

## **PREMIOS EJÉRCITO DEL AIRE Y DEL ESPACIO 2026**

*Categoría 5.8.1.3 — Transformación Digital en el EA*

# **ORM Digital, Mejorando la Seguridad de Vuelo**

***CUANDO LA PREVENCIÓN DEJA DE SER SOLO PAPEL RELLENO***



## RESUMEN EJECUTIVO

La gestión del riesgo operacional (ORM, Operational Risk Management) es una práctica esencial en aviación. Sin embargo, en la actualidad las unidades del Ejército del Aire y del Espacio utilizan mayoritariamente formularios en papel o ficheros estáticos, sin capacidad de análisis agregado, trazabilidad histórica ni integración de datos externos. Cada relleno es un acto aislado cuya información se pierde una vez archivado el documento.

SkyORM es una plataforma web desarrollada en PHP 8.2 / Symfony 7 que digitaliza íntegramente el proceso ORM: desde la creación de plantillas configurables hasta el análisis estadístico y la asistencia mediante inteligencia artificial. El sistema ha sido diseñado para ser desplegable en infraestructura propia de la Fuerza Aérea, sin dependencias de servicios en la nube obligatorias, y con un modelo de acceso granular por unidad, plantilla y rol.

La herramienta incorpora tres plantillas de referencia implementadas y sincronizables de forma idempotente: el ORM de paracaidismo automático, el ORM de paracaidismo manual y el AGA AvORM v25.1 basado en la hoja de cálculo SPAF Fighter Aviation. Esta última incluye 47 factores puntuados, 5 páginas y una matriz de fase que proyecta simultáneamente el riesgo de despegue, aterrizaje y vuelo en ruta, integrando sugerencias meteorológicas procedentes del servicio Open-Meteo.

La validación del sistema se ha realizado con datos sintéticos generados mediante comandos de demostración, cubriendo 80 días laborables de respuestas simuladas sobre los tres modelos de plantilla. No se han realizado pruebas con unidades reales del EA; el objetivo del presente trabajo es acreditar un concepto plenamente desarrollado y listo para despliegue en un entorno operativo real.

Las capacidades principales son: editor de plantillas drag-and-drop, motor de puntuación con factores escalares, selección, booleanos y matrices de fase, modificadores globales, umbrales de riesgo con aprobación por correo electrónico firmado, asistente de relleno wizard multipágina con validación en tiempo real, integración meteorológica Open-Meteo con motor de reglas de color, analítica agregada e individual, análisis por IA (Groq / OpenAI / xAI), asistente conversacional contextual, exportación CSV y generación de informes PDF personales.

***EL RIESGO SE GESTIONA. LOS DATOS LO DEMUESTRAN.***

## EXECUTIVE SUMMARY

SkyORM is a web-based digital platform that transforms Operational Risk Management (ORM) for aviation. Developed in PHP 8.2 / Symfony 7, the system replaces paper-based and static spreadsheet forms — currently dominant in Spanish Air and Space Force (EA) units — with a fully digital workflow: configurable template design, guided multi-page fill assistant, automatic scoring, digital authorization, and historical analytics.

The platform implements three synchronizable reference templates: the Automatic Parachuting ORM, the Manual Parachuting ORM, and the AGA AvORM v25.1 based on the SPAF (Fighter Aviation) spreadsheet from the Academia General del Aire. The AGA template includes 47 scored factors across five pages and a phase-matrix factor type that simultaneously projects risk across takeoff (T/O), landing (LDG), and en-route (ALT) flight phases, with weather bindings to the Open-Meteo forecast service.

Key capabilities include: drag-and-drop template constructor; scoring engine supporting scale, select, boolean, and phase-matrix factor types; global modifiers; risk thresholds with cryptographically signed email approval links; real-time live page subtotals; Open-Meteo weather integration with a configurable color-rule engine (GREEN/YELLOW/ORANGE/RED); AI-powered risk analysis (Groq / OpenAI / xAI) with preventive recommendations; personal statistics with trend analysis and automated conclusions; aggregated owner dashboard with 60-day time series; CSV export with phase and page subtotals; and personal PDF reports.

All validation has been performed with synthetic data generated by the system's demonstration commands, covering approximately 80 working-day simulated responses across all three templates. No live EA unit testing has been conducted; the aim is to demonstrate a fully developed, deployment-ready concept. The transition from synthetic to operational data requires no structural changes to the system. SkyORM is ready to begin a limited operational pilot in an EA unit.

***WHEN PREVENTION CEASES TO BE PAPER. RISK IS MANAGED. DATA  
PROVE IT.***

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>                                            | <b>3</b>  |
| <b>EXECUTIVE SUMMARY.....</b>                                            | <b>4</b>  |
| <b>1. CONTEXTO ESTRATÉGICO Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....</b> | <b>9</b>  |
| 1.1 El riesgo operacional en aviación militar .....                      | 9         |
| 1.2 Situación actual: el papel como herramienta dominante .....          | 10        |
| 1.3 Brecha digital identificada.....                                     | 10        |
| <b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....</b>                                    | <b>13</b> |
| 2.1 Objetivo principal.....                                              | 13        |
| 2.2 Objetivos secundarios.....                                           | 13        |
| <b>3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN SKYORM .....</b>                        | <b>14</b> |
| 3.1 Visión general.....                                                  | 14        |
| 3.2 Actores del sistema .....                                            | 15        |
| 3.3 Funcionalidades principales implementadas.....                       | 15        |
| 3.4 Tipos de acceso a plantillas .....                                   | 17        |
| 4.1 Stack tecnológico .....                                              | 19        |
| 4.2 Modelo de datos principal.....                                       | 19        |
| 4.3 Tipos de entrada de factores .....                                   | 20        |
| <b>5. PLANTILLAS DE REFERENCIA IMPLEMENTADAS.....</b>                    | <b>21</b> |
| 5.1 ORM de Paracaidismo Automático .....                                 | 21        |
| 5.2 ORM de Paracaidismo Manual .....                                     | 22        |
| 5.3 AGA AvORM v25.1.....                                                 | 22        |
| <b>6. MOTOR DE PUNTUACIÓN.....</b>                                       | <b>27</b> |
| 6.1 Algoritmo de puntuación.....                                         | 27        |
| 6.2 La matriz de fase (phase_matrix) .....                               | 27        |
| 6.3 Modificadores globales .....                                         | 29        |
| 6.4 Umbrales y clasificación de riesgo.....                              | 30        |
| 6.5 Mecanismo de suspensión de actividad .....                           | 30        |
| 6.6 Subtotales por página.....                                           | 30        |
| <b>7. INTEGRACIÓN METEOROLÓGICA.....</b>                                 | <b>33</b> |
| 7.1 Modelo de datos meteorológico .....                                  | 33        |
| 7.2 Motor de reglas de color .....                                       | 33        |

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.3 Flujo de asistencia en el relleno .....                        | 34        |
| 7.4 Datos meteorológicos en Open-Meteo .....                       | 35        |
| 7.5 Catálogo global de ubicaciones .....                           | 36        |
| <b>8. ASISTENTE DE RELLENO WIZARD MULTIPÁGINA .....</b>            | <b>37</b> |
| 8.1 Navegación y validación por página .....                       | 37        |
| 8.2 Subtotales en vivo por página .....                            | 39        |
| 8.3 Diseño responsive y logo .....                                 | 40        |
| 8.4 Relleno de depuración automática.....                          | 41        |
| 9.1 Panel de mando del propietario (vista agregada).....           | 43        |
| 9.2 Estadísticas personales (vista individual).....                | 47        |
| 9.2.1 Resumen operativo y conclusiones automáticas.....            | 48        |
| 9.2.2 Serie temporal por día .....                                 | 50        |
| 9.2.3 Mix de riesgo y actividad reciente .....                     | 51        |
| 9.2.4 Evolución temporal y distribución de scores.....             | 53        |
| 9.2.5 Análisis de concentración temporal: día y hora.....          | 54        |
| 9.2.6 Análisis de factores: modificadores y valores calientes..... | 55        |
| 9.2.7 Historial de respuestas recientes .....                      | 56        |
| 9.3 Análisis por inteligencia artificial.....                      | 57        |
| 9.4 Asistente conversacional contextual.....                       | 58        |
| 9.5 Exportación e informe PDF personal .....                       | 59        |
| <b>10. FLUJO DE AUTORIZACIÓN POR UMBRAL.....</b>                   | <b>60</b> |
| 10.1 Configuración de umbrales de autorización.....                | 60        |
| 10.2 Estados de una respuesta.....                                 | 60        |
| 10.3 Mecanismo de aprobación por email.....                        | 60        |
| <b>11. SINCRONIZACIÓN IDEMPOTENTE DE PLANTILLAS .....</b>          | <b>63</b> |
| 11.1 Comportamiento de la sincronización .....                     | 63        |
| 11.2 Verificación de integridad .....                              | 63        |
| 12.1 Exportación CSV.....                                          | 65        |
| 12.2 URL compartible de resultado.....                             | 66        |
| 12.3 Registro de snapshots meteorológicos .....                    | 66        |
| <b>13. SEGURIDAD, ACCESO Y ROLES .....</b>                         | <b>67</b> |
| 13.1 Autenticación .....                                           | 67        |
| 13.2 Modelo de roles por plantilla.....                            | 67        |
| 13.3 Reutilización de plantillas (starter).....                    | 67        |
| <b>14. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN CON DATOS SINTÉTICOS.....</b>     | <b>69</b> |
| 14.1 Comandos de generación de datos .....                         | 69        |

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 14.2 Cobertura de la validación sintética .....                      | 69        |
| 14.3 Posicionamiento: concepto validado, listo para despliegue ..... | 70        |
| <b>15. HOJA DE RUTA Y LÍNEAS DE EVOLUCIÓN .....</b>                  | <b>71</b> |
| 15.1 Versionado inmutable de plantillas.....                         | 71        |
| 15.2 Flujos de autorización multi-paso.....                          | 71        |
| 15.3 Ingesta de METAR/TAFOR oficial .....                            | 71        |
| 15.4 Perfil de viento vertical para DZ .....                         | 71        |
| 15.5 Cobertura de tests y calidad de código.....                     | 72        |
| 15.6 Integración con sistemas corporativos del EA .....              | 72        |
| <b>16. CONCLUSIONES .....</b>                                        | <b>73</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                            | <b>77</b> |



# 1. CONTEXTO ESTRATÉGICO Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

## 1.1 El riesgo operacional en aviación militar

La aviación militar opera en entornos de alta complejidad y consecuencias potencialmente irreversibles. El concepto de Operational Risk Management (ORM), adoptado por las principales fuerzas aéreas aliadas a partir de los años noventa, propone una evaluación estructurada del riesgo antes de cada misión: identificar los factores de riesgo presentes, cuantificarlos mediante una puntuación y comparar el resultado con unos umbrales de autorización previamente definidos.

El ORM no es un trámite burocrático; es una herramienta de prevención activa. Un piloto fatigado, unas condiciones meteorológicas degradadas o una aeronave con discrepancias técnicas acumulan riesgo que, correctamente sumado y comparado contra un umbral, puede activar una solicitud de autorización superior o, en los casos más graves, suspender directamente la actividad.

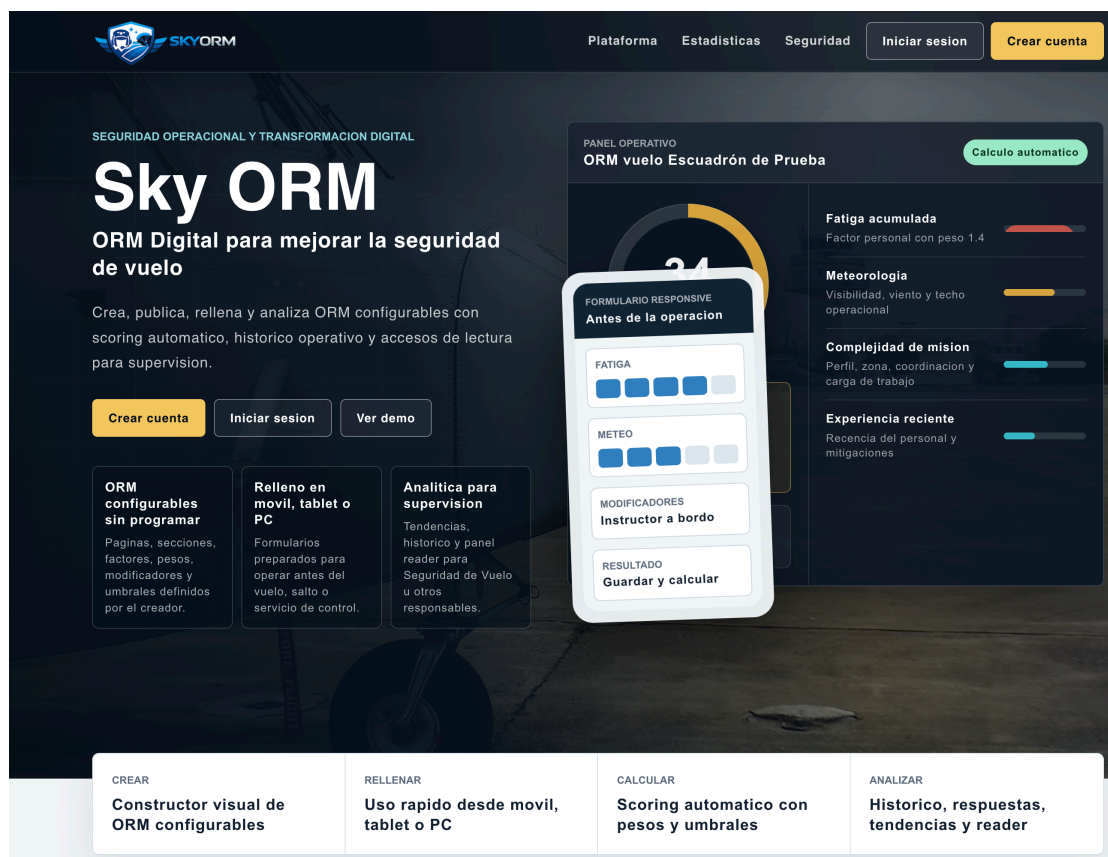


Figura 1. Plataforma SkyORM: pantalla de inicio pública con propuesta de valor, acceso al formulario y capacidades principales.

## 1.2 Situación actual: el papel como herramienta dominante

A pesar de la claridad conceptual del ORM, su implementación práctica en muchas unidades se sigue apoyando en formularios en papel o en hojas de cálculo estáticas. Este modelo presenta limitaciones estructurales significativas:

- Cada relleno es un evento aislado: los datos no se agregan ni se analizan de forma sistemática.
- La verificación de la puntuación depende del criterio del rellenedor: no existe cálculo automático.
- La trazabilidad histórica es inexistente o muy limitada: los formularios se archivan físicamente.
- No hay mecanismo de integración con datos externos como la meteorología o el estado de la aeronave.
- Los mandos no pueden acceder a estadísticas agregadas de su unidad ni identificar tendencias de riesgo.
- La comunicación de autorizaciones se realiza por canales informales, sin registro digital.



Figura 2. "Cuando la ORM se queda en papel, la información crítica se dispersa": diagnóstico de las tres limitaciones estructurales del modelo actual.

## 1.3 Brecha digital identificada

El Ejército del Aire y del Espacio ha emprendido una decidida hoja de ruta de transformación digital, alineada con el Plan Director de Transformación Digital de las Fuerzas Armadas. En este contexto, la gestión del riesgo operacional representa

una de las áreas con mayor potencial de mejora mediante la digitalización: es un proceso repetitivo, estructurado y con datos cuantificables que se presta naturalmente a la automatización, el almacenamiento estructurado y el análisis.

La brecha consiste en que, pese a existir metodologías ORM bien definidas y recursos técnicos disponibles, no existe en el ámbito del EA una plataforma digital de uso general que cubra el ciclo completo: diseño de plantilla, relleno asistido, cálculo automático, autorización digital y análisis histórico. SkyORM nace para cerrar esa brecha.



## 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

---

### 2.1 Objetivo principal

Desarrollar una plataforma web completa que permita a las unidades del Ejército del Aire y del Espacio diseñar, gestionar, rellenar y analizar formularios ORM digitales, sustituyendo los procesos manuales actuales por un flujo digital, trazable y apoyado en datos.

