

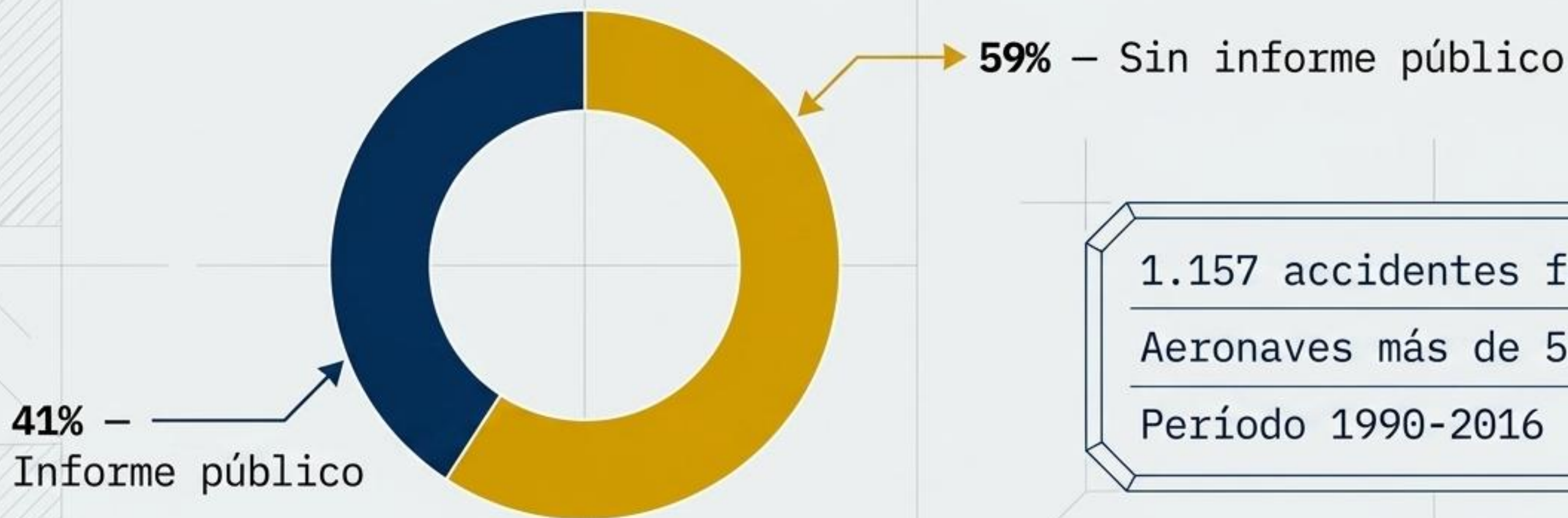
Inteligencia Aumentada en la Investigación Aeronáutica

Un Análisis Exploratorio del Apoyo a
la Toma de Decisiones en las Fases
de la Investigación

Vinícius Voltolini | Jefe de la Asesoría de Coordinación Internacional
CENIPA | AIG | Lima 2026



¿Qué sabemos sobre los accidentes que no generaron conocimiento?



1.157 accidentes fatales
Aeronaves más de 5.700 kg
Período 1990-2016

Más de la mitad de los accidentes fatales
no generaron conocimiento público de seguridad

La SAM está por encima del promedio – y aun así hay brechas

Región	Accidentes	Informes públicos	Tasa
NACC	310	280	90%
EUR/NAT	247	151	61%
Global	1.157	720	62%
SAM	167	117	70%
APAC	199	113	57%
MID	51	21	41%
WACAF	101	25	25%
ESAF	82	13	16%

“El otro 30% representa accidentes
cuyas lecciones aún no llegaron a nadie”

Las razones existen — y algunas la IA puede atacar directamente

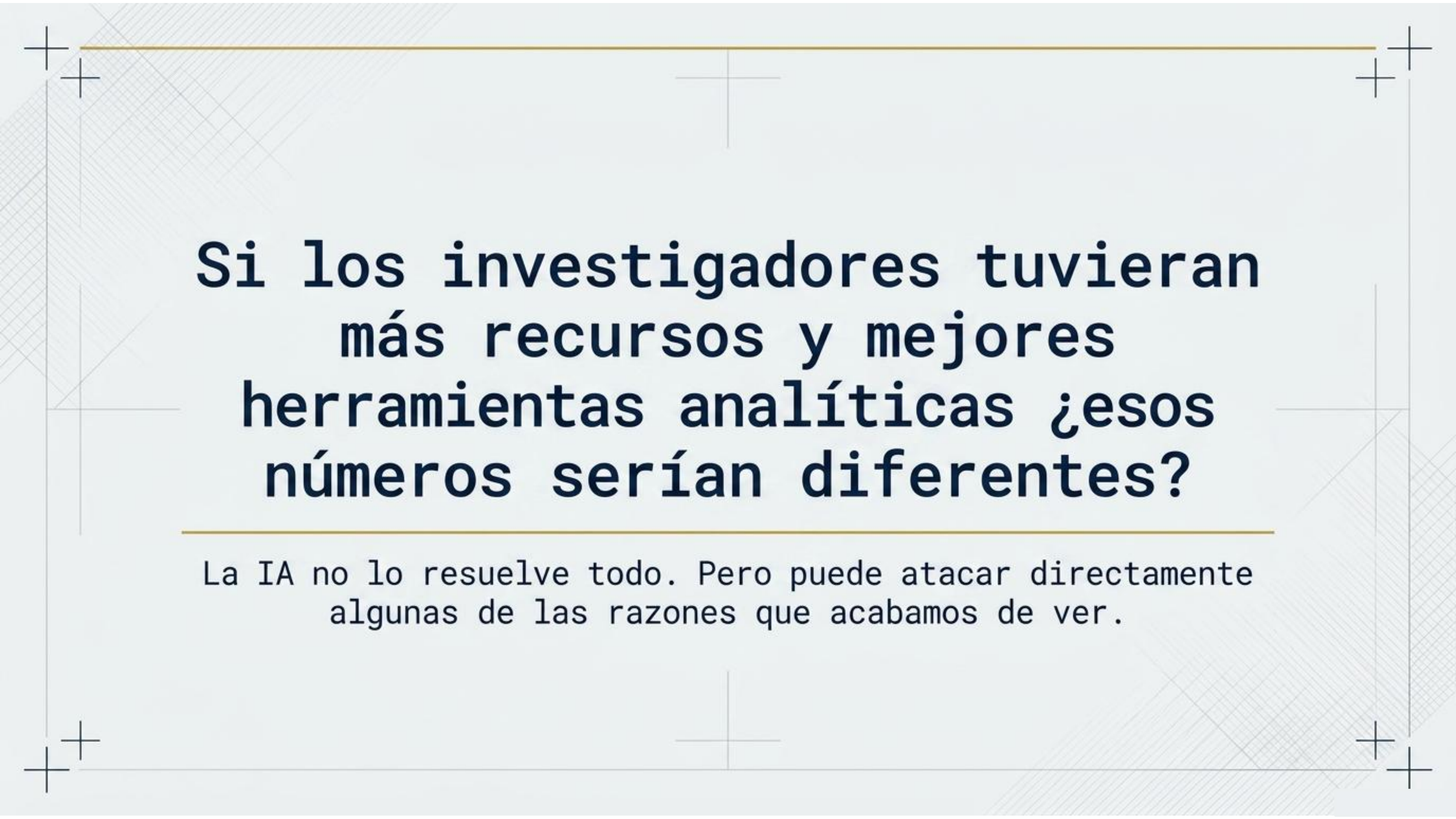
39% investigación concluida no publicada

