

## DOSSIER

# Propuesta metodológica en los sucesos aeronáuticos en Argentina para la aplicación de una matriz de riesgo basada en la taxonomía ADREP

*Methodological proposal for the application of a risk matrix based on the ADREP taxonomy in aeronautical events in Argentina*

Carlos Mario Carbonel, Ezequiel  
Rubén Ayala

Junta de Seguridad en el Transporte,  
ccarbonel@jst.gob.ar, eayala@jst.gob.ar

**Palabras clave:** JST, SSP, SDCPS, SMS, ADREP/ECCAIRS, matriz de riesgo, operaciones agroaéreas.

**Keywords:** JST, SSP, SDCPS, SMS, ADREP/ECCAIRS, Risk Matrix, agro-aircraft operations.

Recibido: 05/09/23  
Aceptado: 20/10/23

## RESUMEN

El presente documento tiene como fin diseñar una metodología de análisis para la ponderación de los factores de riesgo en sucesos aeronáuticos. Mediante un enfoque estadístico se generará un listado de categorías de sucesos según el nivel de riesgo, considerando para ello tanto la frecuencia de ocurrencia como la gravedad de las consecuencias sufridas por el personal y los materiales involucrados. Dado que la mayor cantidad de operaciones aéreas en Argentina se desarrollan en aeródromos no controlados, resulta inviable la evaluación de indicadores en función de la cantidad de despegues y aterrizajes; es por esto que se decidió realizar el análisis de recurrencia como función de los sucesos registrados por categoría y la cantidad de sucesos. A partir de esto, la metodología propuesta busca ponderar las categorías de sucesos según una evaluación del riesgo que poseen, que permiten orientar líneas de investigación reactivas y, a su vez, contribuir de manera proactiva a la prevención de futuros accidentes e incidentes fortaleciendo la seguridad operacional. Se aplicará esta metodología a los sucesos en operaciones de trabajo agroaéreo en Argentina durante el periodo 2013-2022. Los datos se obtuvieron del sistema ADREP/ECCAIRS del Repositorio Institucional de la Junta de Seguridad en el Transporte (JST). Como resultados de la aplicación de la metodología propuesta se presentará la evolución anual de los sucesos para destacar las categorías con mayor riesgo ponderando para el tipo de operaciones bajo estudio.

## ABSTRACT

The purpose of this document is to design an analysis methodology for the weighting of risk factors in aeronautical events. By means of a statistical approach, a list of categories of events will be generated according to the level of risk, considering both the frequency of occurrence and the severity of the consequences suffered by the personnel and the materials involved. Since most air operations in Argentina are carried out in uncontrolled aerodromes, it is not feasible to evaluate indicators based on the number of takeoffs and landings, therefore, it was decided to perform the recurrence analysis as a function of the events recorded by category and the number of events. Based on this, the proposed methodology seeks to weight the categories of events according to their risk assessment, allowing to guide reactive lines of investigation and, at the same time, contribute proactively to the prevention of future accidents and incidents, strengthening operational safety. This methodology will be applied to events in agro-aircraft work operations in Argentina during the period 2013-2022. The data were obtained from the ADREP/ECCAIRS system of the Institutional Repository of the Transportation Safety Board (JST). As results of the application of the proposed methodology, the annual evolution of the occurrences will be presented, highlighting the categories with the highest weighted risk for the type of operations under study.

## Introducción

La finalidad de las normas y métodos recomendados (SARPS) del Anexo 19 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) es brindar lineamientos generales a los Estados para la gestión de los riesgos de seguridad operacional en la aviación, para lo cual propone como principal herramienta la consolidación de un Sistema de Seguridad Operacional del Estado (SSP).

Así mismo, se plantea como requisito para establecer un SSP el contar con un sistema de supervisión de la seguridad operacional. Para ello, los Estados deben implementar sistemas de recopilación y procesamiento de datos sobre seguridad operacional (SDCPS) que permitan captar, almacenar, agregar y analizar datos e información sobre seguridad operacional. Este sistema debe incluir datos e información relativos a las investigaciones de accidentes e incidentes.