### 2.2 Objetivos secundarios

- Implementar un motor de puntuación automático que soporte factores de tipo escala, selección, booleano y matriz de fase.
- Proporcionar integración meteorológica en tiempo real para asistir al rellenador con datos objetivos de condiciones del campo.
- Ofrecer capacidades de analítica agregada (panel de mando) e individual (estadísticas personales) sobre las respuestas históricas.
- Incorporar análisis por inteligencia artificial sobre los patrones de riesgo individuales del piloto/paracaidista.
- Diseñar un flujo de autorización digital por umbral con firma electrónica mediante enlaces de correo firmado.
- Proporcionar plantillas de referencia sincronizables para los ORMs de paracaidismo y para el AGA AvORM v25.1.
- Asegurar la despleabilidad en infraestructura propia del EA, sin dependencias de nube obligatorias.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN SKYORM

#### 3.1 Visión general

SkyORM es una aplicación web desarrollada en PHP 8.2 con el framework Symfony 7, base de datos MySQL y frontend basado en Bootstrap 5. La arquitectura sigue el patrón MVC de Symfony con servicios especializados para puntuación, analítica, meteorología e IA. El sistema no requiere conexiones salientes para su funcionamiento básico; solo la integración meteorológica y los proveedores de IA utilizan APIs externas configurables.

La plataforma distingue dos capas funcionales: (1) la capa de gestión de plantillas, donde los creadores de ORM definen la estructura, los factores, los modificadores, los umbrales y las configuraciones de acceso; y (2) la capa de relleno y análisis, donde pilotos, paracaidistas y demás operadores completan el ORM, obtienen su puntuación y pueden acceder a estadísticas e informes personales.

LA SOLUCION SKYORM

#### Una plataforma real para crear, publicar, rellenar y analizar ORM digitales.

SkyORM convierte la metodología de gestión del riesgo operacional en un flujo digital completo: diseño sin código, formulario responsive, resultado inmediato, historico personal y paneles para supervision.



Figura 3. "Una plataforma real para crear, publicar, rellenar y analizar ORM digitales": cinco capacidades principales de SkyORM (A-E).



Figura 4. "De la plantilla al aprendizaje operativo en cinco pasos": flujo completo de Crear → Publicar → Rellenar → Calcular → Analizar.

## 3.2 Actores del sistema

| Rol                | Descripción                                                                                      |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Visitante anónimo  | Puede rellenar ORMs públicos o con contraseña si las respuestas anónimas están habilitadas.      |
| Usuario registrado | Puede rellenar ORMs permitidos, ver sus propias respuestas y acceder a estadísticas personales.  |
| Propietario ORM    | Crea y edita plantillas, gestiona colaboradores/lectores y accede al panel de mando completo.    |
| Colaborador ORM    | Puede editar plantillas compartidas con permisos de colaboración.                                |
| Lector ORM         | Puede ver estadísticas y panel de mando para plantillas compartidas (sin edición).               |
| Administrador root | Controla la gestión de usuarios, roles, configuración global y áreas administrativas protegidas. |

## 3.3 Funcionalidades principales implementadas

- Editor de plantillas (constructor) con páginas, secciones, factores, modificadores y umbrales.
- Tipos de factores: escala, selección, booleano, matriz de fase, texto, área de texto, fecha/hora y firma.

- Asistente de relleno wizard multipágina con validación HTML5 por página y subtotales en vivo.
- Motor de puntuación automático con suspensión de actividad y subtotales por página.
- Integración meteorológica Open-Meteo con motor de reglas de color (VERDE/AMARILLO/NARANJA/ROJO).
- Flujo de autorización digital: respuestas pendientes/aprobadas/rechazadas con enlaces de email firmado.
- Panel de mando del propietario con distribución de umbrales, series temporales y factores de mayor riesgo.
- Estadísticas personales completas: volatilidad, percentiles, tendencia, carga de riesgo preventivo.
- Análisis por IA (Groq / OpenAI / xAI) con recomendaciones preventivas personalizadas.
- Asistente conversacional contextual con base de conocimiento de SkyORM.
- Exportación CSV con columnas de factores crudos, subtotales de fase y subtotales por página.
- Informe PDF personal con KPIs, gráficas y conclusiones automáticas, enviable por email.
- Sincronización idempotente de plantillas de referencia (TemplateSyncer) con gestión de factores obsoletos.
- Comandos de demostración para generación de datos sintéticos y validación de conteos.

APLICACIONES OPERATIVAS

## Un mismo motor ORM para actividades de vuelo, salto y supervisión.

La plataforma no impone una plantilla única. Cada creador adapta la ORM a su contexto, desde operaciones aéreas hasta paracaidismo, control, bases o organizaciones completas.



Figura 5. "Un mismo motor ORM para actividades de vuelo, salto y supervisión": aplicaciones del sistema en los distintos contextos operativos del EA.

### 3.4 Tipos de acceso a plantillas

| Tipo     | Descripción                                                                      |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| public   | Visible y rellenable por cualquier usuario cuando la plantilla está publicada.   |
| password | Visible pero el relleno requiere una contraseña de sesión.                       |
| private  | Solo accesible para propietario, colaboradores y lectores con permiso explícito. |



## 4. ARQUITECTURA TÉCNICA

---

### 4.1 Stack tecnológico

| Componente        | Tecnología              | Versión      |
|-------------------|-------------------------|--------------|
| Lenguaje backend  | PHP                     | 8.2          |
| Framework         | Symfony                 | 7.x          |
| Base de datos     | MySQL                   | 8.0+         |
| ORM base de datos | Doctrine ORM            | 3.x          |
| Frontend UI       | Bootstrap               | 5.x          |
| JavaScript        | Vanilla JS + AJAX       | —            |
| Mapas             | Leaflet / OpenStreetMap | 1.x          |
| Selectores        | Select2                 | 4.x          |
| Gráficas          | Chart.js                | 4.x          |
| Meteorología      | Open-Meteo API          | free tier    |
| IA (opcional)     | Groq / OpenAI / xAI     | configurable |

### 4.2 Modelo de datos principal

La estructura de datos de SkyORM sigue una jerarquía clara que refleja la organización de un formulario ORM real. Las entidades principales son:

| Entidad           | Descripción                                                                                                         |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OrmTemplate       | Plantilla raíz. Define nombre, slug, tipo de acceso, estado y clasificación ORM.                                    |
| OrmPage           | Página dentro de la plantilla. Un ORM multipágina genera un wizard en el relleno.                                   |
| OrmSection        | Agrupación visual de factores dentro de una página.                                                                 |
| OrmFactor         | Factor/pregunta individual. Define tipo de entrada, peso, opciones JSON y comportamiento de suspensión.             |
| OrmModifier       | Modificador global de puntuación. Se aplica a toda la respuesta.                                                    |
| OrmThreshold      | Umbral de riesgo con rango scoreMin/scoreMax, etiqueta, color y texto de autorización.                              |
| OrmResponse       | Respuesta/envío completo. Almacena puntuación total, umbral alcanzado, estados de autorización y JSON de auditoría. |
| OrmFactorResponse | Respuesta individual a un factor. Almacena el valor crudo y la puntuación calculada.                                |

|                     |                                                                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OrmPermission       | Rol de usuario sobre una plantilla (owner / collaborator / reader).                               |
| OrmLocation         | Catálogo de ubicaciones (aeródromo, DZ, punto en ruta) con coordenadas lat/lon.                   |
| OrmTemplateLocation | Asocia una ubicación a una plantilla con un rol (despegue, aterrizaje, DZ, alternativo, en ruta). |
| OrmWeatherBinding   | Vincula un factor a una ubicación y perfil meteorológico, mapeando colores a valores del factor.  |

### 4.3 Tipos de entrada de factores

| Tipo         | Clase    | Puntuación                    | Descripción                                             |
|--------------|----------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|
| scale        | Puntuado | Valor numérico × peso         | Escala numérica configurable (p. ej. 0–4).              |
| select       | Puntuado | Score de opción × peso        | Selección única de lista con puntuación por opción.     |
| boolean      | Puntuado | trueScore / falseScore × peso | Sí/No con puntuaciones configurables.                   |
| phase_matrix | Puntuado | T/O + LDG + ALT × peso        | Matriz de fase: proyecta en tres fases simultáneamente. |
| text         | Metadato | 0 (siempre)                   | Texto libre. No afecta la puntuación.                   |
| textarea     | Metadato | 0 (siempre)                   | Área de texto. No afecta la puntuación.                 |
| datetime     | Metadato | 0 (siempre)                   | Fecha/hora. No afecta la puntuación.                    |
| signature    | Metadato | 0 (siempre)                   | Campo de firma. No afecta la puntuación.                |

## 5. PLANTILLAS DE REFERENCIA IMPLEMENTADAS

---

SkyORM incluye tres plantillas de referencia implementadas como código en comandos Symfony sincronizables mediante el servicio TemplateSyncer. Estas plantillas representan los formularios ORM más utilizados en el ámbito paracaidista y de aviación de caza del EA. La sincronización es idempotente: ejecutar el comando en cualquier momento actualiza la plantilla sin pérdida de datos históricos.

### 5.1 ORM de Paracaidismo Automático

Corresponde al formulario ORM de saltos en caída libre y paracaidismo automático. Está organizado en una única página con cinco secciones: identificación, tipo de lanzamiento, riesgo del paracaidista, observaciones y firmas.

| Métrica            | Valor                                        |
|--------------------|----------------------------------------------|
| Factores puntuados | 10 (escala 0–4)                              |
| Factores metadato  | 4 (rango, aeronave, fecha/hora de operación) |
| Factores firma     | 4                                            |
| Modificadores      | 4                                            |
| Umbrales           | 4                                            |

Los diez factores puntuados evalúan:

- Presión por misión
- Ciclo de sueño reciente (horas dormidas)
- Fatiga acumulada
- Horas de vuelo / salto en las últimas 72 h
- Estado emocional
- Consumo de sustancias o medicación
- Estado nutricional / hidratación
- Problemas médicos
- Experiencia paracaidista (número de saltos)
- Confianza en el salto

## 5.2 ORM de Paracaidismo Manual

Versión del ORM para saltos con apertura manual. Comparte los mismos diez factores puntuados y la estructura de cinco secciones, pero incorpora modificadores adicionales relacionados con el tipo de paracaídas, el equipo y las condiciones del salto manual.

| Métrica            | Valor                          |
|--------------------|--------------------------------|
| Factores puntuados | 10 (escala 0–4)                |
| Factores metadato  | 5 (incluye tipo de paracaídas) |
| Factores firma     | 4                              |
| Modificadores      | 8                              |
| Umbrales           | 4                              |

## 5.3 AGA AvORM v25.1

Basada en la hoja de cálculo SPAF (Fighter Aviation) de la Academia General del Aire, es la plantilla ORM más completa del sistema. Organiza 47 factores puntuados en cinco páginas que se corresponden con las dimensiones clásicas de riesgo en aviación de caza: identificación, misión, entorno, aeronave y persona.

| Métrica            | Valor                                                  |
|--------------------|--------------------------------------------------------|
| Factores puntuados | 47                                                     |
| Factores metadato  | 7                                                      |
| Factores firma     | 1                                                      |
| Modificadores      | 0 (todas las condiciones son factores)                 |
| Umbrales           | 5                                                      |
| Páginas            | 5 (identificación, misión, entorno, aeronave, persona) |
| Template Locations | 2 (despegue y aterrizaje, predeterminadas en LECO)     |
| Weather Bindings   | 2 (metar y tafor del aeródromo de despegue)            |

Características específicas del AGA AvORM v25.1:

- Página de identificación completamente informativa (rank, aeronave, fecha/hora). No genera subtotal.
- Páginas de misión, entorno, aeronave y persona: cada una genera un subtotal independiente exportado al CSV.
- Dos factores phase\_matrix: "Weather at Field" y "Airfield Configuration".

- Weather at Field agrupa condiciones METAR, TAFOR, Viento cruzado y FITS con proyección a fases T/O, LDG y ALT.
- Airfield Configuration agrupa con filas acumulativas (checkboxes) de configuración de pista.
- Factores simples para Weather Enroute, Weather Area, Weather Alternate y Night (sin fase matrix).
- Bindings meteorológicos: grupo metar → aeródromo despegue (offset +0 min); grupo tafor → aeródromo despegue (offset +120 min).

ORM publicada

**ORM SQN ALUMNOS VUELO**  
SPAF Fighter Aviation Operational Risk Management worksheet basado en ORM v25.1

PASO 1 DE 5  
Identificacion

PASO 2 DE 5  
Mision

PASO 3 DE 5  
Entorno

PASO 4 DE 5  
Aeronave

PASO 5 DE 5  
Persona

**Identificacion**  
Cabecera operacional de la worksheet AGA AvORM v25.1.

**Datos de vuelo**  
DATE / MSN / CALLSIGN / FLT BOSS.

MSN \*  
Identificador o nombre de mision.

MSN

informativo

CALLSIGN \*  
Indicativo de vuelo.

CALLSIGN

informativo

DATE \*  
Fecha y hora de referencia de la mision.

dd/mm/yyyy, --:--

informativo

FLT BOSS \*  
Responsable de vuelo.

FLT BOSS

informativo

**Calculo automatico de riesgo**  
Se sumaran factores ponderados y modificadores activados.

Siguiente →

Figura 6. Asistente de relleno AGA AvORM v25.1: stepper multipágina en escritorio con las cinco páginas visibles.



☰

🗨️ 🔔 ROOT 👤

Constructor ORM PUBLISHED [/orm/aga](#)

Editando ORM SQN ALUMNOS VUELO

[🔗](#) [✉️](#) [💬](#) [✎](#)

✓ Cambios guardados

[← Mis ORM](#) [⚙️ Ajustes](#)

🏠 Constructor 5

📄 Logo

[📍 Aerodromos/DZ](#)

🔢 Umbrales 6

Aerodromos y DZ ✓ Guardado

Buscador mundial con prioridad para Espana. Al aplicar meteo en una respuesta, el color y la hora quedan guardados.

ROL

Despegue

AERODROMO / DZ

LELC · San Javier Airport · San Javier · ES

ETIQUETA

Aerodromo salida

HORA METEO (+MIN)

0

Crear DZ/punto con lat/lon

0 usa la hora al rellenar; 60 consulta una hora despues.



Reportar un problema | © Colaboradores de OpenStreetMap ❤️ Hacer una donación. Términos del sitio web y de la API

37.7750, -0.8124 Verde VFR LELC

ROL

Alternativo

AERODROMO / DZ

LERI · Alcantarilla Air Base · Alcantarilla · ES

ETIQUETA

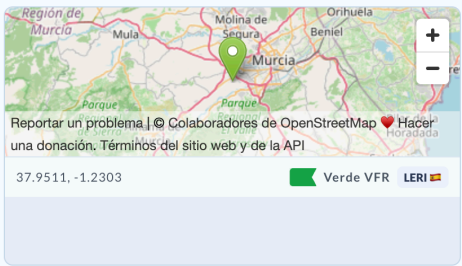
Aerodromo llegada

HORA METEO (+MIN)

120

Crear DZ/punto con lat/lon

0 usa la hora al rellenar; 60 consulta una hora despues.



Reportar un problema | © Colaboradores de OpenStreetMap ❤️ Hacer una donación. Términos del sitio web y de la API

37.9511, -1.2303 Verde VFR LERI

+ Anadir aerodromo/DZ

Figura 7. Constructor AGA AvORM v25.1: configuración de aeródromos de despegue y aterrizaje con selector de mapa integrado.

24

## ORM Digital, Mejorando la Seguridad de Vuelo

SELECTOR GRAFICO DE PUNTUACIONES

Rangos que disparan autorización por puntuacion total.

0 - 6  
OPS SUP

+

7 - 23  
SQN CMDR

+

24 - 32  
Nivel 6

+

33 - 40  
GROUP CHI...

+

40,1 - 49  
WING CHIEF

+

49,1 - sin limite  
MACOM / DEN

0 - 6

← Antes

Después →

−

**NIVEL**

OPS SUP

**COLOR**

#1cc88a

**AUTORIZACION REQUERIDA**

OPS SUP

**GESTORES QUE AUTORIZAN POR EMAIL**

email + Enter

Enter crea una etiqueta. Puedes pegar varios correos y borrar cada gestor con la x.