32% sin respuesta del Estado

19% investigación no concluida

10% investigación no iniciada

7% recursos
insuficientes
6% complejidad



**Si los investigadores tuvieran
más recursos y mejores
herramientas analíticas ¿esos
números serían diferentes?**

La IA no lo resuelve todo. Pero puede atacar directamente algunas de las razones que acabamos de ver.

¿De qué tipo de IA estamos hablando?



IA Sustituto

Decide.
Concluye.
Firma.

Opera de forma autónoma.
El humano valida pasivamente.

De esto no estamos hablando.



IA Amplificador

Procesa.
Sugiere.
Organiza.

Opera bajo dirección humana.
El humano decide activamente.

De esto sí estamos hablando.

Inteligencia Aumentada = capacidad humana + capacidad computacional.
La responsabilidad final es siempre humana.

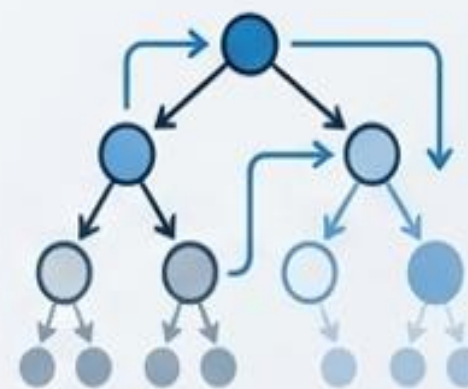
Cuatro tecnologías – cada una con un rol diferente



NLP (Procesamiento de Lenguaje Natural)

Qué hace: Analiza texto y audio.

En la investigación: Informes, entrevistas, CVR, transcripciones ATC.



ML (Aprendizaje Automático)

Qué hace: Detecta patrones, predice resultados.

En la investigación: Clasificación de ocurrencias, alcance, asignación de recursos.



Deep Learning (Aprendizaje Profundo)

Qué hace: Procesa datos complejos.

En la investigación: Análisis avanzado de imágenes, modos de falla, reconstrucción.



Computer Vision (Visión Computacional)

Qué hace: Interpreta datos visuales.

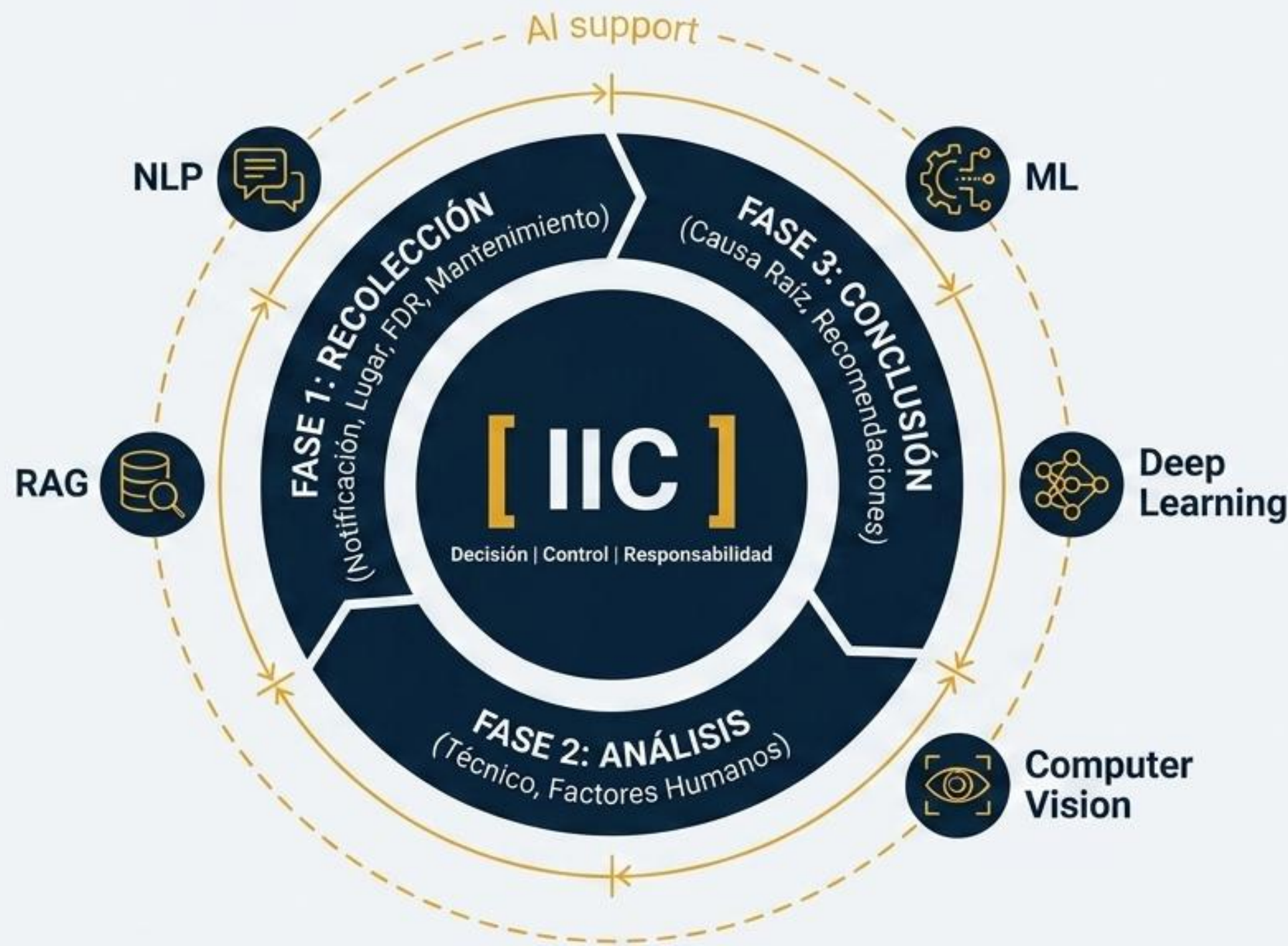
En la investigación: Imágenes de dron, mapeo del lugar, análisis de restos.