Una organización gestiona la seguridad operacional garantizando que los riesgos, derivados de las consecuencias de los peligros en actividades críticas, estén controlados hasta un nivel tan bajo como sea razonable en la práctica, conocido como ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*). Para ello, la gestión de riesgos de seguridad operacional comprende dos actividades distintas: la identificación de peligros y la evaluación y mitigación de los riesgos asociados.

El presente documento detalla la implementación de una metodología para evaluar, ponderando probabilidad y gravedad, las consecuencias de los peligros que han ocurrido y han sido registrados durante el periodo que se desea estudiar, basándose en datos de accidentes e incidentes. Esta metodología permitirá obtener una matriz para la evaluación del riesgo conforme a categorías ADREP, lo cual servirá como herramienta para la toma de decisiones y la determinación de acciones de mitigación, a fin de lograr una mejora continua de la seguridad operacional de manera proactiva.

Asimismo, la metodología presentada es una de las adoptadas por el organismo AIG de Argentina como método de evaluación continua de la seguridad operacional. Esto permitirá establecer prioridades en las líneas de investigación y generar un listado de las categorías<sup>1</sup> de sucesos a los que se les dará un tratamiento especial como temas de observación permanente.

## Desarrollo

Para el presente trabajo se utilizó la base de datos de seguridad operacional del sistema ADREP/ECCAIRS<sup>2</sup> del Repositorio Institucional de la JST. La exportación de la información necesaria para ponderar la probabilidad y gravedad fue realizada con el proceso Data Manager del sistema ECCAIRS. Se seleccionaron y filtraron los datos a través de consultas (*query*) para conformar los registros exportados a una hoja de cálculo (MS-Excel) para análisis posterior.

Con el fin de determinar el grado de aceptabilidad del riesgo de cada categoría (probabilidad de que ocurra y severidad que puede producir) se realizó un análisis para establecer una escala de gravedad y otra de frecuencia para integrarlas en una matriz de riesgo.

Se determinó la gravedad de cada suceso considerando en particular la severidad en función de los daños a la aeronave y lesiones al personal. Se adoptó una escala discreta con niveles del 1 al 5, tomando como modelos los ejemplos en el Doc. 9859 Manual de gestión de la seguridad operacional de OACI y la ORDER 5200.11 FAA Airports (ARP) Safety Management System (SMS).

1. Las categorías de sucesos son establecidas por el equipo de seguridad operacional de aviación comercial y el equipo de taxonomía común de OACI (CAST/CICTT): <http://www.intlaviationstandards.org/Documents/OccurrenceCategoryDefinitions.pdf>

2. El ECCAIRS es un sistema desarrollado por la Unión Europea que permite, de manera estandarizada, recolectar, analizar y compartir información acerca de los sucesos (accidentes e incidentes) en un formato compatible con el Sistema de Notificación de Accidentes/Incidentes de Aviación (ADREP).

Tabla 1. Nivel de gravedad del suceso.

Gravedad del suceso	Daños a la aeronave	Lesiones a las personas	Valor
Catastrófico	Destrucción completa o pérdida de la aeronave (inaccesible)	Fallecidos	5
Peligroso	Daños severos	Heridos de gravedad	4
Mayor	Daños mayores	Heridas leves	3
Menor	Daños menores	N/A	2
Insignificante	Ninguno	N/A	1

Fuente: elaboración propia.

Así, la clasificación según los datos cargados en el sistema ECCAIRS, fue expresada de la siguiente manera:

Tabla 2. Nivel de gravedad del suceso con relación a los daños a la aeronave (a) y a las lesiones a las personas (b).

Daño a la aeronave	Nivel	Lesiones	Nivel
Destruída	5	Fatal	5
De importancia	4	Serio	4
Menor	3	Menor	3
Ninguno	2	Ninguna	2
Desconocido	1	Desconocidas	1
S/D	1	S/D	1

Fuente: elaboración propia.