Guardar

Figura 8. Constructor AGA AvORM v25.1: editor de umbrales de riesgo con rail de segmentos de puntuación.

Constructor ORM PUBLISHED /orm/ada /orm/ ada Guardar Cambios guardados

Constructor Logo Aerodromos/DZ Umbrales 6

1. Pagina Identificacion

2. Pagina Mision

3. Pagina Entorno

4. Pagina Aeronave

5. Pagina Persona

1. Identificacion

Cabecera operacional de la worksheet AGA AvORM v25.1.

TITULO DE PAGINA

Identificacion

DESCRIPCION

Cabecera operacional de la worksheet AGA AvORM v25.1.

Datos de vuelo

DATE / MSN / CALLSIGN / FLT BOSS.

TITULO DE SECCION

Datos de vuelo

DESCRIPCION

DATE / MSN / CALLSIGN / FLT BOSS.

MSN

Identificador o nombre de mision.

TIPO

ESCALA SELECT CHECK FASES A TEXTO AREA FECHA

FIRMA

FACTOR

MSN

PESO

0

Identificacion

Cabecera operacional de la worksheet AGA AvORM v25.1.

Datos de vuelo

DATE / MSN / CALLSIGN / FLT BOSS.

MSN \*

Identificador o nombre de mision.

CALLSIGN \*

Indicativo de vuelo.

DATE \*

Fecha y hora de referencia de la mision.

FLT BOSS \*

Responsable de vuelo.

Figura 9. Constructor ORM en modo edición: vista completa de páginas, secciones y factores con previsualización responsive en tiempo real.

El AGA AvORM v25.1 puede verificarse en cualquier momento con el comando `app:orm:sync-verify`, que comprueba los conteos exactos y retorna código de error si algún recuento no coincide con la definición de referencia.

25



## 6. MOTOR DE PUNTUACIÓN

---

El motor de puntuación está implementado en `OrmScoringService` y sigue un contrato bien definido que garantiza resultados reproducibles e idénticos tanto en el relleno interactivo como en los comandos de generación de datos sintéticos.

### 6.1 Algoritmo de puntuación

El algoritmo ejecuta los siguientes pasos en orden:

- Cargar páginas, secciones y factores ordenados de la plantilla.
- Normalizar cada valor recibido del formulario a cadena nullable.
- Puntuar cada factor según su tipo de entrada.
- Multiplicar la puntuación base por el peso del factor.
- Acumular la puntuación ponderada en el subtotal de la página del factor (solo factores puntuados).
- Sumar todos los modificadores globales seleccionados.
- Resolver el primer umbral donde  $\text{score} \geq \text{scoreMin}$  y ( $\text{scoreMax}$  es nulo o  $\text{score} \leq \text{scoreMax}$ ).
- Evaluar los disparadores de suspensión.
- Devolver: total, umbral, respuestas de factor, subtotales de fase, subtotales de página, razones de suspensión.

### 6.2 La matriz de fase (phase\_matrix)

El tipo `phase_matrix` es la innovación más significativa del motor respecto a los ORMs tradicionales. En el AGA AvORM v25.1, muchas condiciones operativas (meteorología, configuración de pista) tienen distinto impacto según la fase de vuelo: despegue (T/O), aterrizaje (LDG) y vuelo en ruta / altitud (ALT).

Con `phase_matrix`, una única fila seleccionada proyecta simultáneamente tres valores de puntuación: uno para T/O, uno para LDG y uno para ALT. Esto elimina la necesidad de tres preguntas separadas y permite calcular de forma automática el perfil de riesgo por fase de vuelo.

Ejemplo de fila phase\_matrix para "METAR Clase C (IFR básico)":

| Condición                    | Fase T/O | Fase LDG | Fase ALT |
|------------------------------|----------|----------|----------|
| METAR Clase A (VMC)          | 0        | 0        | 0        |
| METAR Clase B (VMC marginal) | 1        | 1        | 0        |
| METAR Clase C (IFR básico)   | 2        | 2        | 1        |
| METAR Clase D (IFR)          | 3        | 3        | 2        |

Weather at Field  
Meteo en campo con proyeccion simultanea a T/O, LDG y ALT.

Weather at Field  
Weather at field phase matrix.

CONDICION

T/O

LDG

ALT

METAR

☒ METAR GREEN (VIS >= 3700m / CEIL >= 700ft)

+1

+1

+0

☐ METAR YELLOW (VIS >= 1600m / CEIL >= 300ft)

+2

+2

+0

☐ METAR ORANGE (VIS >= 800m / CEIL >= 200ft)

+4

+4

+0

TAFOR

☒ TAFOR GREEN

+1

+1

+1

☐ TAFOR YELLOW

+2

+2

+2

☐ TAFOR ORANGE

+4

+4

+4

CROSSWIND

☐ CROSSWIND > 20kts

+3

+3

+0

☐ CROSSWIND > 10kts

+1

+1

+0

FITS

☐ FITS YELLOW

+2

+0

+0

☐ FITS ORANGE

+3

+0

+0

Figura 10. Factor phase\_matrix "Weather at Field": grupos METAR/TAFOR/CROSSWIND/FITS con proyección simultánea a fases T/O, LDG y ALT.

MISSION TOTAL: dificultad, brief, consideraciones y riesgos específicos de entrenamiento. SUBTOTAL PAGINA 3,0

**Mission Difficulty**  
 Selección exclusiva según dificultad principal de misión.

Mission Difficulty \* x1  
 MISSION DIFFICULTY.

|                |       |                           |                         |            |
|----------------|-------|---------------------------|-------------------------|------------|
| Routine PAB +1 | PI +2 | Qualification Recovery +2 | Training (ENSEÑANZA) +3 | DISPLAY +5 |
|----------------|-------|---------------------------|-------------------------|------------|

**Number of Sorties**  
 Numero de salida del día.

Number of Sorties \* x1  
 NUMBER OF SORTIES.

|                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| 1st sortie / not applicable +0 | 2nd SORTIE +3 |
|--------------------------------|---------------|

**Mission Brief**  
 Riesgos acumulativos detectados en el briefing.

CREW CHANGE <1HR PRIOR BRIEF x1  
 Cambio de tripulación menos de una hora antes del briefing.

☒ Aplicar factor +4

MSN CHANGES AFTER/DURING BRIEF x1  
 Cambios de misión después o durante el briefing.

☐ Aplicar factor +5

INADEQUATE BRIEFING (PLACE/LENGTH) x1  
 Briefing inadecuado por lugar o duración.

☐ Aplicar factor +4

Figura 11. Factor phase\_matrix "Airfield Configuration": configuración de campo con proyección de riesgo por fase de vuelo.

Los subtotales de fase (phaseSubtotalsJson) se almacenan en la respuesta y se exportan al CSV junto con los subtotales por página, permitiendo análisis posteriores por fase de mayor riesgo.

### 6.3 Modificadores globales

Los modificadores son incrementos o decrementos de puntuación globales que el relleno puede activar durante el relleno. A diferencia de los factores, no pertenecen a ninguna página y su suma se aplica al total global tras agregar todos los factores. En la respuesta se almacena el detalle de modificadores aplicados en appliedModifiersJson, lo que permite mantener el registro de auditoría aunque la definición del modificador cambie en el futuro.

## 6.4 Umbrales y clasificación de riesgo

Cada plantilla define un conjunto de umbrales de riesgo ordenados por puntuación. El primer umbral cuyo rango  $\text{scoreMin} \leq \text{puntuación} \leq \text{scoreMax}$  es el aplicado. Los umbrales definen etiqueta, color visual y, opcionalmente, texto de autorización. Si un umbral tiene texto de autorización y la plantilla tiene al menos un email de gestor de autorización, la respuesta entra en estado "pendiente" y se envían emails de aprobación a los gestores configurados para ese umbral específico.

## 6.5 Mecanismo de suspensión de actividad

Independientemente de la puntuación total, ciertos factores pueden desencadenar una suspensión directa de la actividad cuando se alcanzan condiciones críticas:

- Factor booleano: suspende si `suspensionTrigger=true` y el valor es verdadero (p. ej. "¿Estás bajo medicación incompatible?").
- Factor escala: suspende si `suspensionTrigger=true` y el valor base alcanza el máximo de la escala.
- Factor selección: cada opción puede tener una bandera de suspensión individual en el JSON de opciones.

Una respuesta suspendida muestra inmediatamente la alerta de suspensión con la razón específica del factor desencadenante, y no entra en flujo de autorización aunque su puntuación numérica caiga en un umbral con texto de autorización.

## 6.6 Subtotales por página

Además del total global, el motor calcula un subtotal independiente para cada página que contiene al menos un factor puntuado. Este subtotal se almacena en `pageSubtotalsJson` dentro de la respuesta, se muestra en la página de resultado y se exporta al CSV con columnas del tipo `subtotal_mision`, `subtotal_entorno`, `subtotal_aeronave`, `subtotal_persona`.

Resultado ORM

ORM SQN ALUMNOS VUELO

Registrada el 28/05/2026 02:45 · noctime@gmail.com

Guardada en Mis respuestas de tu cuenta.

T/O 3,8

LDG 3,8

ALT 1,9

16,5

SQN CMDR

Identificacion

MSN

CK8123

CALLSIGN

CHEKPAR21

DATE

2026-05-19T02:39

FLT BOSS

GARCÍA

HIGHEST THREAT(S)

La meteorología puede emperorar.

MITIGATION

Revisar de nuevo previo a la salida

SIGNED BY

ck

SIGNATURE



Subtotales por pagina

MISION

5,0

ENTORNO

9,5

AERONAVE

0,0

PERSONA

2,0

Meteo consultada

TAKEOFF\_AIRFIELD

Valida 2026-05-28T01:00:00+00:00 · 37080 m vis · 2.9 kt viento

Sugerido GREEN

Aplicado GREEN

- Visibilidad 37080 m => GREEN.
- Techo estimado 9999 ft => GREEN.
- wind\_speed\_kn 2.9 kt => GREEN.
- wind\_gusts\_kn 5.4 kt => GREEN.
- Precipitation 0.0 mm => GREEN.
- WMO weather\_code 0 => GREEN.

Figura 12. Resultado ORM: puntuación 16,5 (SQN CMDR) con subtotales por página MISIÓN/ENTORNO/AERONAVE/PERSONA y snapshot meteorológico.



## 7. INTEGRACIÓN METEOROLÓGICA

La integración meteorológica de SkyORM transforma la gestión del riesgo operacional de un proceso puramente subjetivo a uno parcialmente objetivado mediante datos externos. La plataforma utiliza Open-Meteo, una API de meteorología de acceso libre y sin clave de API obligatoria, como fuente de datos de previsión.

*IMPORTANTE: SkyORM no pretende reemplazar los productos meteorológicos oficiales (METAR, TAFOR) ni acceder a sistemas de observación certificados. La integración meteorológica es una asistencia de previsión para el relleno; el cálculo final de la puntuación proviene siempre de los valores de factor introducidos o confirmados por el usuario.*

### 7.1 Modelo de datos meteorológico

| Entidad                          | Descripción                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OrmLocation                      | Catálogo global y de usuario de ubicaciones: aeródromos, zonas de salto, puntos en ruta. Almacena ICAO, país, lat/lon, elevación, tipo y pistas JSON.                                 |
| OrmTemplateLocation              | Vincula una ubicación del catálogo a una plantilla con un rol específico: despegue, aterrizaje, DZ, alternativo o en ruta.                                                            |
| OrmWeatherBinding                | Asocia un factor (o grupo de phase_matrix) a un rol de ubicación y un perfil de color. mappingJson define qué valor del factor corresponde a cada color (GREEN, YELLOW, ORANGE, RED). |
| OrmResponse.weatherSnapshotsJson | Registro de auditoría: almacena el snapshot meteorológico aplicado y las anulaciones manuales del rellenedor.                                                                         |

### 7.2 Motor de reglas de color

WeatherRuleEngine evalúa el snapshot Open-Meteo contra un perfil de reglas configurable en orm\_weather.yaml. El perfil predeterminado color\_state considera:

- Visibilidad horizontal (km).
- Techo estimado derivado de la cobertura nubosa baja y media.

- Velocidad del viento en 10 m (km/h).
- Ráfagas de viento.
- Precipitación y código meteorológico WMO.

La regla de peor condición prevalece: si la visibilidad da VERDE pero el viento da NARANJA, el resultado del motor es NARANJA. El motor devuelve el color de resultado, las razones individuales de cada variable y el identificador de la variable peor. Este resultado se muestra al rellenedor como "sugerencia meteorológica" vinculada al factor correspondiente.

### **7.3 Flujo de asistencia en el relleno**

Cuando una página del wizard contiene factores con bindings meteorológicos activos, la interfaz de relleno muestra tarjetas de "Meteo sugerida" para las ubicaciones relevantes de la plantilla. El rellenedor puede:

- Seleccionar la fecha/hora de la misión (con preajustes para ahora, +1h, +2h, +4h).
- Solicitar la previsión meteorológica para esa ubicación y momento.
- Ver el color sugerido, las variables meteorológicas y las razones del motor de reglas.
- Aplicar el color sugerido al factor ORM correspondiente.
- Anular manualmente el color aplicado si el criterio profesional difiere de la previsión.

Weather Enroute / Area / Alternate  
Fenomenos en ruta, area o alternativo.

IMC AFFECTING THE MISSION

IMC affecting the mission.

☐ Aplicar factor +6

TURBULENCE MODERATE/SEVERE

Moderate or severe turbulence.

☐ Aplicar factor +2

THUNDERSTORMS (TS/CB) / ICING

Thunderstorms TS/CB or icing.

☐ Aplicar factor +6

Airfield Configuration  
Configuracion del aerodromo con proyeccion simultanea a T/O y LDG.

Airfield Configuration

Airfield configuration phase matrix.

| CONDICION                                        | T/O | LDG | ALT |
|--------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| AIRFIELD CONFIGURATION                           |     |     |     |
| <input type="checkbox"/> SINGLE NAVAID AVAILABLE | +2  | +2  | +0  |
| <input type="checkbox"/> WET RUNWAY              | +2  | +2  | +0  |
| <input type="checkbox"/> ICE / SNOW              | +4  | +4  | +0  |

Figura 13. Tarjeta "Meteo sugerida": prevision Open-Meteo para LELC con color VERDE, variables meteorológicas y razones del motor de reglas.

El scoring no cambia cuando se aplica la sugerencia meteorológica: el sistema simplemente rellena el valor del factor ORM en el DOM, y el cálculo de puntuación ocurre de la misma forma que si el rellenedor hubiera elegido ese valor manualmente. El snapshot meteorológico y las decisiones del rellenedor se almacenan en weatherSnapshotsJson para trazabilidad y auditoría posterior.

## 7.4 Datos meteorológicos en Open-Meteo

El servicio OpenMeteoWeatherService solicita a la API de Open-Meteo un horizonte de 72 horas con intervalos horarios en UTC. Las variables obtenidas son: visibilidad, cobertura de nubes baja/media/alta, viento en 10 m, ráfagas, dirección del viento, código de tiempo WMO, precipitación, temperatura, presión a nivel del mar y nivel de congelación. Las respuestas se cachean 10 minutos por hora redondeada y ubicación. Los fallos de API devuelven un snapshot success=false sin interrumpir el flujo de relleno.

## **7.5 Catálogo global de ubicaciones**

SkyORM incluye un catálogo de ubicaciones con los aeródromos españoles más habituales precargado. Opcionalmente, el administrador puede importar el catálogo público de OurAirports (airports.csv) con el comando `app:orm:seed-weather-locations --all-world`, que carga todos los aeródromos del mundo excluyendo cerrados y globos. Las ubicaciones españolas aparecen primero en las búsquedas del constructor.

El constructor de plantillas permite a los creadores de ORM buscar y asignar ubicaciones a roles de misión (despegue, aterrizaje, DZ, alternativo, en ruta). Cada ubicación en el constructor muestra una previsualización de mapa y un color aproximado de aviación derivado del estado actual Open-Meteo (verde/VFR, azul/MVFR, rojo/IFR, magenta/LIFR). Este color es solo una ayuda visual para la configuración, no un dato aeronáutico oficial.

## 8. ASISTENTE DE RELLENO WIZARD MULTIPÁGINA

---

Cuando una plantilla ORM tiene más de una página, el interfaz de relleno presenta un asistente wizard dentro de un único elemento `<form>` HTML. Este diseño garantiza que el envío final sea atómico y que no se puedan enviar respuestas parciales.