La investigación aeronáutica no puede quedar fuera de esta conversación



**"El tema ya está en la agenda regulatoria global.
La pregunta no es si – es cómo y con qué salvaguardas."**

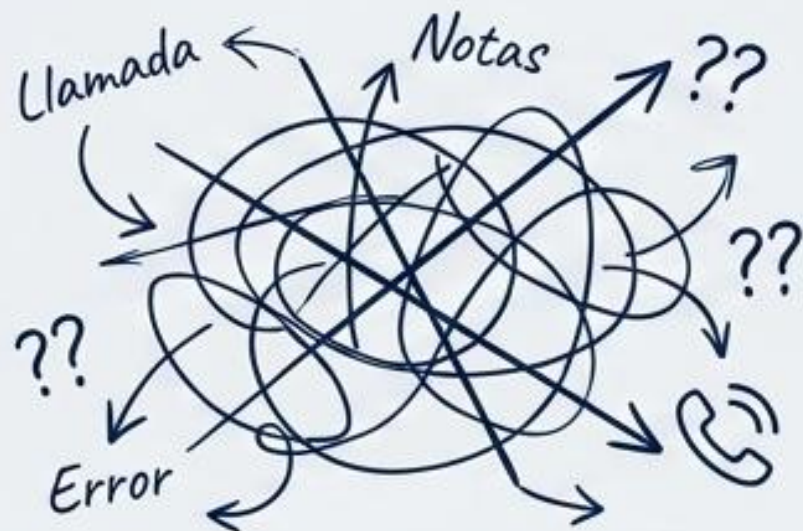
El investigador no es reemplazado — es posicionado en el centro



La IA no encuentra la causa raíz. La encuentras tú.

La primera información es la más perecedera

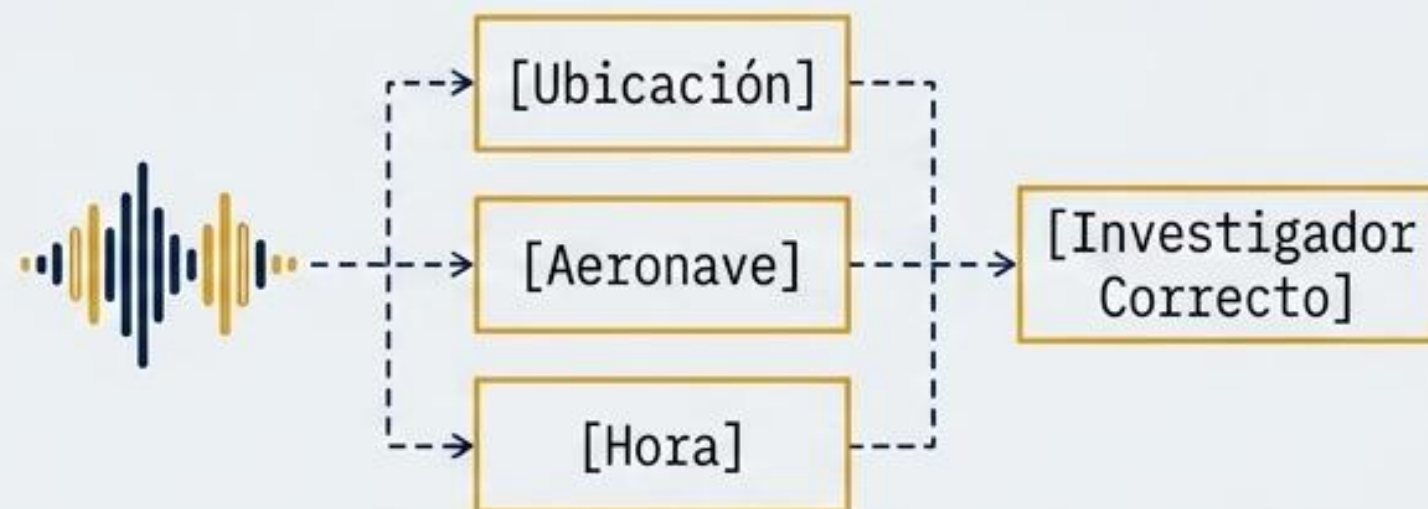
Como es hoy



Llamada telefónica, anotación manual, triaje bajo presión. Riesgo alto de pérdida de detalles, errores de transcripción y demoras en el enrutamiento.

Beneficio: Menos pérdida de información en la ventana más crítica de la investigación.

Con IA - NLP



Reconocimiento de voz en tiempo real. Extracción automática. Enrutamiento inmediato. Registro estructurado desde el primer segundo.

Limitación: Calidad del audio, idioma y acento regional siguen siendo desafíos.

FASE 2: LUGAR

Ver más, con más seguridad, en menos tiempo



Desafío (Hoy)

Equipo en campo sin visión completa antes de ingresar.
Riesgos no mapeados.
Distribución documentada manualmente.

Con Visión Computacional (IA)

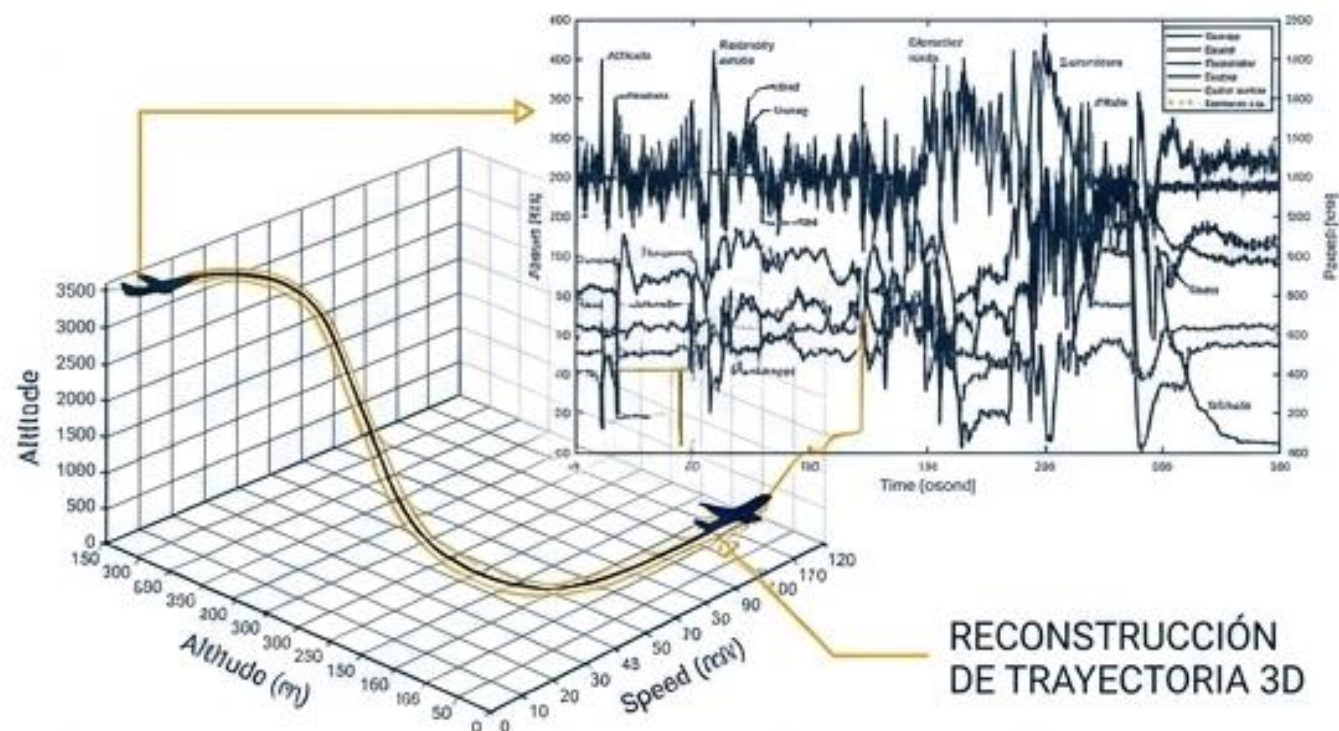
Mapeo completo previo a la llegada.
Identificación automática de riesgos para el personal.
Trazado de restos en tiempo real.

