iv) salinidad.

5.2.5. Sistema integral de modelado del Mar Menor

El Sistema de Modelado del Mar Menor, como elemento integrado dentro de la Plataforma del Mar Menor, consistirá en un conjunto de modelos numéricos que cubran la Cuenca Vertiente, el Acuífero Cuaternario, la Laguna Costera del Mar Menor y las conexiones entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo. El desarrollo de la ampliación de modelado de los diversos modelos numéricos será revisado por el IMIDA, no obstante, es parte del alcance de este contrato el desarrollo de las siguientes actividades asociadas al sistema de modelado:

Interconexión entre modelos

Los modelos que conforman el Sistema de Modelado tienen una fuerte interdependencia entre ellos, y por lo tanto tendrá que coordinarse con los equipos de trabajo de desarrollo de los modelos para evaluar los requisitos de entrada y salida de cada modelo, así como las dependencias de anidamiento o acoplamiento entre los distintos modelos. Por lo tanto, tendrá que definirse con claridad un esquema de modelado global, donde se describan la transferencia de datos entre los distintos modelos, orden de ejecución de los modelos, así como posibles acoplamientos de modelos, en una única dirección o acoplamiento completo bidireccional.

También tendrá garantizarse que los datos de partida usados por los distintos modelos son consistentes y coherentes entre sí, así como las diversas hipótesis de partida que permitan minimizar las incertidumbres en el sistema de modelado.

Un punto fundamental en un sistema de gestión integral es la interconexión entre módulos. Si bien, cada módulo es altamente complejo, hay ciertas variables comunes, tanto de entrada como salida. Los diferentes módulos estarán conectados mediante dos tipos de información: (i) una serie de datos de entrada comunes a diferentes módulos; (ii) variables generadas por un módulo determinado (modelo donante de salidas), que se usan como entradas en módulos receptores.

	HID. SUP	HID. SUB.	HID. COS.
Cartografía y batimetría	X	X	X
Usos del suelo	X		
Tipo de cultivo y vegetación	X		
Datos de pozos y bombeos	X	X	
Sedimentología	X		
Ríos y canales	X	X	
Modelo regional oceánico			X

Datos de entrada comunes a los diferentes módulos del sistema.

METEO: módulo meteorológico; HID. SUP: módulo hidrología superficial; HID. SUB. módulo hidrología subterránea; HID. COS: módulo hidrodinámico costero.

La Tabla siguiente ordena por filas los diferentes datos de entrada para los distintos módulos (columnas) del sistema. Con una cruz, están marcados aquellos datos que se usan en un módulo determinado. Garantizar datos de entrada comunes, es esencial para acotar la incertidumbre en los resultados globales del sistema. De usarse distintas fuentes de datos de entrada, los resultados perderían fiabilidad, ya que dificultarían el intercambio entre variables.

		DONANTE			
		METEO	HID. SUP	HID. SUB.	HID. COS.
RECEPTOR	METEO				
	HID. SUP.	Precipitación, Temp, Hum. Relativa, Flujos de calor		Bombeos	
	HID. SUB.		Recarga a acuífero cuaternario		Patrón salinidad, Nivel del mar
	HID. COS.	Viento, Pres. Atmosf, Temp, Hum. Relativa, Flujos de calor, Precipitación	Escorrentía	Flujo subterráneo	Campos corrientes, Temperatura, Salinidad

Variables de intercambio entre los distintos módulos.

METEO: módulo meteorológico; HID. SU.P: módulo hidrología superficial y biogeoquímica; HID. SUB.: módulo hidrología subterránea; HID. COS: módulo hidrodinámico costero

La Tabla anterior ordena las diferentes variables de intercambio entre módulos, donde los módulos donantes están en las columnas y los receptores en las filas. Por ejemplo, el módulo meteorológico (donante) proporciona datos de precipitación, temperatura, humedad relativa y flujos de calor tanto al Módulo de Hidrología Superficial como al de Hidrodinámica Costera (receptores).