### 8.1 Navegación y validación por página

El wizard muestra los botones de avance ("Siguiente") y retroceso ("Anterior") junto a un indicador de progreso. En escritorio se muestran los títulos de todas las páginas en el stepper; en móvil se muestra "Paso X de N".

El botón "Siguiente" valida únicamente la página activa antes de avanzar. Para conseguirlo con validación nativa HTML5 sin carga de librerías adicionales, el wizard desactiva temporalmente todos los campos required de las páginas inactivas antes de llamar a `reportValidity()` sobre el formulario completo. Si la validación del formulario falla en una página diferente a la activa, el wizard navega automáticamente a la primera página con error. El botón "Enviar" solo está disponible en la última página, reactiva todos los campos y valida el formulario completo antes del envío.



ORM publicada

**ORM SQN ALUMNOS VUELO**  
SPAF Fighter Aviation Operational Risk Management worksheet basado en ORM v25.1

Paso 1 de 5

**Identificacion**  
Cabecera operacional de la worksheet AGA AvORM v25.1.

**Datos de vuelo**  
DATE / MSN / CALLSIGN / FLT BOSS.

MSN \*

Identificador o nombre de mision.

MSN

informativo

CALLSIGN \*

Indicativo de vuelo.

CALLSIGN

informativo

DATE \*

Fecha y hora de referencia de la mision.

dd/mm/yyyy, --:--

informativo

FLT BOSS \*

Responsable de vuelo.

FLT BOSS

informativo

**Calculo automatico de riesgo**  
Se sumaran factores ponderados y modificadores activados.

Siguiente →

Figura 14. Asistente de relleno AGA AvORM v25.1: vista móvil del wizard (Paso 1 de 5) con indicador de progreso.

ORM publicada

ORM SQN ALUMNOS VUELO

SPAF Fighter Aviation Operational Risk Management worksheet basado en ORM v25.1

PASO 1 DE 5  
Identificacion

PASO 2 DE 5  
Mision

PASO 3 DE 5  
Entorno

PASO 4 DE 5  
Aeronave

PASO 5 DE 5  
Persona

Mision

MISSION TOTAL: dificultad, brief, consideraciones y riesgos especificos de entrenamiento.

SUBTOTAL PAGINA 0,0

Mission Difficulty

Seleccion exclusiva segun dificultad principal de mision.

Mission Difficulty \*

MISSION DIFFICULTY.

Routine PAB +1

PI +2

Qualification Recovery +2

Training (ENSENANZA) +3

DISPLAY +5

Number of Sorties

Numero de salida del dia.

Number of Sorties \*

NUMBER OF SORTIES.

1st sortie / not applicable +0

2nd SORTIE +3

Mission Brief

Riesgos acumulativos detectados en el briefing.

CREW CHANGE <1HR PRIOR BRIEF

Cambio de tripulacion menos de una hora antes del briefing.

☐ Aplicar factor +4

MSN CHANGES AFTER/DURING BRIEF

Cambios de mision despues o durante el briefing.

☐ Aplicar factor +5

Figura 15. Asistente de relleno: página MISIÓN (PASO 2) con subtotal de página en cero al inicio del relleno.

## 8.2 Subtotales en vivo por página

Mientras el usuario rellena una página, el wizard muestra un subtotal en vivo para esa página cuando contiene al menos un factor puntuado. El subtotal se actualiza en tiempo real a medida que el usuario modifica los valores. Las páginas completamente informativas (solo metadatos) no muestran subtotal.

Los modificadores globales, cuando existen, se muestran al final del wizard antes del botón de envío y no se asignan a ningún subtotal de página.

PASO 1 DE 5  
Identificación

PASO 2 DE 5  
Mision

PASO 3 DE 5  
Entorno

PASO 4 DE 5  
Aeronave

PASO 5 DE 5  
Persona

Mision

MISSION TOTAL: dificultad, brief, consideraciones y riesgos específicos de entrenamiento.

Subtotal Pagina 0,0

Mission Difficulty

Selección exclusiva según dificultad principal de misión.

Mission Difficulty \*

MISSION DIFFICULTY.

Routine PAB

+1

PI

+2

Qualification Recovery

+2

Training (ENSEÑANZA)

+3

DISPLAY

+5

Number of Sorties

Numero de salida del día.

Number of Sorties \*

NUMBER OF SORTIES.

1st sortie / not applicable

+0

2nd SORTIE

+3

Mission Brief

Riesgos acumulativos detectados en el briefing.

CREW CHANGE <1HR PRIOR BRIEF

Cambio de tripulación menos de una hora antes del briefing.

☐

Aplicar factor +4

MSN CHANGES AFTER/DURING BRIEF

Cambios de misión después o durante el briefing.

☐

Aplicar factor +5

INADEQUATE BRIEFING (PLACE/LENGTH)

Briefing inadecuado por lugar o duración.

☐

Aplicar factor +4

Figura 16. Asistente de relleno: subtotal de la página MISIÓN actualizado en tiempo real a 3,0 puntos tras seleccionar factores de riesgo.

### 8.3 Diseño responsive y logo

El interfaz de relleno es completamente responsive. La cabecera fija muestra el logotipo de SkyORM a la izquierda y el logotipo personalizado de la plantilla a la derecha cuando existe. Si no hay logotipo de plantilla, el logotipo de SkyORM se centra. El pie de página muestra siempre "Powered by SkyORM" centrado.

Cierre ORM  
Highest Threat(s), Mitigation y firma de cierre.

Highest Threat(s) \*

Amenazas principales detectadas.

Informativo

Mitigation \*

Medidas de mitigacion previstas.

Informativo

SIGNED BY \*

Nombre de quien firma la worksheet.

SIGNED BY

Informativo

Signature

Firma digital de cierre.

Firma sobre el recuadro.

Limpiar

Informativo

Figura 17. Asistente de relleno: página de cierre ORM con campo de observaciones y canvas de firma digital.

## 8.4 Relleno de depuración automática

Para facilitar las pruebas de los paneles y resultados, el sistema incluye `/orm/{slug}/debug/auto-fill`, un endpoint POST protegido por permiso de edición que genera una respuesta real de alta puntuación de forma determinista, aplicando todos los modificadores. La respuesta aparece en analíticas como cualquier otra respuesta y está etiquetada visualmente como datos de prueba.



## 9. ANALÍTICA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

---

Uno de los vectores de mayor valor diferencial de SkyORM respecto a los formularios tradicionales es su capacidad de analítica agregada e individual. La simple digitalización del formulario convierte cada relleno en un dato estructurado; la analítica convierte esos datos en conocimiento preventivo. Esta sección describe en detalle las distintas vistas y métricas que SkyORM pone a disposición del usuario para transformar el historial de respuestas en inteligencia operacional accionable.

### 9.1 Panel de mando del propietario (vista agregada)

Los propietarios y colaboradores de una plantilla tienen acceso al panel de mando en `/orm/{slug}/dashboard`. Este panel ofrece una visión agregada de todas las respuestas de la plantilla, permitiendo al responsable de seguridad identificar tendencias transversales que ningún formulario individual puede revelar:

- Total de respuestas acumuladas y puntuación media global de la plantilla.
- Distribución de respuestas por umbral de riesgo: frecuencia relativa de cada nivel (BAJO/MEDIO/ALTO/CRÍTICO).
- Serie temporal de 60 días con número de respuestas diarias y score medio superpuesto.
- Factores de mayor puntuación media en el período: identificación de focos de riesgo recurrentes.
- Lista de respuestas recientes con detalle individual y estado de autorización.
- Filtros por rango de fechas, umbral y tipo de respondente.



Figura 18. "Detectar tendencias antes de que se conviertan en incidentes": visualización agregada de distribución de riesgo (BAJO 52% / MEDIO 37% / ALTO 11%) con serie temporal de los últimos 10 días operativos.



Figura 19. Vista del gestor de seguridad de vuelo: panel multi-ORM con 1.248 respuestas globales, comparativa por escuadrón y tendencia de fatiga +18%.

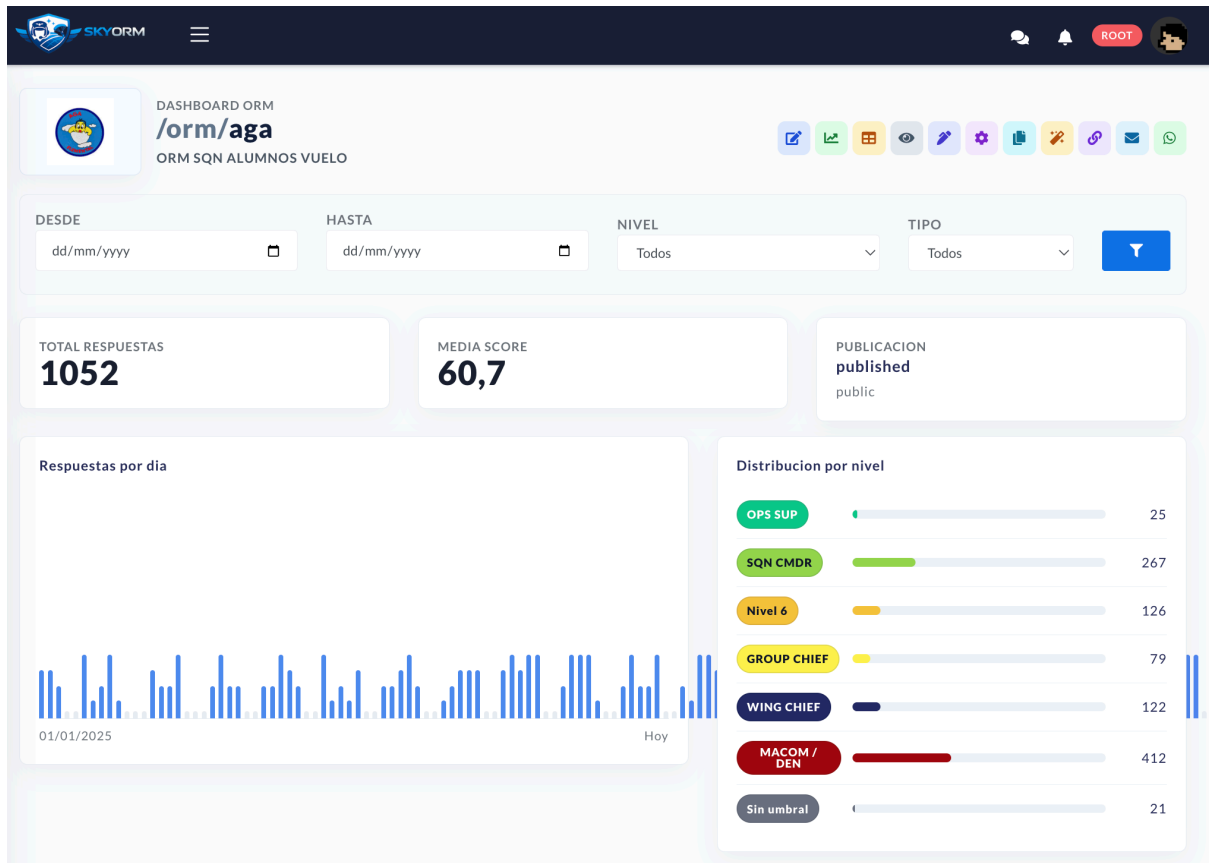


Figura 20. Panel de mando del propietario: 1.052 respuestas acumuladas, puntuación media 60,7, serie temporal de 60 días y distribución de umbrales por color.

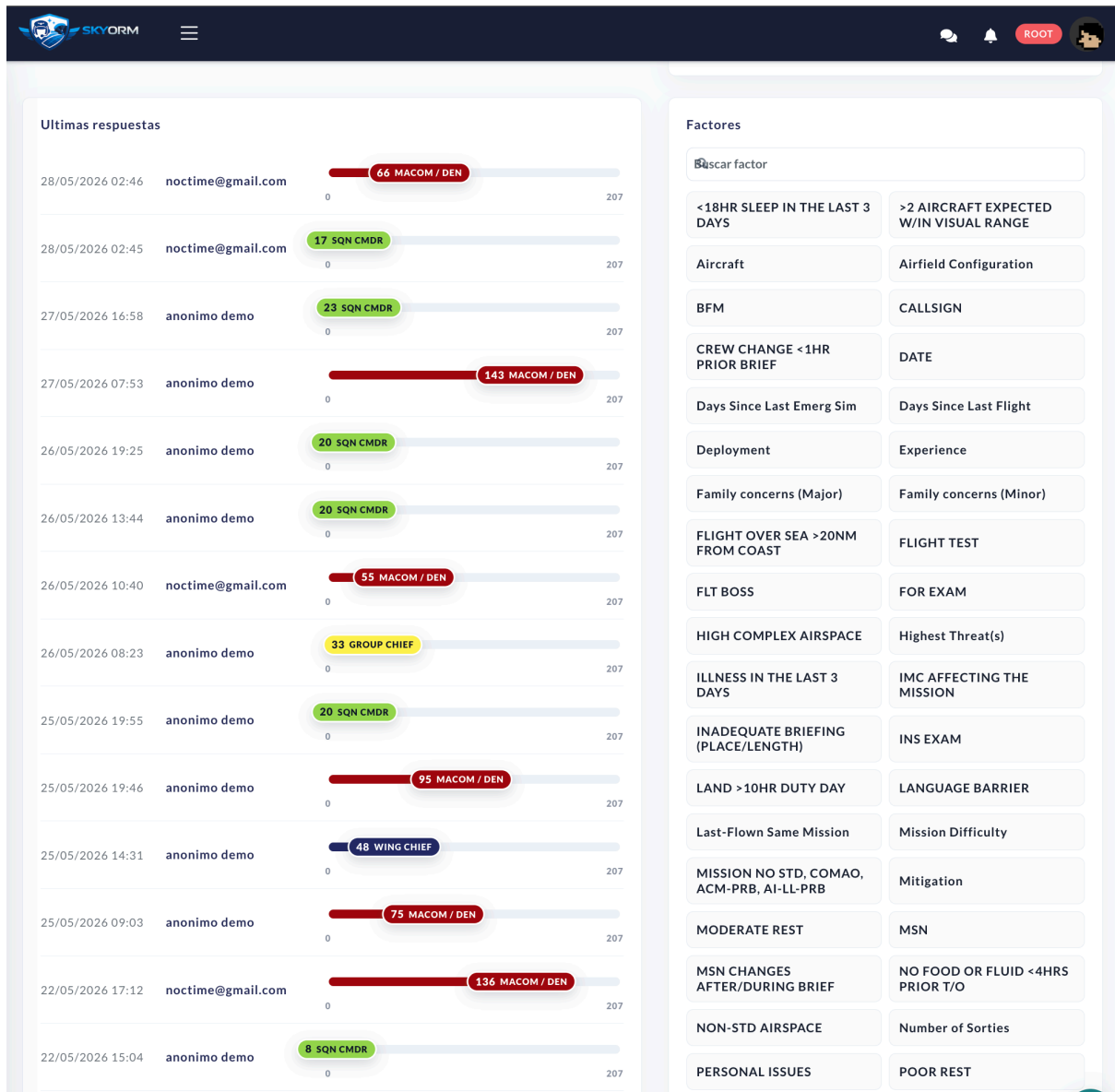


Figura 21. Panel de mando del propietario: últimas respuestas registradas con scores, niveles y estados de autorización; factores con mayor puntuación media del período.

El panel de lector (/orm/reader/{slug}) ofrece las mismas estadísticas sin acceso al constructor de la plantilla, permitiendo que mandos y oficiales de seguridad consulten los datos de riesgo de la unidad sin poder modificar la configuración del ORM.

## 9.2 Estadísticas personales (vista individual)

Cada usuario registrado tiene acceso a sus estadísticas personales en /orm/my. Esta vista es el corazón del análisis individual: convierte el historial personal de rellenos en un perfil de riesgo profundo y accionable. La vista presenta una

selección de grupos de respuestas —uno por plantilla rellena— y, al seleccionar uno, despliega un análisis exhaustivo estructurado en varias secciones.