Planificación más segura de la fase de campo y preservación más completa de las evidencias físicas.

FASE 3: FDR y CVR

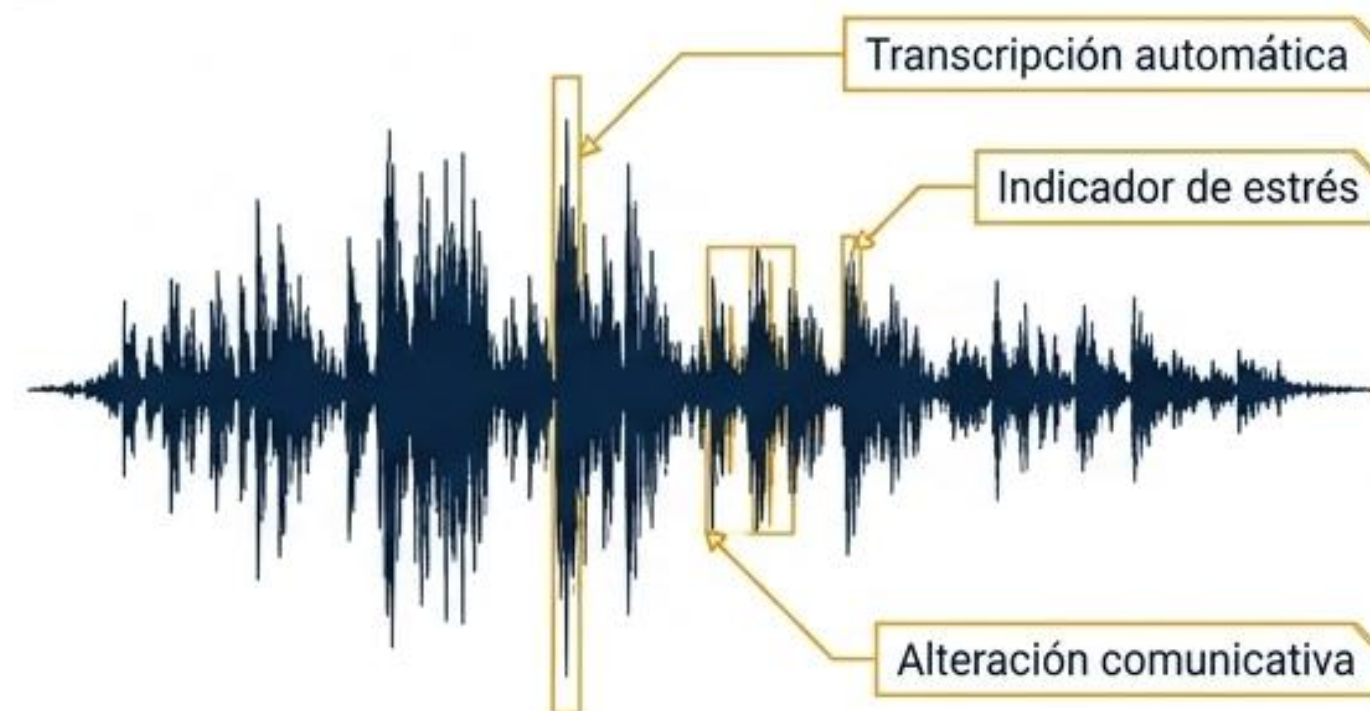
Los registradores hablan más de lo que podemos escuchar solos

FDR



ML + Deep Learning: Detección de anomalías en parámetros. Comparación con vuelos anteriores. Reconstrucción y simulación de secuencias.

CVR



NLP + Análisis de Audio: Transcripción automática. Análisis del espectro de voz para indicadores de estrés y fatiga.



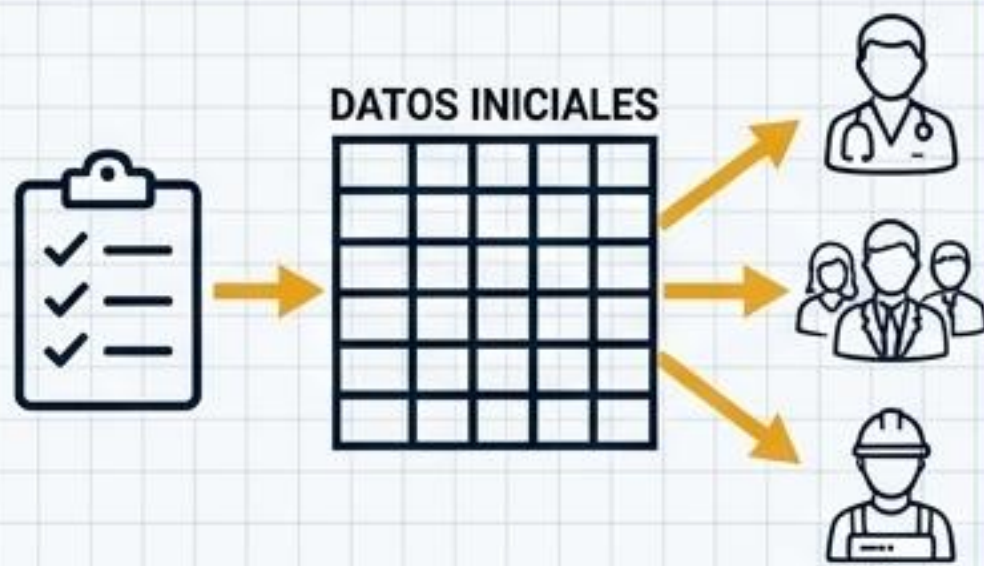
El CVR y el FDR en contexto investigativo son datos protegidos por el Anexo 13. El uso de IA en estos datos plantea cuestiones específicas de confidencialidad (Bloque 4).