De esta forma, se pudo determinar la gravedad de cada suceso como el producto de ambos niveles:

$$\text{Gravedad del suceso} = \text{Nivel de daño a la aeronave} * \text{Nivel de lesiones}$$

Como paso posterior, se halló la gravedad promedio de cada categoría, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Gravedad promedio de la categoría} = \frac{\sum \text{gravedad de cada suceso de una misma categoría}}{\text{total de ocurrencia de la categoría}}$$

Con esto, se determinó un rango de gravedad, en función de la media ( $\bar{X}_g$ ), la desviación estándar  $\sigma_g$ , el valor máximo  $x_{max}$  y el mínimo  $x_{min}$ . La escala de este rango de gravedad es también del 1 al 5, siendo 1 la situación más leve y 5 la más grave.

Tabla 3. Rango de gravedad

Rango de gravedad		
Nivel	Gravedad promedio	Fórmula
1	Insignificante	El mayor de: $x < \bar{X}_g - \sigma_g$ ó $x_{gmin}$
2	Menor	$\bar{X}_g - \sigma_g \leq x < Nivel 1 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3}$
3	Mayor	$Nivel 1 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3} \leq x < Nivel 2 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3}$
4	Peligroso	$Nivel 2 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3} \leq x < Nivel 3 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3}$
5	Catastrófico	El menor de: $x \geq \bar{X}_g + \sigma_g$ ó $x_{gmax}$

Fuente: elaboración propia.

Respecto a la recurrencia de los sucesos se analizó de forma análoga a la gravedad de estos.

Tabla 4. Nivel de recurrencia del suceso

Recurrencia	Significado	Valor
Frecuente	Probable que ocurra muchas veces (ha ocurrido con frecuencia)	5
Ocasional	Probable que ocurra algunas veces (ha ocurrido infrecuentemente)	4
Remoto	Improbable, pero posible que ocurra (ha ocurrido raramente)	3
Improbable	Muy improbable que ocurra	2
Extremadamente improbable	Casi inconcebible que el suceso ocurra	1

Fuente: elaboración propia.

La frecuencia de una determinada categoría en función de la cantidad de sucesos totales está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia de una categoría} = \frac{\text{Cantidad de sucesos de una categoría}}{\text{Sucesos totales}}$$

Con esto, se determinó un rango de frecuencia, en función de la media  $\bar{X}_f$  y el desvío estándar  $\sigma_f$ .

Tabla 5. Rango de frecuencias

Rango de Frecuencia		
Nivel	Recurrencia	Fórmula
1	Extremadamente improbable	El mayor de: $x < \bar{X}_f - \sigma_f$ ó $x_{fmin}$
2	Improbable	$\bar{x}_f - D_f \leq x < Nivel\ 1 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3}$
3	Remoto	$Nivel\ 1 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3} \leq x < Nivel\ 2 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3}$
4	Ocasional	$Nivel\ 2 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3} \leq x < Nivel\ 3 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3}$
5	Frecuente	El menor de: $x \geq \bar{X}_f + \sigma_f$ ó $x_{fmax}$

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se ponderó cada categoría considerando tanto su probabilidad como su gravedad de ocurrencia. Esta ponderación permitió obtener una valoración más completa de los riesgos asociados a cada categoría.

Por último, se integraron los valores (niveles) obtenidos de probabilidad y gravedad en una matriz de evaluación de los riesgos.

Figura 1. Matriz de riesgo ensamblada

Probabilidad del riesgo	Gravedad del riesgo				
	Insignificante	Menor	Mayor	Peligroso	Catastrófico
Frecuente	5	10	15	20	25
Ocasional	4	8	12	16	20
Remoto	3	6	9	12	15
Improbable	2	4	6	8	10
Extremadamente improbable	1	2	3	4	5