### **9.2.1 Resumen operativo y conclusiones automáticas**

El encabezado de las estadísticas personales sintetiza el perfil de riesgo del usuario en un conjunto de KPIs preventivos y un bloque de conclusiones automáticas generadas en lenguaje natural. Los indicadores del resumen operativo son:

- Número total de respuestas y período cubierto (días de historial).
- Días activos reales con respuestas, media diaria activa y media calendario.
- Media de score (rango mínimo—máximo de la plantilla).
- Volatilidad: desviación estándar del score. Valores altos indican variabilidad operacional que puede ocultar picos de riesgo.
- Porcentaje de respuestas en alto riesgo y en estado crítico/suspendido.
- Carga de riesgo preventivo (índice 0–100) e índice preventivo (umbral estimado de gestión de riesgo).
- Racha de alto riesgo: número de respuestas consecutivas recientes en nivel alto o crítico.
- Última variación: cambio de score respecto a la respuesta anterior.

Las conclusiones automáticas analizan estos KPIs y generan alertas preventivas en lenguaje natural cuando detectan patrones de riesgo que merecen atención: eventos críticos acumulados, rachas de alto riesgo, concentración en determinados días u horas, score inestable o tendencia al empeoramiento en las últimas respuestas.

## ORM Digital, Mejorando la Seguridad de Vuelo

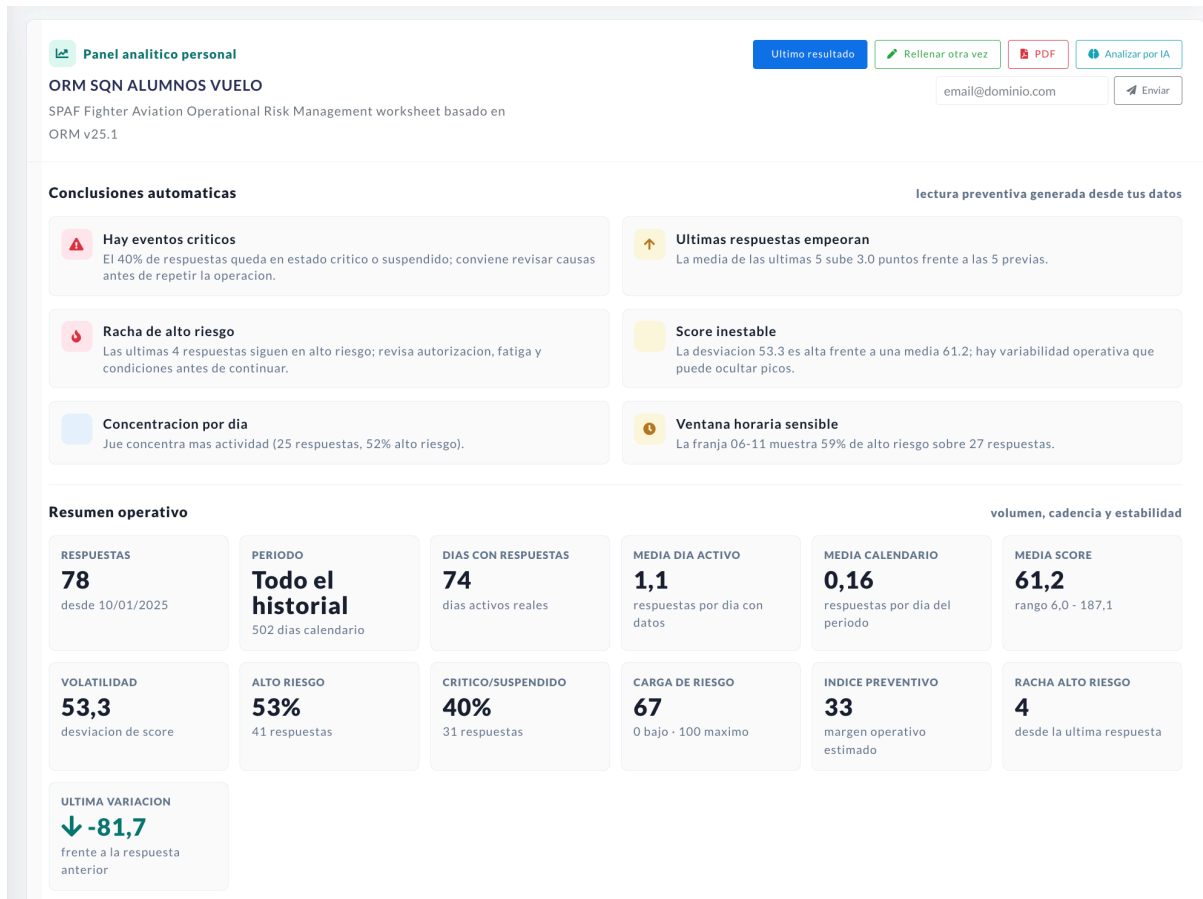


Figura 22. Panel analítico personal ORM SQN Alumnos Vuelo: resumen operativo con 78 respuestas, 53,3 de volatilidad, 53% alto riesgo, conclusiones automáticas y alertas preventivas generadas por el sistema.

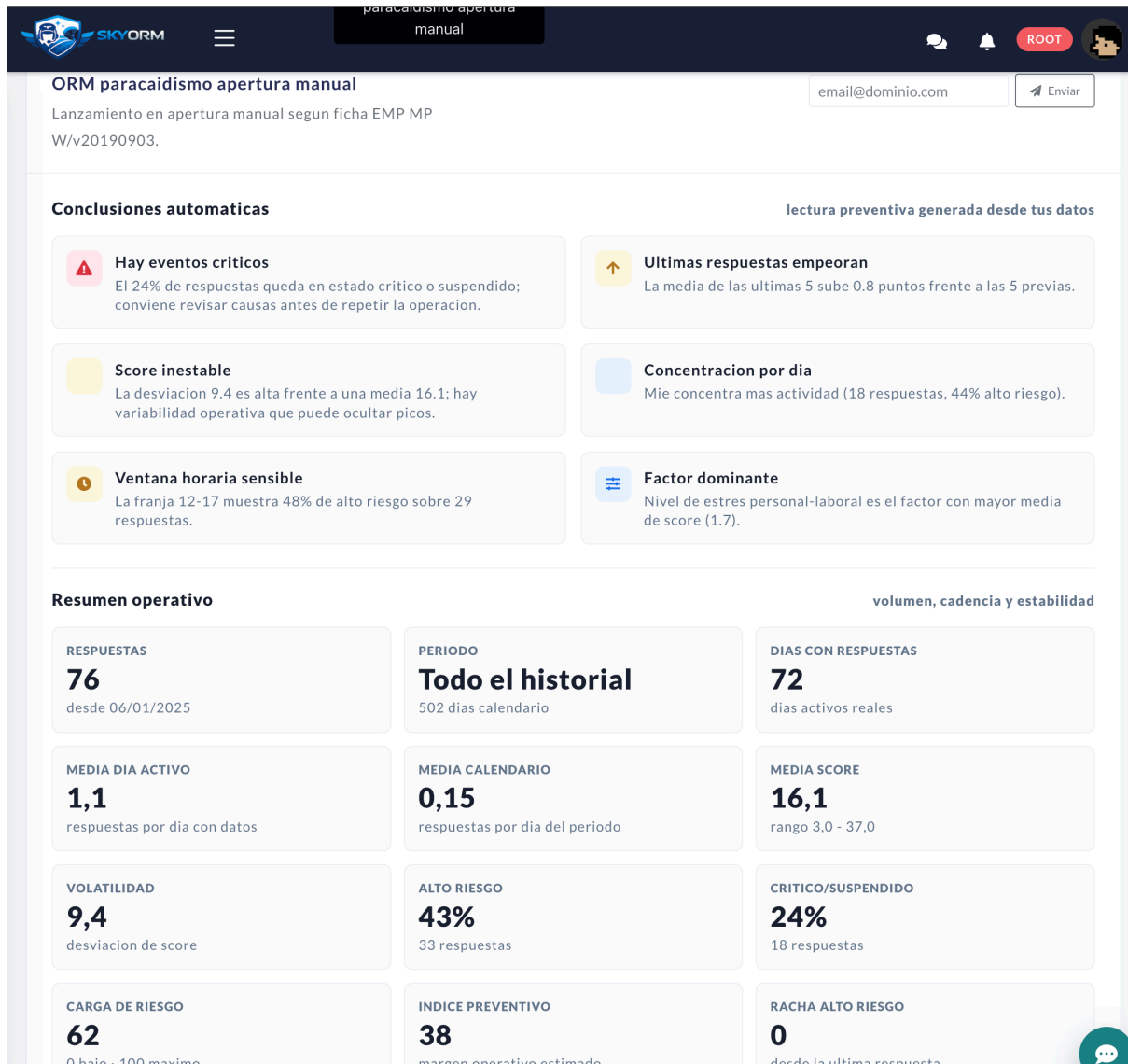


Figura 23. Panel analítico personal ORM Paracaidismo Manual: resumen operativo con 76 respuestas, volatilidad 9,4, 43% alto riesgo y conclusiones automáticas específicas del perfil de riesgo paracaidista.

### 9.2.2 Serie temporal por día

La sección "Serie por día" es la vista más completa del historial temporal del usuario. Combina en un único gráfico tres series superpuestas: barras azules para el volumen de respuestas diarias, línea verde para el score medio diario y línea roja punteada para el porcentaje de alto riesgo en cada jornada. Esta superposición permite detectar visualmente correlaciones entre actividad operacional y nivel de riesgo.

Bajo el gráfico, cuatro métricas estadísticas permiten dimensionar el riesgo estructural del usuario frente a su propia distribución histórica:

- Mediana P50: el 50% de las respuestas está por debajo de este score. Sirve como valor de referencia central libre de valores extremos.
- Percentil 75 (P75): límite de las tres cuartas partes de las respuestas. Superar este valor en una jornada indica riesgo elevado respecto al perfil personal.
- Percentil 90 (P90): umbral de las respuestas de mayor riesgo. Útil para dimensionar el "techo operacional" habitual del usuario.
- Máximo observado: la puntuación más alta registrada; referencia para dimensionar colas de riesgo extremo.

También se muestran la media de las últimas 5 respuestas (para detectar tendencias recientes), la tendencia lineal por respuesta (pendiente de regresión: positiva = riesgo creciente), y los umbrales estadísticos de vigilancia (media + 1 desviación típica) y control (media + 2 desviaciones típicas), que delimitan las zonas de alerta y alarma del perfil personal.

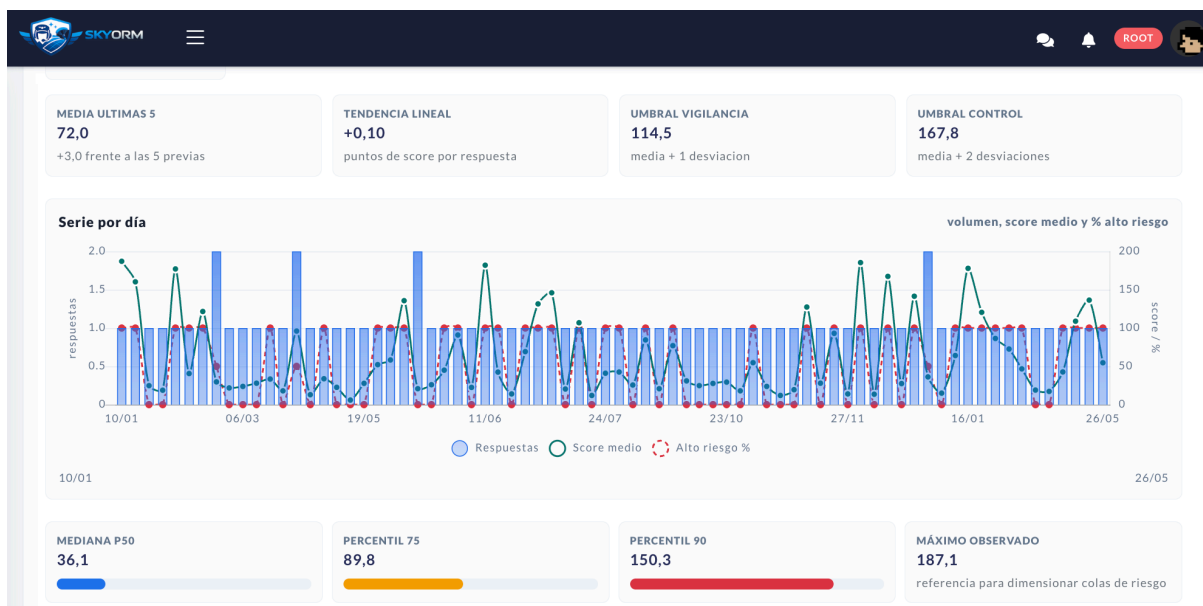


Figura 24. Serie por día ORM SQN Alumnos Vuelo: gráfico temporal con barras de respuestas, score medio y % alto riesgo superpuestos. Métricas: media últimas 5 = 72,0, tendencia +0,10, P50=36,1, P75=89,8, P90=150,3, máximo=187,1.

### 9.2.3 Mix de riesgo y actividad reciente

La vista "Riesgo y actividad" combina dos elementos complementarios. A la izquierda, un gráfico de anillo (donut) muestra la distribución porcentual de respuestas por nivel de umbral: cada sector representa qué fracción del historial personal ha caído en cada nivel de riesgo (Bajo, Medio, Alto, Crítico, Suspendida).

Esta distribución permite comparar el perfil de riesgo individual con el esperado para la plantilla.

A la derecha, el gráfico de actividad de los últimos 30 días muestra el volumen diario de respuestas (barras) y el score medio diario (línea), con indicación del día de mayor pico. Esta ventana reciente complementa la serie histórica larga con un zoom en el período más relevante para la gestión preventiva inmediata.

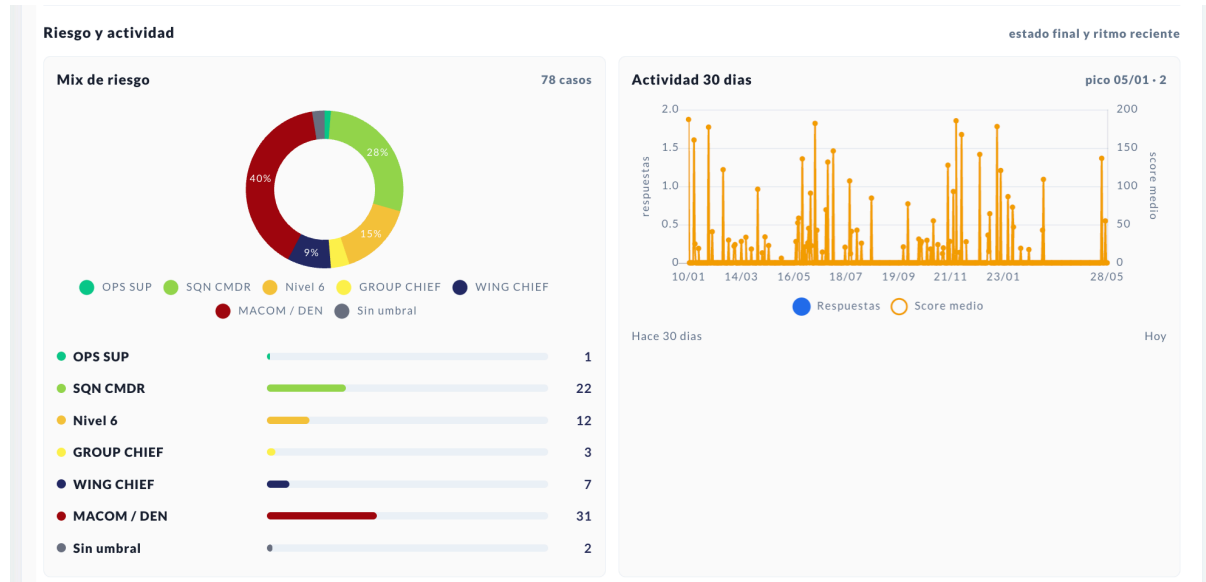


Figura 25. Mix de riesgo y actividad 30 días: distribución por umbral (40% MACOM/DEN, 28% OPS SUP, 15% Nivel 6...) y actividad reciente con pico de respuestas identificado.