FASE 4-5: CLASIFICACIÓN Y ENTREVISTAS

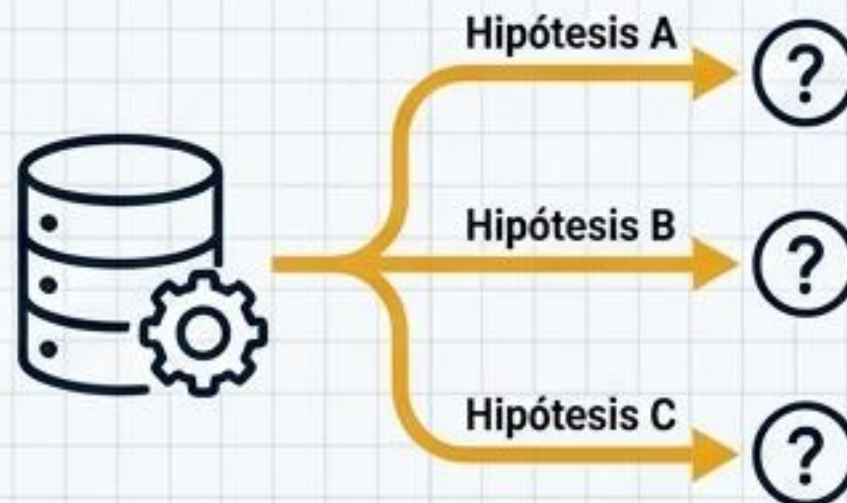
Decidir mejor antes de investigar más

El investigador entra con dirección no con página en blanco.

Clasificación (ML)



Alcance (IA Analítica)



Entrevistas (NLP)

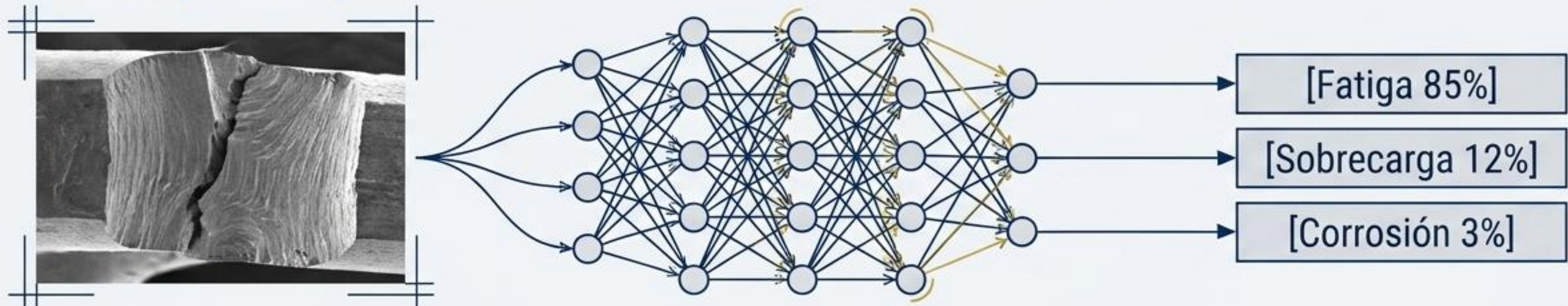


El laboratorio empieza en el campo

Flujo actual



Con Deep Learning



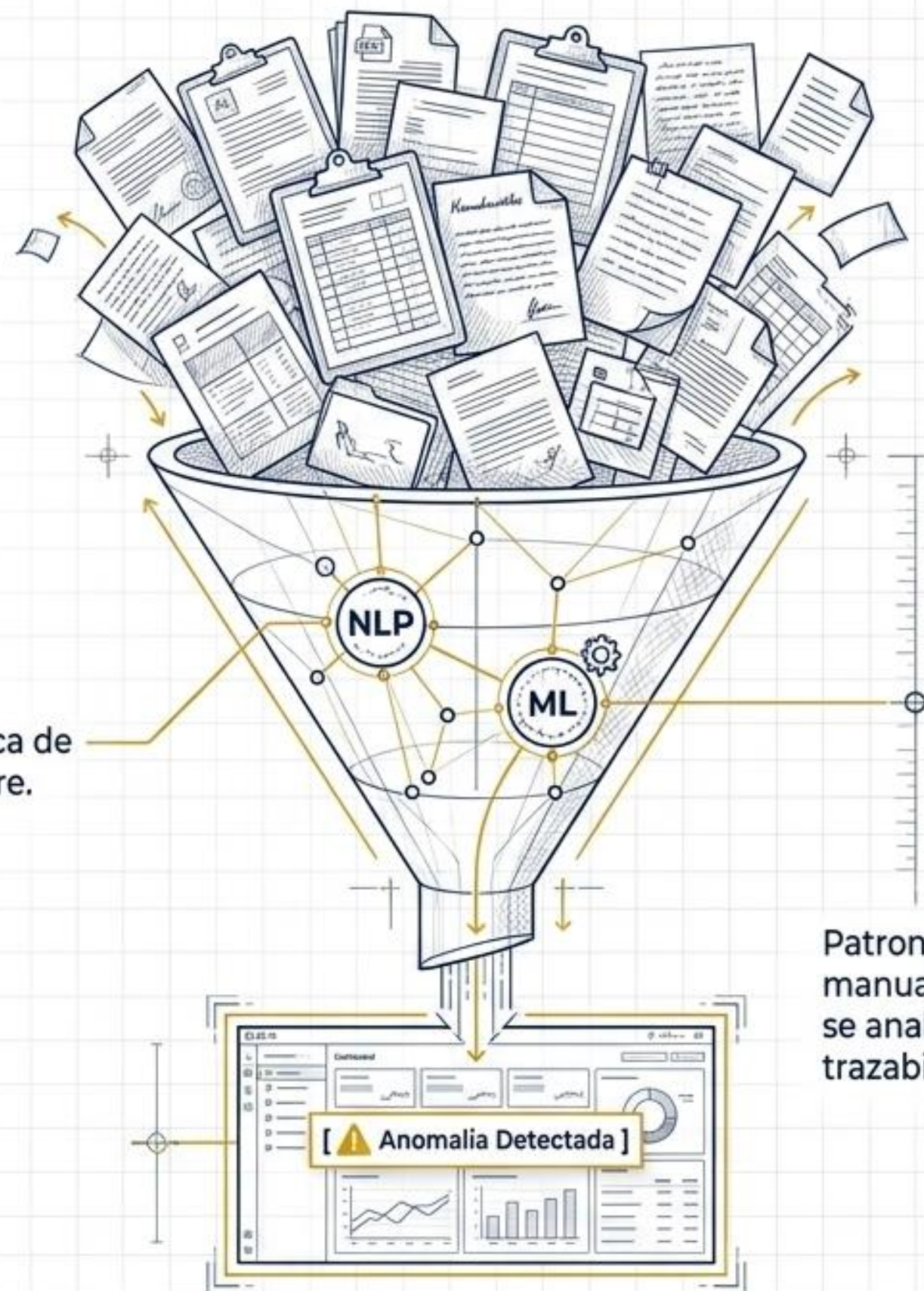
Modelo entrenado en banco de imágenes. Análisis *in situ*. Hipótesis instantáneas ordenadas por probabilidad.