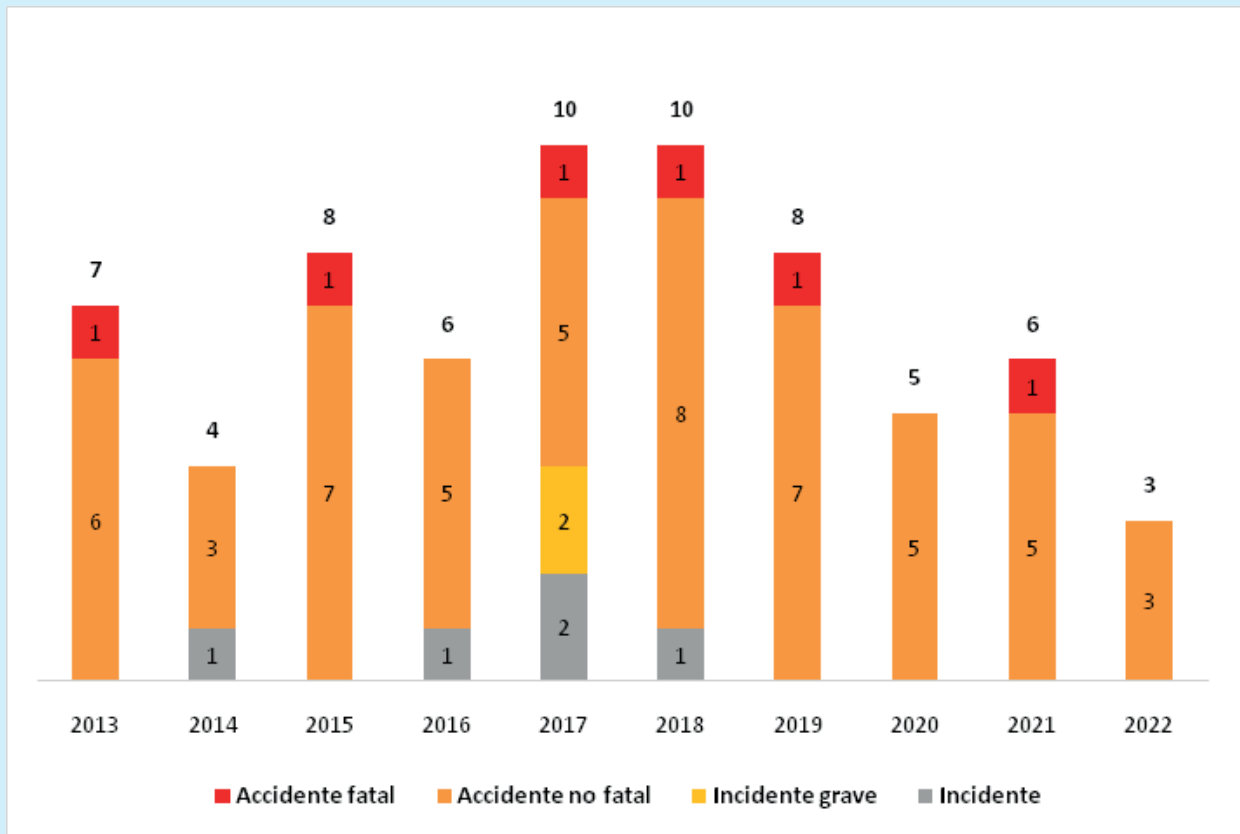
Fuente: elaboración propia.

### Aplicación de la metodología a las operaciones de trabajo agroaéreo

Las operaciones agroaéreas comprenden aquellas actividades en las que se utilizan aeronaves para la aspersión o lanzamiento de sustancias destinadas a la producción agrícola. Estas operaciones incluyen la aplicación aérea de fertilizantes, semillas y productos para la protección de cultivos, la preservación de los bosques o el control de plagas, malezas y hongos que afectan a la agricultura y la horticultura.

Durante el periodo 2013-2022, la JST registró un total de 67 eventos relacionados con estas operaciones.