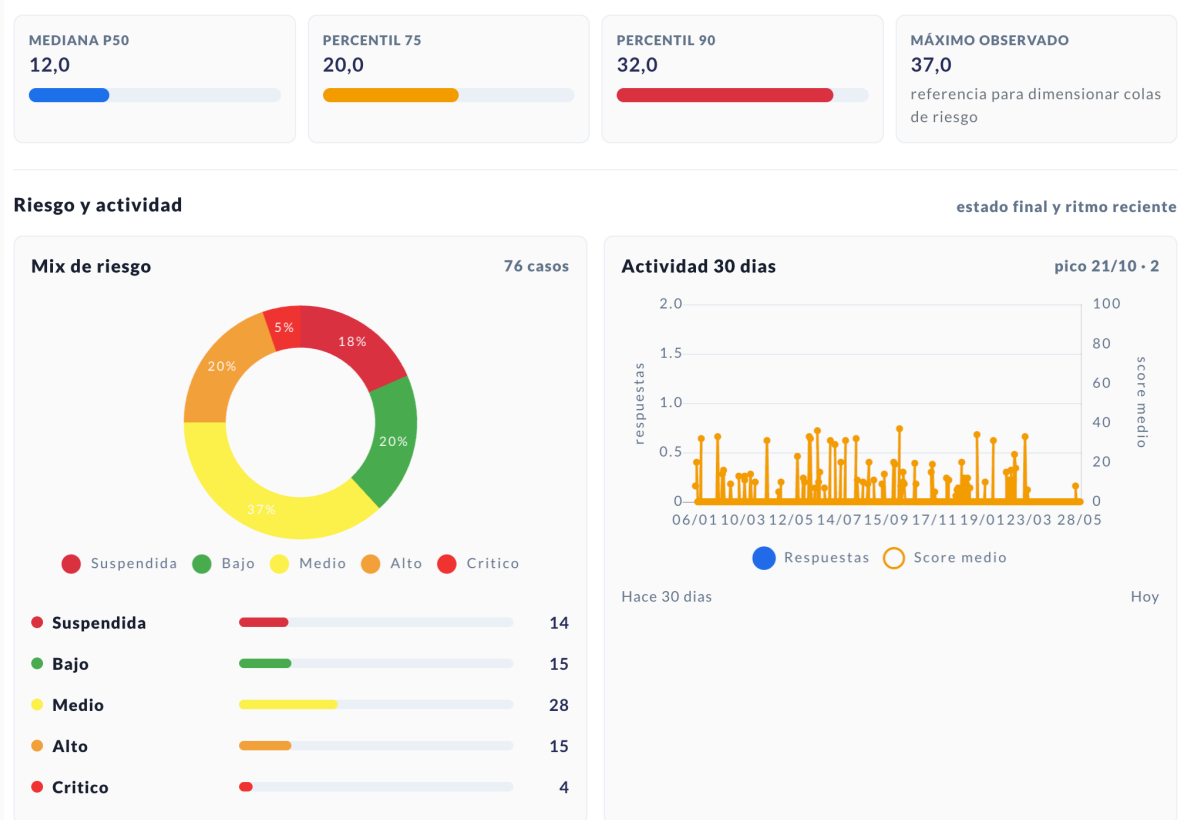


Figura 26. Mix de riesgo ORM Paracaidismo Manual: distribución por nivel (Suspendida 14, Bajo 15, Medio 28, Alto 15, Crítico 4) con actividad 30 días y pico operacional señalado.

## 9.2.4 Evolución temporal y distribución de scores

Esta sección integra cuatro gráficas complementarias que profundizan en la distribución estadística del riesgo y su evolución temporal:

- Tendencia de score (últimas 12 respuestas con límites de vigilancia): muestra la trayectoria reciente del score en relación con los umbrales estadísticos personales. Las líneas de vigilancia y control permiten ver cuándo el usuario está operando dentro de su rango habitual o sobrepasando sus propios límites estadísticos.
- Histograma de scores: distribución de frecuencias agrupada en intervalos. Permite identificar si el riesgo se concentra en la zona baja (perfil conservador), si hay bimodalidad (riesgo variable según tipo de misión) o si existe una cola larga en valores altos que indica exposición frecuente a riesgo elevado.
- Días con más exposición (Temporalidad operacional): barras por día de la semana mostrando volumen y porcentaje de alto riesgo. Permite detectar si

determinados días concentran sistemáticamente más riesgo (p. ej. lunes de vuelta de permisos, jueves de ejercicios intensivos).

- Franjas horarias y ventanas sensibles: barras por franja horaria (00-05, 06-11, 12-17, 18-23) con el porcentaje de alto riesgo en cada una. Identifica si el usuario tiende a operar con mayor riesgo en determinadas horas del día, señalando posibles patrones de fatiga circadiana o de alta carga en franjas específicas.

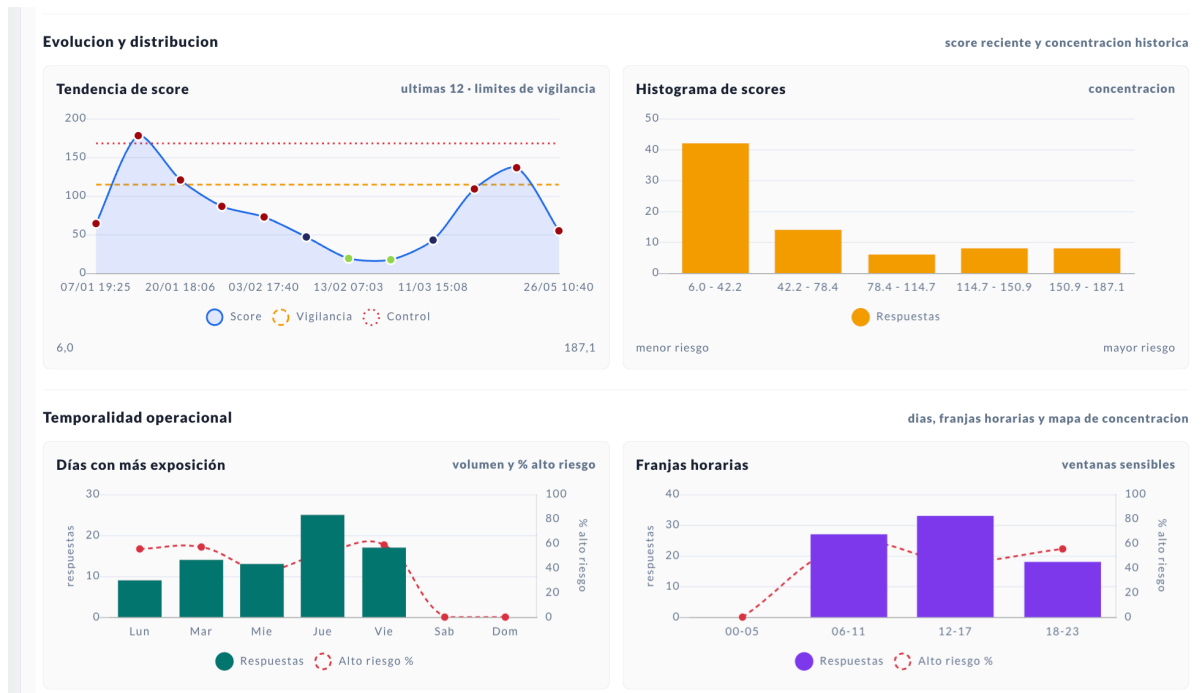


Figura 27. Análisis estadístico avanzado: tendencia de score con límites de vigilancia, histograma de distribución, exposición por día de la semana y franjas horarias sensibles.

### 9.2.5 Análisis de concentración temporal: día y hora

La sección de concentración temporal combina cuatro vistas para identificar cuándo opera el usuario y cuándo concentra más riesgo:

- Tabla de día de la semana: para cada día, muestra el rango de respuestas (mín-máx de score) y el porcentaje de respuestas en alto riesgo. En el ejemplo, el jueves concentra el mayor riesgo (25-52%), mientras que el fin de semana registra actividad nula o baja.
- Franja horaria sensible: identifica las horas de mayor exposición. La franja 18-23 registra el mayor porcentaje de alto riesgo (56%), posiblemente asociada a vuelos nocturnos o últimos servicios de la jornada con fatiga acumulada.

- Mapa día/hora (heat map): tabla cruzada que muestra el número de respuestas por combinación de día de semana y franja horaria. Permite identificar celdas de alta concentración operacional que coinciden con mayor exposición al riesgo.
- Factores dominantes y valores calientes: el sistema identifica qué factores contribuyen más al score medio personal y qué combinaciones específicas de valores de factor aparecen repetidamente en las respuestas de mayor riesgo.

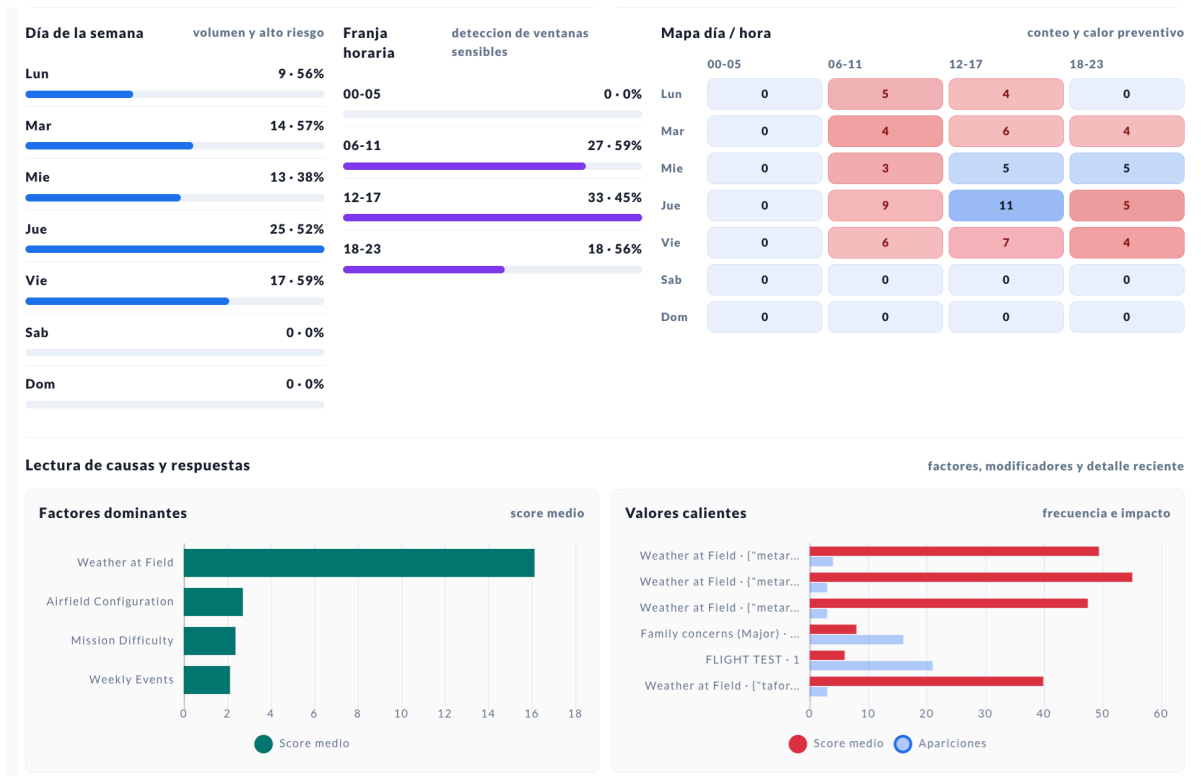


Figura 28. Análisis de concentración temporal: exposición por día de semana, franja horaria sensible (18-23h con 56% alto riesgo), mapa día/hora y factores dominantes del periodo.

## 9.2.6 Análisis de factores: modificadores y valores calientes

Esta sección desciende al nivel de factor individual para identificar qué elementos del ORM generan el mayor riesgo en el perfil personal:

- Factores que más pesan: ranking de los factores con mayor score medio personal. En el caso del AGA AvORM v25.1, "Weather at Field" domina con una media de 16,1, seguido de "Airfield Configuration" (2,7) y "Mission Difficulty" (2,4). Este ranking permite al piloto saber en qué dimensiones de riesgo concentra habitualmente su mayor exposición.

- Uso de modificadores: gráfico de frecuencia de uso de cada modificador global. Si el usuario activa sistemáticamente un modificador de alta puntuación, eso indica un patrón operacional que merece atención preventiva.
- Suspensiones: distribución y causas de las respuestas que han activado la suspensión de actividad. Cada punto representa una combinación de valores de factor que activó el disparador de suspensión.
- Valores/factores calientes: combinaciones específicas de valores de factor (p. ej. "Weather at Field" con METAR naranja + TAFOR naranja + viento cruzado) que aparecen repetidamente en las respuestas de mayor score. Estas combinaciones son los patrones de riesgo estructural del perfil personal.

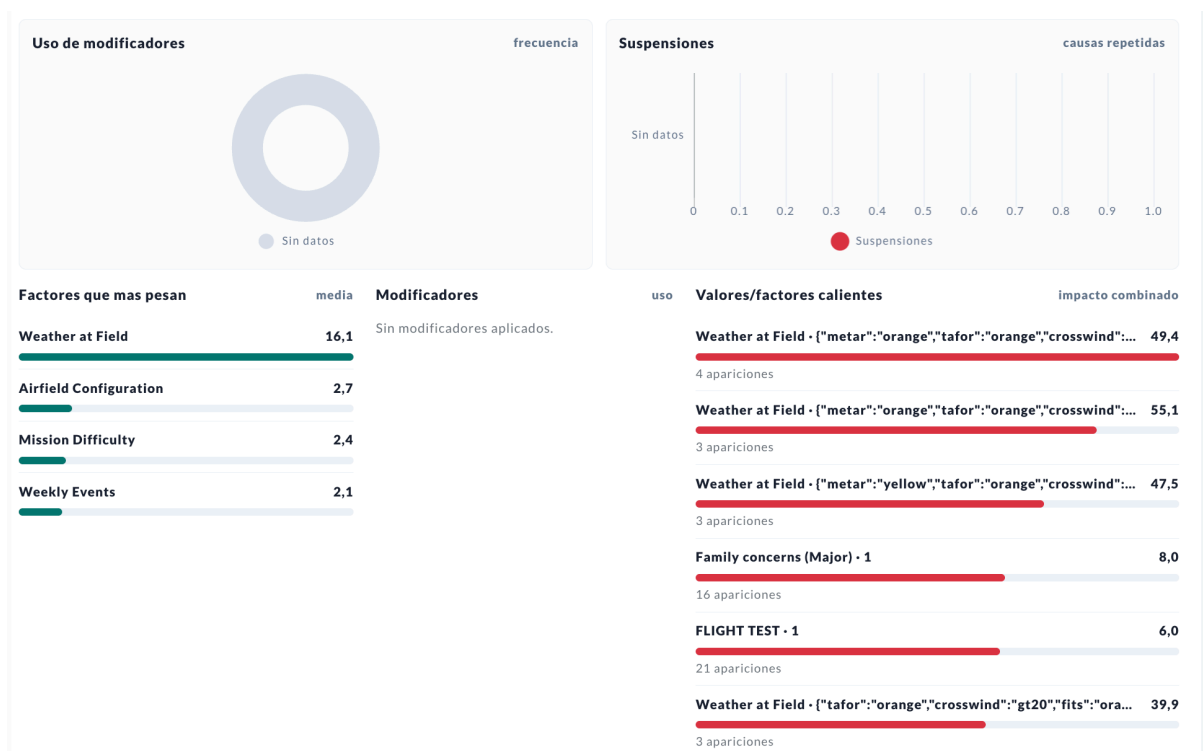


Figura 29. Análisis de factores: peso medio por factor dominante, uso de modificadores, suspensiones y combinaciones de valores calientes con mayor impacto en el score personal.