Limitación: La calidad del output depende de la cobertura del banco de imágenes.

FASE 6: MANTENIMIENTO

El historial ya contiene pistas — si puedes leerlo

Extracción automática de patrones en texto libre. Cruce multilingüe.



Patrones invisibles al cruce manual. Lo que tomaría días se analiza en minutos con trazabilidad completa.

RAG: La diferencia entre una herramienta que inventa y una que investiga



	LLM Puro	RAG
1	Responde con conocimiento interno	Responde con base en documentos reales
2	No auditable ⚠	Auditable — fuente identificada ✓
3	Estático tras el entrenamiento	Actualizable con nuevos informes

**RAG no es más inteligente.
Es más honesta — muestra de dónde vino cada respuesta.**

Una biblioteca global de seguridad al alcance de una pregunta

 Pregunta del investigador	Base consultada por el RAG 
¿Hubo una falla similar en este componente?	Biblioteca OACI, NTSB, BEA, AAIB 
¿Qué ADs y SBs aplicaban en la fecha del accidente?	Base de aeronavegabilidad indexada 
¿El procedimiento del FCOM estaba actualizado?	Revisiones del manual con control de fecha 
¿Hay un patrón de error humano similar en operaciones nocturnas?	Base HFACS indexada 
¿Qué recomendaciones de seguridad ya se emitieron para este tipo de ocurrencia?	SARs regionales y globales 



El RAG solo aprende de lo publicado. La crisis WG-20 es también una crisis de datos para la IA.

Antes de usar cualquier herramienta: cuatro situaciones que necesitas conocer



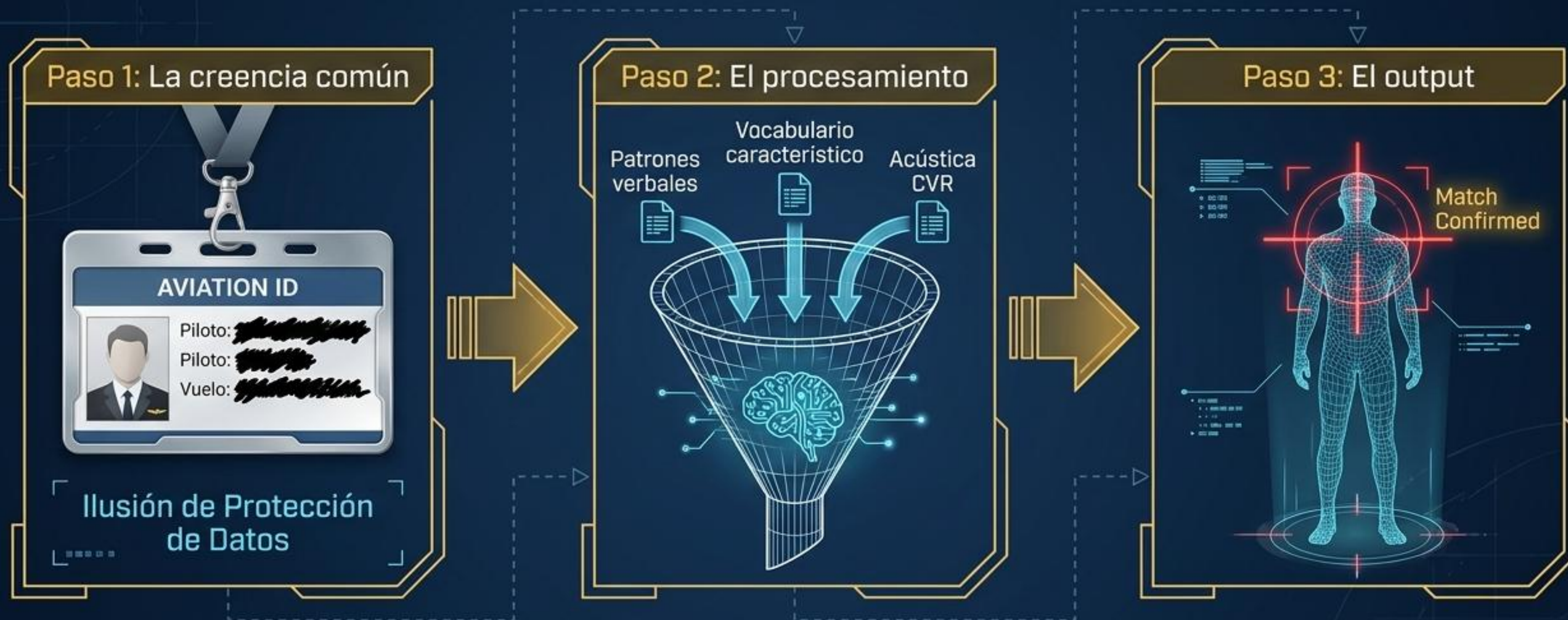
No son riesgos abstractos. Son cuatro situaciones concretas donde la IA puede violar el régimen que protege toda la investigación aeronáutica.