Gráfico 1. Serie anual de sucesos relacionados en operaciones de aeroaplicación en Argentina en el periodo 2013-2022



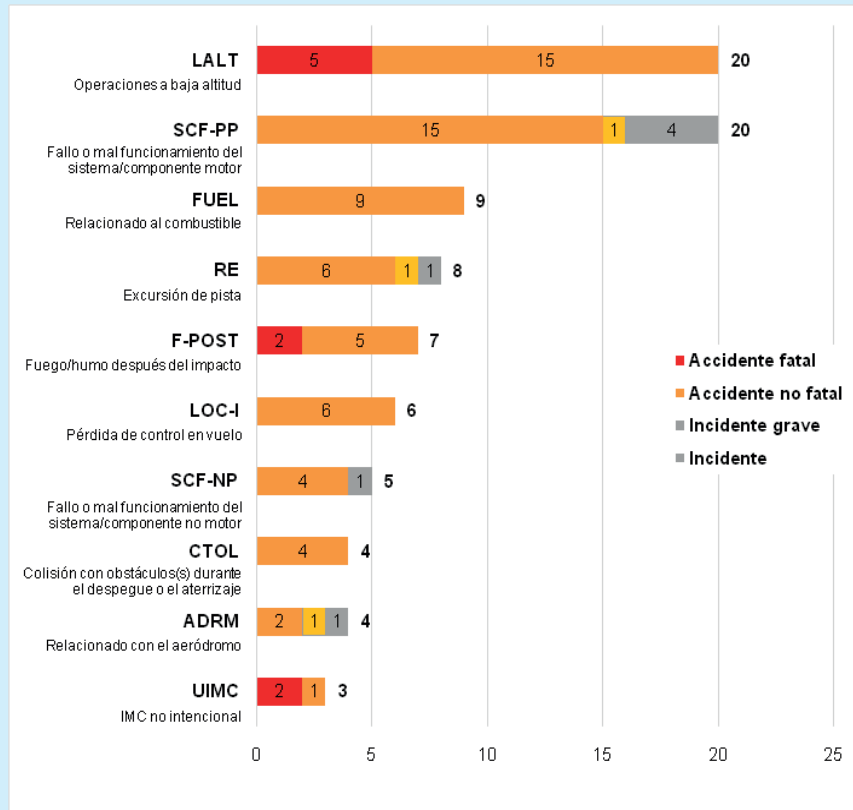
Fuente: Sistema ADREP/ECCAIRS, repositorio de la JST.

En cuanto a las categorías de sucesos, las dos que presentan mayor recurrencia y que a su vez, poseen la mayor cantidad de accidentes, son las operaciones a baja altitud (LALT) y el fallo o mal funcionamiento del motor (SCF-PP).

Le siguen otras 3 categorías con menos cantidad de ocurrencia: relacionados con el combustible (FUEL), excuriones de pista (RE) y fuego/humo después del impacto (F-POST).

En un mismo suceso pueden existir múltiples factores contribuyentes y, por lo tanto, es común que un suceso posea más de una categoría. Por esta razón, en el siguiente gráfico, la cantidad de sucesos registrados no coincide con la cantidad de sucesos por categoría.

Gráfico 2. Distribución por categorías de sucesos en operaciones de aeroaplicación en Argentina en el período 2013-2022



Fuente: Sistema ADREP/ECCAIRS, repositorio de la JST.

Aplicando el método anteriormente descrito, se pudo confeccionar la siguiente matriz de riesgo en función de la gravedad y frecuencia:

Figura 2. Matriz de riesgo aplicada a las operaciones de aeroaplicación

Probabilidad del riesgo	Gravedad del riesgo				
	Insignificante	Menor	Mayor	Peligroso	Catastrófico
Frecuente		SCF-PP		LALT	
Ocasional		FUEL RE			
Remoto		SCF-NP	LOC-I	F-POST	
Improbable	ADRM	ARC CTOL LOC-G		UIMC	
Extremadamente improbable		AMAN OTHR WILD			CFIT F-NI WSTRW

Fuente: elaboración propia.

Aplicando la matriz de riesgo a las áreas previamente definidas, se determinó el nivel de riesgo acumulado de cada categoría de suceso, en función de su gravedad y frecuencia, obteniendo como resultado las siguientes categorías en niveles rojo y amarillo:

Tabla 6. Categorías con mayor nivel de riesgo

Categoría	Rango de gravedad	Rango de frecuencia	Nivel de riesgo
LALT	4	5	20
F-POST	4	3	12
SCF-PP	2	5	10
LOC-I	3	3	9
UIMC	4	2	8
FUEL	2	4	8
RE	2	4	8
SCF-NP	2	3	6
CFIT	5	1	5
WSTRW	5	1	5
F-NI	5	1	5

Fuente: elaboración propia.