### 9.2.7 Historial de respuestas recientes

El panel de historial muestra las últimas respuestas del usuario con fecha, hora, score numérico y nivel de umbral alcanzado para cada una. Cada respuesta enlaza directamente a su página de resultado detallada. Esta vista permite al usuario revisar su evolución reciente y al responsable de seguridad (con acceso lector) hacer seguimiento de la trayectoria de riesgo individual sin necesidad de exportar datos.

| Motivos de suspensión           | disparadores | Últimas respuestas  |       |               | 8 visibles |
|---------------------------------|--------------|---------------------|-------|---------------|------------|
| Sin suspensiones en el periodo. |              | FECHA               | SCORE | NIVEL         |            |
|                                 |              | 26/05/2026<br>10:40 | 54,7  | ● MACOM / DEN |            |
|                                 |              | 22/05/2026<br>17:12 | 136,4 | ● MACOM / DEN |            |
|                                 |              | 13/03/2026<br>11:57 | 108,9 | ● MACOM / DEN |            |
|                                 |              | 11/03/2026<br>15:08 | 42,7  | ● WING CHIEF  |            |
|                                 |              | 23/02/2026<br>11:36 | 17,3  | ● SQN CMDR    |            |
|                                 |              | 13/02/2026<br>07:03 | 19,0  | ● SQN CMDR    |            |
|                                 |              | 04/02/2026<br>12:57 | 46,7  | ● WING CHIEF  |            |
|                                 |              | 03/02/2026<br>17:40 | 72,6  | ● MACOM / DEN |            |

Figura 30. Historial de últimas respuestas: 8 respuestas visibles con fecha, score numérico y nivel de umbral (MACOM/DEN, WING CHIEF, SQN CMDR), enlazables a resultado detallado.

### 9.3 Análisis por inteligencia artificial

La acción "Analizar por IA" en las estadísticas personales envía un payload JSON compacto al proveedor de IA configurado. El payload incluye los KPIs filtrados, distribuciones, hotspots de factores, conclusiones auto-generadas y un subconjunto de respuestas recientes. El análisis devuelve un JSON estructurado con:

- Resumen ejecutivo del patrón de riesgo personal.
- Nivel de riesgo identificado.
- Hallazgos específicos sobre factores o períodos de mayor riesgo.
- Acciones preventivas recomendadas.
- Elementos a vigilar en las próximas misiones.
- Advertencias y limitaciones del análisis.

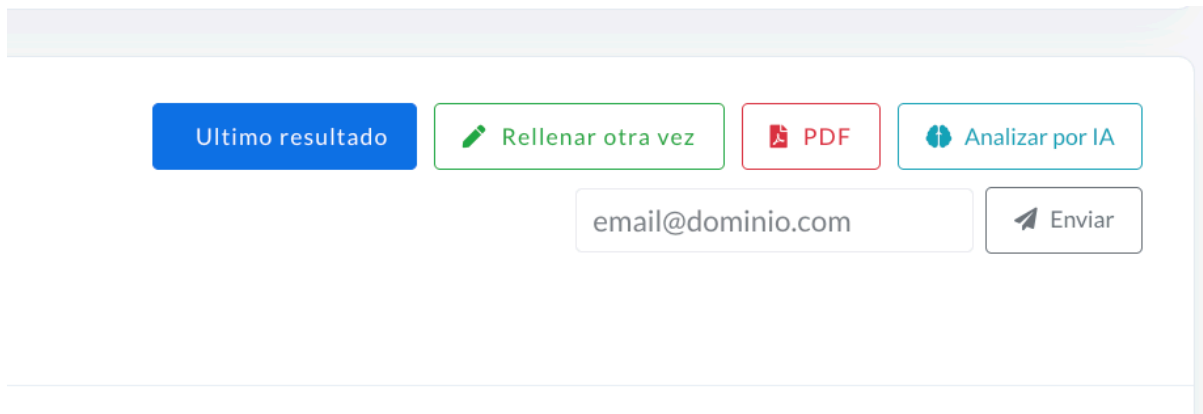


Figura 31. Barra de acción de estadísticas personales: último resultado, generación de PDF, acción "Analizar por IA" y envío del informe por email.



Figura 32. Resultado del análisis por IA (GROQ): nivel ALTO, hallazgos específicos, acciones preventivas recomendadas e indicadores de seguimiento personalizados.

Los proveedores de IA soportados son Groq (predeterminado), OpenAI y xAI. La configuración se realiza mediante variables de entorno o parámetros en base de datos. El límite diario de análisis por usuario es configurable (predeterminado 10). El análisis por IA se presenta explícitamente como soporte preventivo, no como decisión de autorización.

## 9.4 Asistente conversacional contextual

Los usuarios autenticados tienen acceso a un asistente conversacional SkyORM disponible como cajón flotante en todas las páginas privadas de la aplicación. El asistente utiliza el mismo proveedor de IA configurado, tiene acceso a una base de conocimiento de SkyORM en formato Markdown, puede recibir contexto compacto de estadísticas y mantiene historial de conversación por usuario. Solo está disponible para usuarios autenticados; los rellenadores anónimos no ven el asistente.

El asistente está contextualizado según la página activa: si el usuario está en las estadísticas personales, el cajón ofrece accesos rápidos a "Constructor", "Estadísticas", "Prevención" y "Permisos" para orientar las preguntas frecuentes. El historial de conversación se mantiene por usuario y no se reinicia entre sesiones.



Figura 33. Asistente conversacional SkyORM: cajón flotante con base de conocimiento contextual, accesos rápidos por área y campo de pregunta libre.

## 9.5 Exportación e informe PDF personal

Desde las estadísticas personales, el usuario puede:

- Exportar un CSV de las respuestas filtradas con todos los factores crudos, subtotales de fase y subtotales por página.
- Generar un informe PDF personal generado en servidor que incluye los KPIs preventivos, gráficas, conclusiones automáticas y respuestas recientes.
- Enviar ese informe PDF a una dirección de correo electrónico validada desde la propia interfaz.

## 10. FLUJO DE AUTORIZACIÓN POR UMBRAL

El flujo de autorización de SkyORM digitaliza el proceso de aprobación para respuestas ORM que alcanzan umbrales con requisito de autorización. Reemplaza el proceso informal (llamada telefónica, comunicación verbal) por un registro digital con trazabilidad completa.

### 10.1 Configuración de umbrales de autorización

En el constructor de la plantilla, cada umbral puede tener un texto de autorización (por ejemplo, "Requiere autorización del Jefe de Escuadrilla"). Además, la plantilla puede tener una lista de emails de gestores de autorización por umbral, introducidos como chips validados. Cuando un umbral requiere autorización y existen gestores configurados, cualquier respuesta que alcance ese umbral inicia el flujo de aprobación.

### 10.2 Estados de una respuesta

| Estado                       | Descripción                                                                                              |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (sin umbral de autorización) | La respuesta se resuelve directamente al enviar.                                                         |
| pending                      | La respuesta alcanzó un umbral con autorización y gestores configurados. Se envían emails de aprobación. |
| approved                     | Un gestor aprobó la respuesta mediante el enlace de email firmado.                                       |
| rejected                     | Un gestor rechazó la respuesta mediante el enlace de email firmado.                                      |

### 10.3 Mecanismo de aprobación por email

Al enviar una respuesta que entra en estado pendiente, el sistema envía a cada gestor del umbral un email con dos enlaces firmados: uno para aprobar y otro para rechazar. Los enlaces incluyen la respuesta, el email del gestor y la decisión, firmados criptográficamente. La primera decisión válida registra el estado, el timestamp y el email decididor. Clics posteriores muestran la decisión ya tomada sin modificarla.

La aprobación o rechazo no otorgan al gestor permisos de constructor, panel de mando ni acceso a otras respuestas. Es un mecanismo de decisión puntual y trazable. El estado de autorización se muestra en la página de resultado y en el listado de respuestas del propietario.

Resultado ORM

ORM SQN ALUMNOS VUELO

Registrada el 28/05/2026 02:46 · noctime@gmail.com

Guardada en Mis respuestas de tu cuenta.

65,5

MACOM / DEN

T/O 3,8

LDG 3,8

ALT 1,9

Identificacion

MSN  
CK8123

CALLSIGN  
CHEKPAR21

DATE  
2026-05-19T02:39

FLT BOSS  
GARCÍA

HIGHEST THREAT(S)  
La meteorología puede emperorar.

MITIGATION  
Revisar de nuevo previo a la salida

SIGNED BY  
ck

SIGNATURE  


Subtotales por pagina

MISION  
15,0

ENTORNO  
9,5

AERONAVE  
3,0

PERSONA  
38,0

Meteo consultada

TAKEOFF\_AIRFIELD

Valida 2026-05-28T01:00:00+00:00 · 37080 m vis · 2.9 kt viento

Sugerido GREEN

Aplicado GREEN

- Visibilidad 37080 m => GREEN.
- Techo estimado 9999 ft => GREEN.
- wind\_speed\_kn 2.9 kt => GREEN.
- wind\_gusts\_kn 5.4 kt => GREEN.
- Precipitacion 0.0 mm => GREEN.
- WMO weather\_code 0 => GREEN.

Figura 34. Resultado ORM: puntuación 65,5 (nivel MACOM/DEN) con subtotales por página MISIÓN/ENTORNO/AERONAVE/PERSONA.

**Autorizacion requerida**

MACOM / DEN

Umbral: 49.1 - sin limite puntos

**Compartir resultado**

 Copiar ORM

 WhatsApp

**Enviar por email**

email@destino.com

Nombre opcional

Mensaje opcional

 Enviar email SkyORM

 Rellenar de nuevo

Ver mi historial

 PDF preparado para fase posterior

Figura 35. Pantalla de resultado: confirmación de autorización requerida al nivel MACOM/DEN con opciones de compartir, email y descarga PDF.

## 11. SINCRONIZACIÓN IDEMPOTENTE DE PLANTILLAS

---

Un requisito crítico de las plantillas de referencia es que puedan actualizarse cuando el ORM fuente (p. ej. el AGA AvORM v25.1) evolucione, sin pérdida de datos históricos. El servicio TemplateSyncer implementa este principio mediante una sincronización idempotente basada en la etiqueta normalizada de cada factor.

### 11.1 Comportamiento de la sincronización

- Los factores, modificadores y umbrales definidos en el código se hacen upsert y se reordenan en cada sync.
- Los factores que ya no están en la definición de referencia y NO tienen respuestas históricas son eliminados.
- Los factores que ya no están en la definición pero SÍ tienen respuestas históricas no se eliminan: se marcan deprecated=true.
- Los factores marcados como deprecated quedan ocultos en el relleno y en el scoring, pero sus respuestas históricas siguen siendo legibles.
- Los modificadores eliminados se borran porque su información ya está registrada en appliedModifiersJson de las respuestas.
- Los umbrales eliminados se borran y recrean según la definición actual. El estado de autorización persiste en OrmResponse.
- Todas las acciones de limpieza se muestran en la salida del comando para transparencia operativa.

### 11.2 Verificación de integridad

El comando `app:orm:sync-verify` comprueba que los conteos de factores puntuados, metadatos, firmas, modificadores, umbrales, template locations y weather bindings de las tres plantillas de referencia coinciden exactamente con los valores esperados. Retorna código de salida 1 si algún recuento diverge, facilitando su integración en pipelines de CI/CD o en scripts de despliegue.



## 12. EXPORTACIÓN Y AUDITORÍA

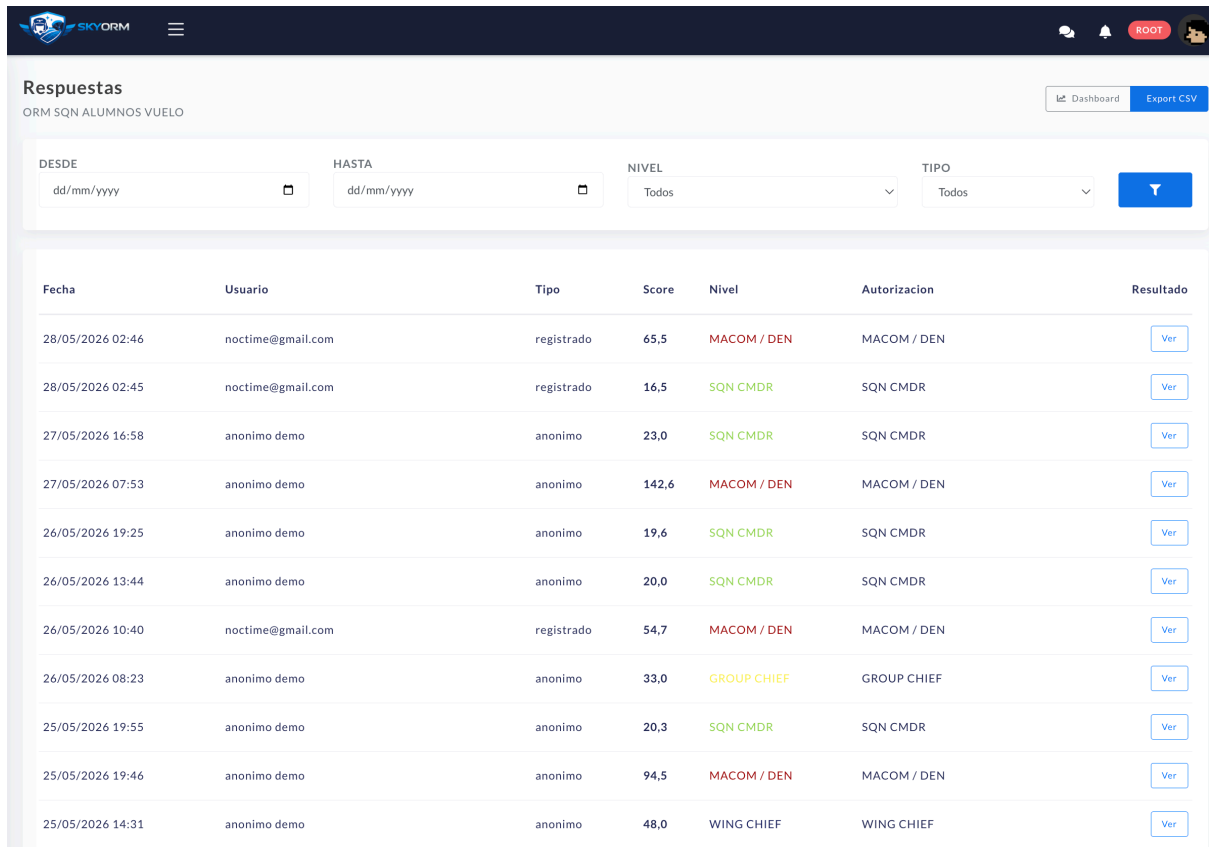
---

### 12.1 Exportación CSV

Desde el panel de mando del propietario y desde el listado de respuestas, el propietario puede exportar todas las respuestas de una plantilla en formato CSV. El fichero incluye:

- Una columna por factor: valores crudos para metadatos y valores numéricos para factores puntuados.
- Columnas de subtotales de fase: subtotal\_to (T/O), subtotal\_ldg (LDG), subtotal\_alt (ALT) cuando existen factores phase\_matrix.
- Columnas de subtotales por página: subtotal\_mision, subtotal\_entorno, subtotal\_aeronave, subtotal\_persona para páginas puntuadas.
- Columna de puntuación total, umbral alcanzado, estado de autorización y fecha de respuesta.

Las páginas completamente informativas se omiten de las columnas de subtotales. Esta estructura permite al analista de seguridad utilizar herramientas externas (Excel, Python, R) para realizar análisis de tendencias, correlaciones o modelos predictivos sobre los datos históricos de la unidad.



| Fecha            | Usuario           | Tipo       | Score | Nivel       | Autorización | Resultado |
|------------------|-------------------|------------|-------|-------------|--------------|-----------|
| 28/05/2026 02:46 | noctime@gmail.com | registrado | 65,5  | MACOM / DEN | MACOM / DEN  | Ver       |
| 28/05/2026 02:45 | noctime@gmail.com | registrado | 16,5  | SQN CMDR    | SQN CMDR     | Ver       |
| 27/05/2026 16:58 | anonimo demo      | anonimo    | 23,0  | SQN CMDR    | SQN CMDR     | Ver       |
| 27/05/2026 07:53 | anonimo demo      | anonimo    | 142,6 | MACOM / DEN | MACOM / DEN  | Ver       |
| 26/05/2026 19:25 | anonimo demo      | anonimo    | 19,6  | SQN CMDR    | SQN CMDR     | Ver       |
| 26/05/2026 13:44 | anonimo demo      | anonimo    | 20,0  | SQN CMDR    | SQN CMDR     | Ver       |
| 26/05/2026 10:40 | noctime@gmail.com | registrado | 54,7  | MACOM / DEN | MACOM / DEN  | Ver       |
| 26/05/2026 08:23 | anonimo demo      | anonimo    | 33,0  | GROUP CHIEF | GROUP CHIEF  | Ver       |
| 25/05/2026 19:55 | anonimo demo      | anonimo    | 20,3  | SQN CMDR    | SQN CMDR     | Ver       |
| 25/05/2026 19:46 | anonimo demo      | anonimo    | 94,5  | MACOM / DEN | MACOM / DEN  | Ver       |
| 25/05/2026 14:31 | anonimo demo      | anonimo    | 48,0  | WING CHIEF  | WING CHIEF   | Ver       |

Figura 36. Listado de respuestas del panel de mando con puntuaciones, umbrales, estados de autorización y botón de exportación CSV.