Referencia en destaque: Anexo 13 §5.12

Riesgo 1: **Enviar** es una **decisión irreversible**



Riesgo 2: Anonimizar no es suficiente



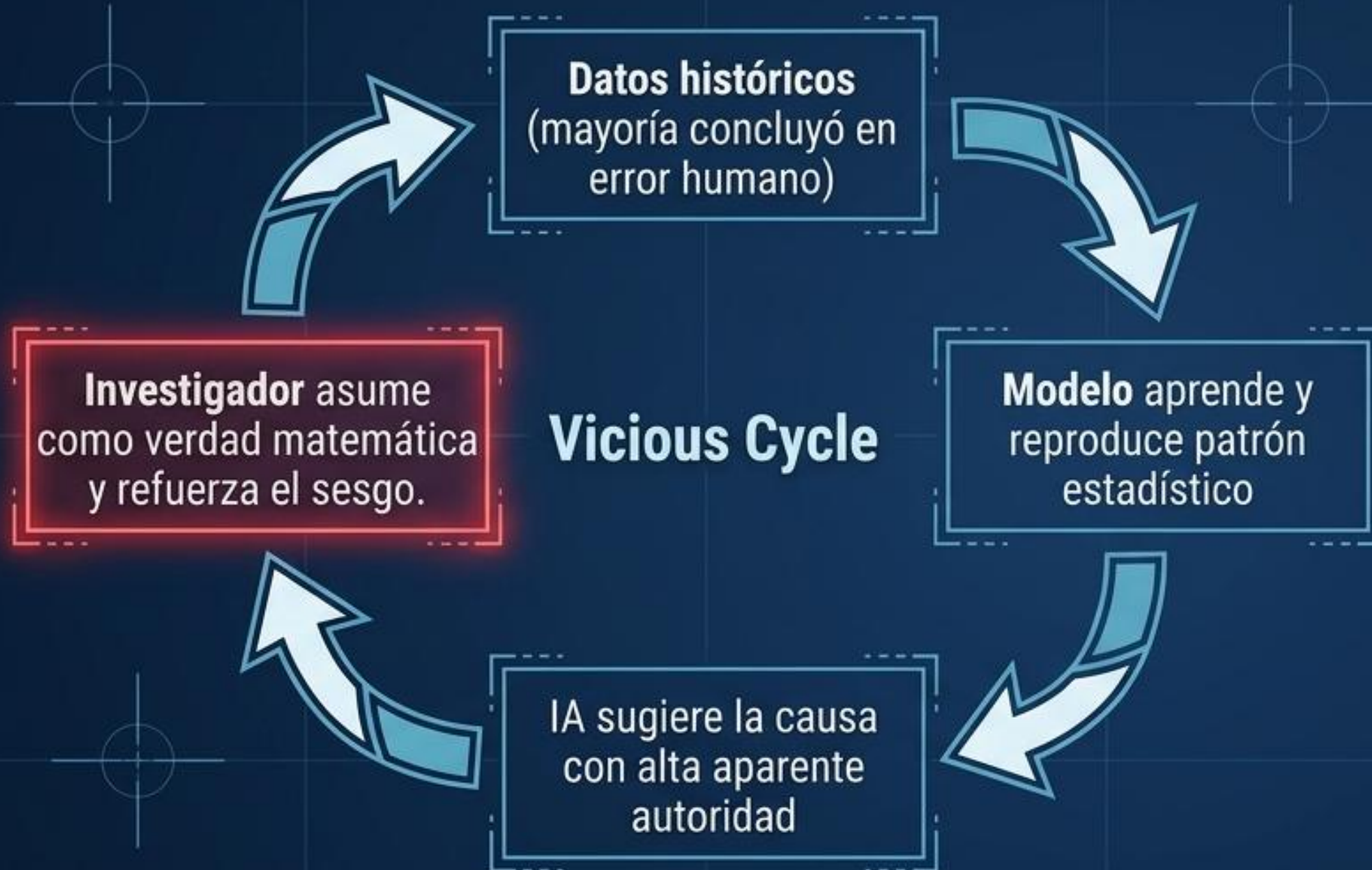
El Anexo 13 protege la identidad porque la verdad solo emerge cuando las personas no temen las consecuencias. La re-identificación destruye esa garantía.

Riesgo 3: Creaste un documento. ¿Pero de quién es?



El investigador creó el documento. Pero el régimen que debería protegerlo fue escrito antes de que ese documento pudiera existir.

Riesgo 4: La IA puede amplificar exactamente lo que prometía eliminar



La Promesa:

La IA analiza datos sin ideas preconcebidas.

La Consecuencia:

Reintroduce el sesgo con una capa de legitimidad algorítmica.

⚠ La herramienta más poderosa es la más peligrosa cuando se usa sin protocolo.

La brecha normativa — La aviación exige estándares para la IA pero no para el investigador

EASA regula fabricantes (AI Roadmap 2.0). Nada equivalente protege al investigador.

Requisito EASA para IA confiable	Sistemas Embarcados	Herramientas del Investigador
Trazabilidad de los datos de entrenamiento	Obligatorio 	No existe 
Explicabilidad de los outputs	Obligatorio 	No existe 
Monitoreo continuo del rendimiento	Obligatorio 	No existe 

La investigación aeronáutica está usando herramientas de IA sin los mismos estándares de confiabilidad que exige de cualquier otro sistema crítico.

El primer reconocimiento formal de que esta brecha necesita cerrarse

El Documento

AIGP/10-WP/14

(Emiratos Árabes Unidos) - Mayo 2026

Primer documento institucional OACI específico sobre IA en investigación.

La Realidad

- Lo que no es:  No es una solución final.
- Lo que es:  El reconocimiento formal de que el problema existe y necesita una respuesta.
- Lo que propone:  Integrar la IA formalmente, crear un grupo de trabajo dedicado, y desarrollar una hoja de ruta.

La solución estructural: procesamiento local

Si el riesgo está en enviar datos a servidores externos, la respuesta es no enviarlos.

Modalidad	Seguridad de Datos	Costo	Perfil de Implementación
LLM local (Máquina del investigador)	Datos nunca salen de la PC	Costo cero	Uso individual
Servidor local de la AIA	Datos nunca salen de la agencia	Costo medio	AIA con soporte de TI
Nube soberana privada	Contrato legal específico	Costo alto	AIA grandes o integradas
⚠ LLM comercial público	Prohibido para datos sensibles	—	Solo Categoría A (Datos Públicos)

La IA local no es una preferencia técnica. Es una decisión de soberanía sobre los datos de la investigación.

⚠ Las Capas de Gobernanza (Autorización y Revisión Humana) se aplican siempre, independiente de la modalidad tecnológica.

¿En qué procesos el CENIPA decidió integrar IA?

8 procesos priorizados.

7 de 8 — DATOS SENSIBLES — PROCESAMIENTO LOCAL OBLIGATORIO

1. Análisis datos vuelo LABDATA FDR
2. Transcripción y análisis CVR
3. Reconocimiento patrones factores contribuyentes datos de vuelo
4. Procesamiento imágenes videos forenses
5. Apoyo elaboración Informes Finales
6. Tendencia y predicción revisión informes datos históricos accidentes
7. Traducción Informes Finales inglés y español

1 de 8 — DATOS EDUCACIONALES — NUBE POSIBLE CON SALVAGUARDAS

8. Asistente virtual cursos PFV
datos educacionales no sigilosos.

7 de los 8 procesos involucran datos operacionales sensibles — CVR FDR registros SIPAER. Eso determinó la decisión de infraestructura. "La naturaleza de los datos no fue una consideración secundaria — fue el criterio central de la decisión."