Adaptación de los modelos al Sistema de Modelado del Mar Menor

Una vez terminados los desarrollos de los modelos numéricos asociados al Sistema de Modelado del Mar Menor se integrarán estos en la Plataforma del Observatorio del Mar Menor, de manera que los modelos funcionen en la máquina de cálculo disponible, y sean compatible con las versiones de software existentes.

Se verificará el correcto funcionamiento del servicio de ejecuciones de la Plataforma en modo operacional y las capacidades de ejecución de escenarios “y si”.

5.2.6. Soporte técnico, mantenimiento y seguridad

El adjudicatario del contrato será responsable del soporte técnico para la corrección de problemas y mejoras del sistema durante los cuatro (4) meses posteriores a la implementación de la Plataforma del Mar Menor.

La seguridad de la información es un requisito importante, por ello la plataforma y todos los procesos asociados deberán cumplir con la normativa vigente y las mejores prácticas, debiendo disponer de certificados en categoría MEDIA del Esquema Nacional de Seguridad.

Asimismo, los licitadores deberán aportar en el **sobre nº1** de la oferta el certificado de conformidad de los servicios a categoría ENS MEDIA o el compromiso de obtener el certificado de conformidad con el Esquema Nacional de Seguridad en categoría MEDIA en un plazo máximo de **un (1) mes** desde el inicio del contrato.

5.3. Implementación de la plataforma del sistema integral de modelado del Mar Menor

El adjudicatario tendrá que implementar todo el software, servicios y modelos numéricos en la plataforma hardware destinada para dicho fin por el IMIDA. Se considerará implementada la Plataforma del Mar Menor cuando se hayan desplegado todo el conjunto de elementos y se haya verificado su correcto funcionamiento de manera individualizada y colectiva, así como los distintos sistemas de detección y monitorización de fallos que se hayan dispuesto.

5.4. Informes y documentación requerida durante la ejecución del contrato

Durante la ejecución del contrato se requerirá la preparación y entrega, en formato PDF, de la siguiente documentación:

- Informe trimestral de seguimiento del contrato, cuyo contenido final será fijado por el IMIDA al inicio del contrato. Incluirá como mínimo el progreso realizado durante el trimestre para las distintas tareas, situación real frente al cronograma original, medidas correctoras y resumen de las reuniones de seguimiento del contrato.
- Informe general consolidado, recopilatorio de los informes trimestrales de seguimiento, a la finalización del contrato y una vez realizados todos los trabajos.
- Documentación asociada a los desarrollos informáticos relativos a la “Plataforma del Sistema del Mar Menor” recogidos en el Alcance del Contrato:
 - Archivos en formato NetCDF compatible con la tecnología de ESRI:
 - Variables de la salida de todos los modelos.
 - Variables de intercambio de todos los modelos.
 - Periodo de simulación.
 - Documento de arquitectura de la plataforma. Debe incluir al menos:
 - Módulos del sistema.
 - Interfaz de Comunicación entre sistemas.
 - Estructura interna de los módulos del sistema.
 - Manual de instalación. Debe incluir al menos:
 - Requisitos del sistema.
 - Instrucciones para la instalación y configuración de cada uno de los módulos.
 - Configuración para garantizar el acceso a los sistemas externos.
 - Documentación de operación. Donde se describa, al menos:
 - Arranque y parada de los diferentes módulos.
 - Documentación descriptiva de los registros generados por cada una de las aplicaciones y servicios.
 - Determinación de posibles fallos en el sistema y definición de los protocolos de actuación para resolver dichos fallos.
 - Manual de usuario y administrador de la interfaz web.

- Documentación de desarrollador para los servicios de adquisición de datos, de manera que se puedan implementar nuevas fuentes de adquisición en el futuro.
- Documentación técnica de la cadena operativa asociada a los modelos numéricos, que deberá incluir, al menos:
 - Requisitos de los modelos para su despliegue en la plataforma.
 - Jerarquía e interconexión entre modelos.
 - Configuración de los modelos dentro de la cadena operacional
 - Flujo de trabajo de la cadena operacional