## 12.2 URL compatible de resultado

Cada respuesta puede generar una URL firmada y compatible que permite a un tercero ver el resultado específico sin recibir permisos de constructor, panel de mando o listado general de respuestas. Esto facilita la comunicación de resultados entre el rellenador y su mando sin exponer datos de otros operadores.

## 12.3 Registro de snapshots meteorológicos

Cuando el rellenador ha utilizado la integración meteorológica, la respuesta almacena weatherSnapshotsJson con el snapshot completo de variables Open-Meteo, el color derivado por el motor de reglas y la decisión del rellenador (aplicar o anular). Este registro permite auditar a posteriori qué condiciones meteorológicas estaban presentes en el momento del relleno y si el rellenador aceptó o modificó la sugerencia.

## 13. SEGURIDAD, ACCESO Y ROLES

---

### 13.1 Autenticación

SkyORM implementa múltiples métodos de autenticación:

- Autenticación por contraseña con protección CSRF.
- Google OAuth para organizaciones que lo tengan habilitado.
- Flujos de restablecimiento de contraseña por email.
- Soporte de passkeys (autenticación sin contraseña).
- Dispositivos de confianza y registro de sesiones.

### 13.2 Modelo de roles por plantilla

El acceso a cada plantilla ORM se gestiona mediante la entidad `OrmPermission`. Los roles disponibles son:

- `owner`: Control completo de la plantilla, incluyendo constructor, configuración, datos y panel de mando.
- `collaborator`: Puede editar la plantilla en el constructor, pero no puede cambiar la propiedad ni eliminarla.
- `reader`: Acceso de solo lectura al panel de mando y estadísticas de la plantilla. Sin acceso al constructor.

### 13.3 Reutilización de plantillas (starter)

Al crear una nueva plantilla, el creador puede seleccionar una plantilla como base o "starter". Solo se copian los datos de definición editables (páginas, secciones, factores, modificadores, umbrales, clasificación ORM). Nunca se copian respuestas, permisos, contraseñas de acceso, estado de publicación ni logotipos. Las plantillas archivadas no se ofrecen como starters.



## 14. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN CON DATOS SINTÉTICOS

*IMPORTANTE: Todos los datos de respuesta utilizados para validar y demostrar el sistema son sintéticos, generados mediante los comandos de demostración de SkyORM. No se han realizado pruebas piloto con unidades reales del Ejército del Aire y del Espacio. El objetivo de la validación con datos sintéticos es acreditar que el sistema funciona correctamente en todos sus flujos antes de un despliegue real.*

### 14.1 Comandos de generación de datos

| Comando                            | Descripción                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| app:orm:generate-demo-data         | Genera usuarios de demostración, tres plantillas ORM de demostración, permisos de lector y 60 días de respuestas sintéticas.                                |
| app:orm:backfill-demo-responses    | Rellena plantillas ORM existentes con respuestas anónimas simuladas al 80% de los días laborables desde 2025-01-01 hasta hoy. Omite días ya con respuestas. |
| app:orm:sync-parachuting-templates | Sincroniza las plantillas de paracaidismo automático y manual desde la definición en código.                                                                |
| app:orm:sync-aga-template          | Sincroniza el AGA AvORM v25.1 desde la definición en código, siembra el catálogo de ubicaciones y crea los bindings meteorológicos.                         |
| app:orm:sync-verify                | Verifica que los conteos de factores/modificadores/umbrales de las tres plantillas de referencia son exactamente los esperados.                             |

### 14.2 Cobertura de la validación sintética

La validación con datos sintéticos ha cubierto los siguientes escenarios:

- Generación de respuestas con todos los tipos de factor (scale, select, boolean, phase\_matrix, text, datetime, signature).
- Verificación del cálculo de puntuación y subtotales de página.
- Verificación de la activación de umbrales y flujo de estado de autorización.
- Verificación de la suspensión de actividad por factores booleanos y de escala.

- Renderizado correcto de paneles de mando con distribuciones y series temporales.
- Funcionamiento del análisis por IA sobre estadísticas personales generadas sintéticamente.
- Exportación CSV con columnas de subtotales por página y fase.
- Sincronización idempotente de plantillas con factores deprecated.
- Flujo meteorológico con snapshots almacenados en weatherSnapshotsJson.

```
salto-automatico: 292/367 dias ya cubiertos, 1 dias a rellenar, 1 respuestas nuevas.  
demo-orm-paracaidismo-automatico: 318/367 dias ya cubiertos, 1 dias a rellenar, 2 respuestas nuevas.  
demo-orm-paracaidismo-manual: 321/367 dias ya cubiertos, 1 dias a rellenar, 1 respuestas nuevas.  
aga: 318/367 dias ya cubiertos, 52 dias a rellenar, 132 respuestas nuevas.  
Backfill terminado: 136 respuestas y 7317 respuestas de factor creadas. Dias ORM cubiertos objetivo: 1304.
```

*Figura 37. Terminal: ejecución del comando de backfill con 136 respuestas sintéticas generadas (7.317 respuestas de factor creadas).*

### 14.3 Posicionamiento: concepto validado, listo para despliegue

SkyORM se presenta como un concepto plenamente desarrollado y validado funcionalmente que está listo para despliegue en un entorno operativo real. La transición de datos sintéticos a datos operativos reales no requiere cambios en el sistema: las mismas rutas, el mismo motor de puntuación y la misma analítica funcionarán con respuestas reales de pilotos y paracaidistas.

El siguiente paso natural es un piloto operativo limitado en una unidad del EA, con un conjunto reducido de plantillas y usuarios, para validar la usabilidad real y ajustar la configuración de umbrales y factores según la experiencia operativa.

## 15. HOJA DE RUTA Y LÍNEAS DE EVOLUCIÓN

---

SkyORM ha sido diseñado con un horizonte de evolución claro. Las siguientes líneas de desarrollo han sido identificadas como prioritarias para una eventual versión operativa completa:

### 15.1 Versionado inmutable de plantillas

La arquitectura actual permite editar directamente las plantillas. Una versión futura implementaría versionado inmutable: cada publicación de cambios crearía una nueva versión, preservando la trazabilidad exacta entre respuesta y definición de plantilla vigente en el momento del relleno.

### 15.2 Flujos de autorización multi-paso

El flujo actual soporta aprobación de un único nivel por threshold. Una evolución futura permitiría cadenas de autorización delegada con múltiples aprobadores secuenciales, historial de delegaciones y aprobadores nombrados con registro de usuario.

### 15.3 Ingesta de METAR/TAFOR oficial

La integración meteorológica actual utiliza Open-Meteo como fuente de previsión numérica. Una integración con fuentes de datos aeronáuticos oficiales (OGIMET, MétéoFrance, AEMET Aviación) proporcionaría datos METAR y TAFOR decodificados, mejorando la precisión de la asistencia meteorológica en aeródromos con estación METAR propia.

### 15.4 Perfil de viento vertical para DZ

Para operaciones paracaidistas, la integración con datos de viento en altura por niveles de presión permitiría mostrar el perfil de viento vertical completo desde el suelo hasta la altitud de salida, facilitando la evaluación del riesgo meteorológico en toda la trayectoria de descenso.

## **15.5 Cobertura de tests y calidad de código**

La cobertura de tests actual está centrada en el módulo de control de acceso (Uaccess). Una mejora clave sería añadir tests unitarios y de integración para OrmScoringService, OrmAnalyticsService, los controladores principales y los flujos de autorización. Esto facilitaría la evolución segura del sistema y su mantenimiento a largo plazo.

## **15.6 Integración con sistemas corporativos del EA**

Una versión para despliegue real en el EA podría integrarse con el directorio de usuarios corporativo (LDAP/Active Directory), los sistemas de gestión de aeronaves (estado de mantenimiento, horas de vuelo disponibles) y los sistemas de planificación de misiones, para alimentar automáticamente ciertos factores ORM con datos objetivos.

## 16. CONCLUSIONES

---

SkyORM representa una propuesta concreta y técnicamente completa para la transformación digital del proceso de gestión del riesgo operacional en el Ejército del Aire y del Espacio. El proyecto aborda directamente una brecha identificada: la existencia de metodologías ORM bien definidas sin un soporte digital que las haga operativas, trazables y basadas en datos.

Las principales contribuciones del proyecto son:

- Motor de puntuación con soporte completo de tipos de factor, incluyendo la matriz de fase (phase\_matrix) para proyectar simultáneamente el riesgo en las tres fases de vuelo (T/O, LDG, ALT).
- Tres plantillas de referencia implementadas y sincronizables: ORM de paracaidismo automático, manual y AGA AvORM v25.1 basada en la hoja SPAF Fighter Aviation.
- Integración meteorológica con Open-Meteo y motor de reglas de color configurable, que convierte datos objetivos de previsión en sugerencias de valor para los factores ORM.
- Asistente de relleno wizard multipágina con validación HTML5 nativa por página y subtotales en vivo.
- Flujo de autorización digital con aprobación por enlace de email firmado y registro completo de la decisión.
- Analítica estadística completa: panel de mando agregado, estadísticas personales profundas y análisis por IA con proveedores configurables.
- Asistente conversacional contextual con base de conocimiento de SkyORM.
- Sincronización idempotente de plantillas con gestión de factores obsoletos para preservar datos históricos.
- Exportación CSV con subtotales por fase y por página para análisis externo.

Todos los flujos han sido validados con datos sintéticos generados por los comandos de demostración incluidos en el sistema. SkyORM está listo para iniciar un piloto operativo en una unidad real del EA, sin necesidad de cambios estructurales: el mismo sistema que hoy gestiona datos sintéticos gestionará mañana respuestas reales de pilotos y paracaidistas.

Más allá de la puntuación individual, el verdadero coste oculto de los formularios en papel o en hojas de cálculo estáticas es la destrucción sistemática de datos estadísticos que podrían salvar vidas. Cada relleno archivado en papel es una observación perdida. Sin acumulación histórica estructurada, patrones críticos de seguridad permanecen invisibles para el mando de la unidad:

- **Fatiga acumulada en la unidad:** si los factores de sueño y fatiga se digitalizan y agregan, el mando puede detectar que en las últimas semanas el 70% del personal puntúa por encima del umbral en el factor "ciclo de sueño". La respuesta puede ser reducir la carga operativa, espaciar los turnos de alerta o programar una charla sobre higiene del sueño y gestión de la fatiga. Con papel, ese patrón es invisible.
- **Brecha de experiencia reciente:** si la fecha de la última misión similar se registra como metadato del ORM, el sistema puede detectar que varios operadores llevan semanas o meses sin ejecutar una misión del tipo planificado. Eso puede motivar revisiones del programa de operaciones, sesiones de repaso en simulador o una decisión de reintroducir al personal de forma progresiva antes de retomar misiones de alta complejidad.
- **Estacionalidad del riesgo:** el análisis temporal agregado puede revelar que los niveles de riesgo aumentan sistemáticamente en determinados períodos — prenavidades, fin de ejercicio, cambio de turno estacional—. Esa información permite anticipar refuerzos de supervisión o ajustar la planificación antes de que el patrón se convierta en incidente o accidente.
- **Correlación con condiciones meteorológicas:** cruzando el subtotal del factor "Weather at Field" con el histórico de respuestas, el oficial de seguridad puede identificar si el personal tiende a infravalorar sistemáticamente el riesgo meteorológico en determinadas condiciones —un sesgo que puede corregirse con formación específica antes de que se materialice en un evento de seguridad.
- **Deriva progresiva de factores:** si el factor "presión por misión" lleva tres meses con una media creciente en toda la plantilla, eso puede reflejar un incremento real de la carga operacional que merece atención del mando. Ningún formulario en papel permite ver esa curva. Solo la acumulación digital de datos la hace visible a tiempo.

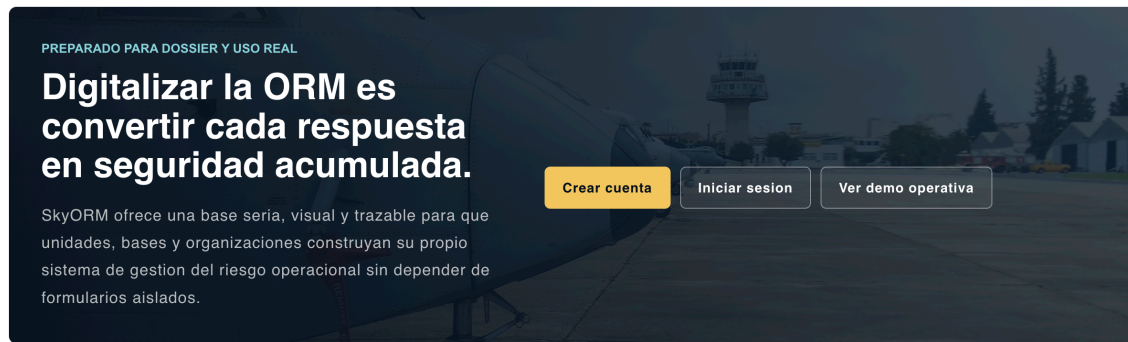


Figura 38. "Digitalizar la ORM es convertir cada respuesta en seguridad acumulada": propuesta de valor final de SkyORM preparada para dossier y uso real.

Estos análisis no requieren grandes inversiones en inteligencia artificial: son el resultado natural de tener datos estructurados y acumulados. SkyORM convierte cada relleno en un punto del tejido estadístico de la seguridad operacional de la unidad. La diferencia entre operar con papel y operar con SkyORM no es solo de comodidad: es la diferencia entre prevenir con datos y esperar a que sea el parte de accidente el que lo explique todo. **La prevención del riesgo en aviación no puede seguir siendo papel. Cada ORM rellena se convierte en un dato, cada dato en conocimiento y cada conocimiento en una decisión en materia de prevención y análisis.**



# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ejército del Aire y del Espacio, Instrucción General Organización y Funciones De La Seguridad De Vuelo en el Ejército Del Aire y del Espacio. Estado Mayor del Aire, Madrid. Vigente en el período de desarrollo del presente trabajo (2025–2026).
- [2] Academia General del Aire (AGA), "Aviation Operational Risk Management Worksheet v25.1 (AGA AvORM)," SPAF — Spanish Air Force Fighter Aviation Program, San Javier, 2025. Hoja de cálculo de referencia para la plantilla AGA AvORM v25.1 implementada en SkyORM.
- [3] Escuela Militar de Paracaidismo "Méndez Parada" (EMPMP), "Formulario de Gestión del Riesgo Operacional — Paracaidismo Militar," Alcantarilla. Fuente de referencia para las plantillas de ORM de paracaidismo automático y manual implementadas en SkyORM.
- [4] U.S. Navy, "Operational Risk Management (ORM)," OPNAVINST 3500.39 series. Naval Operations / Safety.
- [5] NATO, "Allied Risk Management in Aviation (ARMA)," STANAG series, Allied Command Operations.
- [6] Open-Meteo, "Open-Meteo API Documentation," <https://open-meteo.com/en/docs> (consultado 2026).
- [7] Symfony, "Symfony 7 Documentation," <https://symfony.com/doc/7.0/> (consultado 2025–2026).
- [8] Doctrine Project, "Doctrine ORM Documentation," <https://www.doctrine-project.org/projects/orm.html>.
- [9] OurAirports, "World Airports Database (airports.csv)," <https://ourairports.com/data/> (dominio público).
- [10] Groq, "Groq API Documentation," <https://console.groq.com/docs> (consultado 2025–2026).
- [11] Chart.js, "Chart.js Documentation," <https://www.chartjs.org/docs/latest/> (consultado 2025–2026).
- [12] Leaflet, "Leaflet.js Interactive Maps," <https://leafletjs.com/> (consultado 2025–2026).
- [13] Bootstrap, "Bootstrap 5 Documentation," <https://getbootstrap.com/docs/5.3/> (consultado 2025–2026).