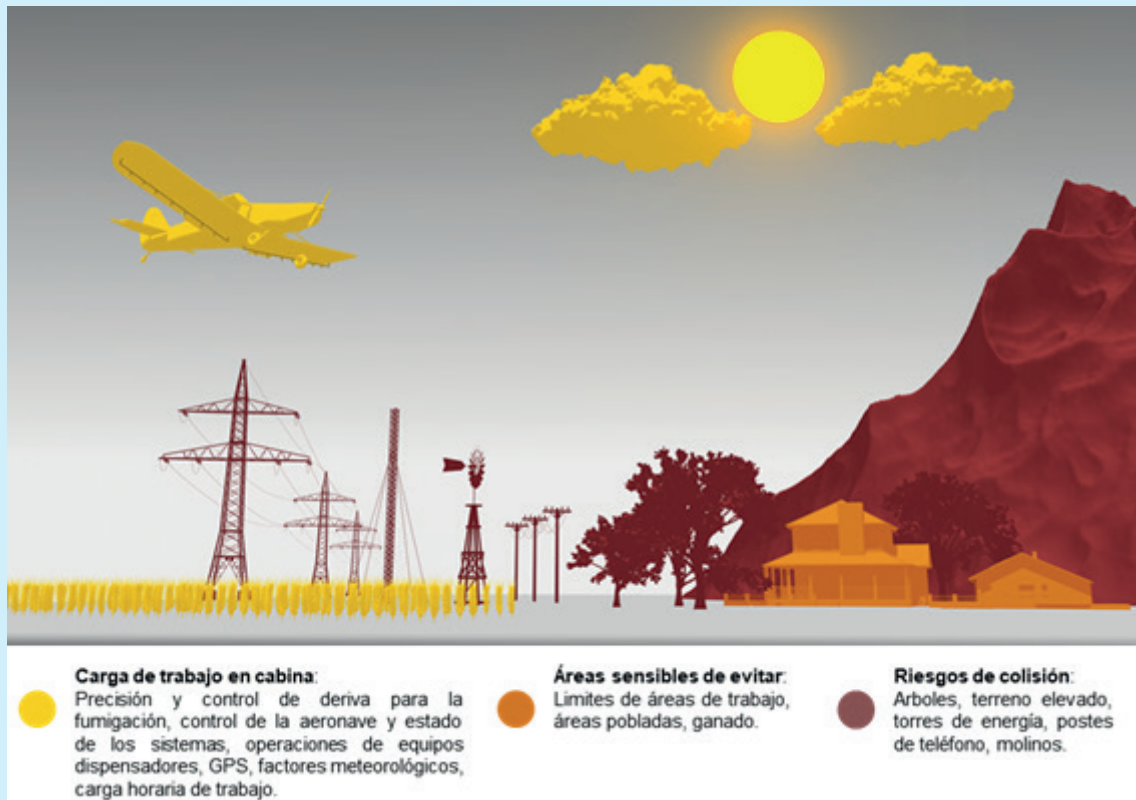
Analizando estas categorías en detalle, suceso a suceso, se puede observar que las categorías LOC-I y LALT presentan escenarios coincidentes, es decir, la mayoría de los sucesos LALT involucran LOC-I. A su vez, los sucesos F-POST son resultado de los anteriores. Por tal motivo, y a los fines de presentación de la metodología expuesta, se determinó hacer principal énfasis en la categoría LALT por contener los escenarios con mayor nivel riesgo. La categoría SCF-PP también merece ser evaluada, aunque para los fines demostrativos de aplicabilidad de la metodología expuesta, basta con analizar únicamente la categoría LALT.