Un caso real en la región SAM: cómo el CENIPA tomó la decisión

Análisis SWOT Hardware Propio × Nube — Base normativa DCA 16-8 COMAER

HARDWARE PROPIO

- **FORTALEZAS:** Control total datos nunca salen perímetro CENIPA / Operación offline nativa modelo CCABR COMAER / Seguridad desde Concepción Art.31 DCA 16-8 / Auditabilidad garantizada internamente
- **DEBILIDADES:** inversión R\$150k-400k por GPU / licitación 12 a 24 meses / ciclo 3 a 5 años
- **OPORTUNIDADES:** CCABR transitorio / modelos ligeros traducción y análisis / alianza DCTA ITA / sandboxes validación
- **AMENAZAS:** restricciones exportación GPU / contingenciamientos / escasez profesionales IA

NUBE PÚBLICA

- **FORTALEZAS:** disponibilidad inmediata / elasticidad / sin inversión inicial
- **DEBILIDADES:** Conflicto directo Art.5 II Art.39 III DCA 16-8 / CLOUD Act EE.UU. puede exigir acceso datos aunque servidores estén en Brasil / costo acumulado supera hardware en 3 a 5 años
- **AMENAZAS:** Cualquier incidente recae sobre CENIPA responsable legal LGPD / Violación sigilo compromete credibilidad OACI

Criterio	Hardware Propio	Nube Pública
Conformidad DCA 16-8	Alineado	Restricciones críticas
Control datos	Total	Exposición terceros
Sigilo investigativo	Garantizado	Riesgo inminente
Operación	Offline nativa	Inviabile sin conexión
Iniciativas AHP viables	8 de 8	Solo 1 (Datos educacionales)
Riesgo jurídico	Bajo	Elevado (LGPD CLOUD Act)

La adquisición de hardware propio es la alternativa adecuada. La naturaleza sigilosa de los datos no recomienda el uso de nube pública como infraestructura principal de IA.



Inteligência Artificial para Aviação

O futuro da investigação aeronáutica

Plataforma integrada de IA para apoiar todas as áreas do SIPAER — da elaboração de relatórios técnicos à capacitação e gestão administrativa.

Acessar a Plataforma →

Conhecer os módulos

5

Módulos integrados

CENIPA

Padrão oficial

SIPAE

Investigação espacial

IA

Tecnologia de ponta

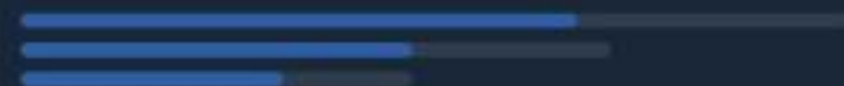
IA Ativa

SIPAER AI

v1.0 CENIPA



Analisando o relatório de ocorrência #0C-2024-0312...



1. Sinopse

Concluído



2. Aeronave Envolvida

Concluído



3. Informações Meteorológicas

Concluído



4. Análise



5. Conclusão

Completude do relatório

60%

Análise em tempo real



Gravadores

Selecione o tipo de análise a ser realizada. Cada módulo utiliza técnicas especializadas para diferentes finalidades periciais.



Análise de Áudio

Análise Pericial de Áudio

Processamento forense de gravações de CVR, FDR, celular e tablet. Detecta indícios de edição, cortes, mudanças de ambiente acústico, compressão diferente entre trechos e sinais compatíveis com voz sintética.



CVR — Cockpit Voice Recorder



FDR — Flight Data Recorder



Celular / Tablet



Gravações de rádio

- Detecção de cortes e edições
- Análise de integridade do arquivo
- MFCCs + Pitch + ZCR
- Identificação de voz sintética
- Cadeia de custódia acústica

Iniciar análise →



Análise Espectral

Análise Espectral Aeronáutica

Análise de assinaturas acústicas de gravações de cockpit, rádio e sons de motor via FFT/STFT. Identifica padrões de falha mecânica, eventos súbitos, vibrações estruturais e permite reconstrução da sequência do acidente.



Sons do motor / rotor



Vibrações estruturais



Harmônicos de propulsão



Rádio + alarmes de cabine

- FFT + STFT — espectrograma completo
- Rastreamento de RPM por harmônicos
- Detecção de falha de motor
- Correlação CVR × FDR
- Reconstrução da sequência do acidente

Iniciar análise →

Capa 1: ¿Qué tipo de dato estoy procesando?

 A — Público	Sin restricción	Informes publicados, reglamentos, manuales públicos, SARs	 SÍ
 B — Sensible	No protegido por Anexo 13	Registros de mantenimiento, fotos del lugar, datos operacionales sin identificación	 Solo con protocolo estricto
 C — Protegido	Anexo 13 §5.12	CVR, FDR investigativo, declaraciones, información privilegiada	 Estrictamente PROHIBIDO

Clasificar antes de procesar no es burocracia — es lo que separa el uso responsable de la violación involuntaria.

Capas 2 y 3 — Documentar el uso y firmar el resultado siempre

Capa 2 — Autorización documentada del IIC

Qué: Herramienta utilizada.....

Con qué: Datos procesados.....

Para qué: Función en la investigación.....

Protecciones: Dónde se procesó, retención, borrado.....

**Regla de Oro: El IIC autoriza.
El IIC documenta.
El IIC es responsable.**

Capa 3 — Revisión humana obligatoria

[Output de IA]



[Revisión del Investigador]



[Informe Final]

SYSTEM

El investigador NO firma lo que produjo la IA.
Firma su propio análisis, informado por la IA.

**Regla de Oro:
La IA contribuye.
El investigador concluye.**

La IA no investiga accidentes.

Quien investiga eres tú.

La IA expande lo que puedes ver —
siempre que sepas lo que estás mirando.

Tu turno: Diagnóstico de la región

POTENCIAL DE IA REGIONAL

¿Qué fase de la investigación ven como el mayor potencial inmediato de uso de IA en la región SAM?

POLÍTICA DE DATOS Y RIESGO

¿Tu Agencia de Investigación (AIA) tiene hoy una política que defina qué datos pueden ser procesados por herramientas externas de IA?

LO QUE LA REGIÓN SAM PUEDE GANAR — Y LO QUE PUEDE CONSTRUIR



CAPACIDAD ANALÍTICA

Sin ampliar el equipo de campo.

Las AIAs con recursos limitados ganan alcance investigativo.
Ataca directamente el **7%** de casos no concluidos por recursos — WG-20.



MÁS INFORMES PÚBLICOS

Investigaciones más rápidas y mejor respaldadas.
Más conocimiento de seguridad llegando a la comunidad regional.



BASE REGIONAL INDEXADA RAG

Informes SAM unificados.

Un investigador en Perú aprende de un accidente en Brasil en segundos usando herramientas **RAG**.



PROTOCOLO REGIONAL COMÚN

Construir un marco compartido de gobernanza para uso de IA — clasificación de datos, autorización del IIC, revisión humana obligatoria.

Referencias Documentales



OACI / ICAO

AIGP/6-WP/7 – WG-20
(2020)

AIGP/6-WP/6 – WG-20
(2020)

AIGP/10-WP/14 – UAE
(Mayo 2026)

Anexo 13 al Convenio
(11ª edición, 2016)



Autoridades Reguladoras

EASA: Artificial
Intelligence Roadmap
2.0 (2023)

FAA: Roadmap for
Artificial Intelligence
Safety Assurance
(2024)



Publicaciones Técnicas

Reyes López, E. –
Inteligencia Artificial
aplicada en la
investigación de
accidentes aéreos
(Revista Más
Seguridad, abril 2026)