Esta categoría de suceso se define como la colisión o casi colisión con obstáculos, objetos o el terreno durante la operación intencional cerca de la superficie, excluyendo las fases de despegue y aterrizaje. Incluye diversas operaciones tales como, exhibiciones aéreas, maniobras a baja altura, vuelos panorámicos y turísticos, inspección aérea, aplicación aérea, operaciones de búsqueda y salvamento, entre otras.

En el caso de las operaciones de trabajo agroaéreo registradas por la JST, en los últimos diez años esta categoría representa aproximadamente el 33 % de los sucesos y, en su mayoría, han resultado en accidentes. Los pilotos agrícolas deben operar su equipo dispensador y ajustar sus recorridos, mientras monitorean los recursos en la cabina, para garantizar una cobertura eficiente. También deben monitorear en el exterior una variedad de consideraciones como fenómenos meteorológicos (que pueden afectar la visibilidad o la liberación del producto), los límites del área de trabajo, la presencia de obstáculos y las zonas que deben evitarse debido a la presencia de población, restricciones de ruido, presencia de ganado u otras medidas de seguridad. Estos factores, ya sea por separado o en combinación, pueden contribuir a la fatiga del piloto y a otros efectos que podrían degradar su rendimiento.



Figura 3. Elementos que demandan la atención del piloto



Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, las herramientas derivadas de la metodología presentada son eficientes para la evaluación de riesgos en sucesos aéreos en Argentina. Dicha metodología no solo es eficiente en términos de tiempo y recursos, sino que también ofrece una sensibilidad ajustada a las exigencias operacionales de la investigación, ajustándose fielmente a los lineamientos del Anexo 13 de la OACI.

La adecuada gestión y análisis de los datos de seguridad operacional permite canalizar recursos de investigación de forma estratégica, optimizando el impacto en áreas vitales del sistema aéreo. Identificar y priorizar categorías con un riesgo elevado nos brinda una perspectiva clara sobre qué áreas requieren un análisis más detallado en cuanto a barreras defensivas y detección de desviaciones operacionales.

Por último, es esencial intensificar el monitoreo de aquellas categorías que presentan tanto un elevado nivel de riesgo como una alta probabilidad de recurrencia. Para ello, es fundamental establecer temas de vigilancia constante, garantizando así la robustez y efectividad de las barreras defensivas identificadas durante las investigaciones. Este enfoque es coherente y contribuye al logro de los objetivos establecidos por el SSP, en consonancia con el Anexo 19 de la OACI.

## Referencias bibliográficas

- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). Doc. 9859 - Safety Management Manual. ICAO.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). Doc. 9766 - Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation. ICAO.
- Federal Aviation Administration (FAA). (n.d.). FAA Order 5200.11. FAA.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). ADREP Taxonomy. ICAO.  
[http://www.intlaviationstandards.org/apex/f?p=240:3:3947114865629::NO::P3\\_X:OC](http://www.intlaviationstandards.org/apex/f?p=240:3:3947114865629::NO::P3_X:OC)
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2010). Annex 13 - Aircraft Accident and Incident Investigation. ICAO.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2013). Annex 19 - Safety Management. ICAO.
- Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). RAAC 119 CERTIFICACION DE EXPLOTADORES DE SERVICIOS AEREOS (4ta edición).  
[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/raac\\_parte\\_119\\_0.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/raac_parte_119_0.pdf)
- Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). RAAC 137 REQUISITOS DE OPERACIÓN Y CERTIFICACION PARA TRABAJO AGROAÉREO (4ta edición). [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/parte-137\\_editada.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/parte-137_editada.pdf)
- Federación Argentina de Cámaras Agroaéreas (FEARCA). <https://fearca.org.ar/>
- National Transportation Safety Board (NTSB). (2014). Special Investigation Report on the Safety of Agricultural Aircraft Operations. <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/documents/sir1401.pdf>
- Junta de Seguridad en el Transporte (JST). (2018). Alerta de seguridad operacional. Trabajo Agroaéreo. <https://www.argentina.gob.ar/jst/aviacion/productos-de-seguridad/alertas/vuelos-agroaereos>
- Skybrary. <https://skybrary.aero/>