

**Arquitectura y diseño funcional del agente inteligente para la gestión operativa de
AquaSense**

Andrés Felipe Calderón Ramírez

Laura Natalia Perilla Quintero

Ricardo Andrés Ayala Garzón

Santiago Amaya Zapata

Santiago Botero García

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

PRI2IS-1L: Proyecto Integrador 2 - Estrategia de operaciones y procesos

Cesar Rene Beltrán Sotelo

Diciembre 05, 2025

Resumen ejecutivo

Con base en el análisis sistémico desarrollado en el proyecto PRI2IS, se identificaron causas raíz como la baja homogeneidad tecnológica, la resistencia interna a la digitalización y la fragmentación de datos entre filiales.

El presente documento PDD + SDD define y diseña una solución de automatización inteligente académica, utilizando n8n como orquestador Low-Code/No-Code, desplegado en Azure Free Tier mediante Docker, e integrado con fuentes de datos simuladas que representan SCADA, ERP, CRM y GIS mediante tablas en Supabase. La solución contempla flujos automatizados de consolidación, validación y análisis de datos, complementados por modelos de inteligencia artificial (Gemini) para la detección de anomalías y patrones atípicos en los datos simulados.

El enfoque busca reducir los tiempos de procesamiento de reportes y mejorar la eficiencia operativa de manera educativa, así como fortalecer la trazabilidad y la presentación de indicadores mediante dashboards en Grafana. Se implementan prácticas de seguridad y gestión de credenciales mediante variables de entorno en Docker y registro de logs centralizado en Supabase, y se define un marco de monitoreo con métricas de desempeño (KPI) orientadas a latencia, errores y disponibilidad de los workflows.

El documento incluye diagramas AS-IS y TO-BE, la descripción funcional y técnica de los flujos automatizados, plan de transición y cutover adaptado a entornos simulados, registro de riesgos ajustado a limitaciones académicas, matriz RACI simplificada, y checklist de pruebas de aceptación (UAT) sobre datos simulados.

Esta propuesta constituye un ejercicio académico estratégico que permite a los estudiantes experimentar con la automatización inteligente de la gestión hídrica, consolidando habilidades en Low-Code, integración de datos y analítica, y sirviendo como base conceptual para futuras implementaciones corporativas reales.

Palabras clave. Automatización, transformación digital, gestión hídrica, RPA, Low-Code, n8n, Azure Free Tier, inteligencia artificial, IoT, eficiencia operativa, sostenibilidad, PDD, SDD, Grafana Supabase, monitoreo académico.

Contenido

Resumen ejecutivo	2
Supuestos	5
Hallazgos críticos del análisis sistémico.....	5
Descripción general del proceso	5
Resumen del proceso	5
Flujo de datos y aplicaciones	6
Flujo de proceso – AS-IS	6
Diagrama AS-IS	7
Flujo de proceso - TO-BE.....	9
Diagrama TO-BE	9
Reglas de negocio	11
Control de eventos	11
Excepciones conocidas	11
Excepciones desconocidas	11
Otros eventos	11
Documentación paso a paso.....	12
Descripción de STEP	12
Resumen ejecutivo	13
Solución TO-BE de alto nivel.....	14
Descripción	14
Arquitectura	15
Síntesis técnica.....	16
Hardware (Azure Free Tier).....	16
Software	16
Monitoreo y gestión básica	16
Logs registrados (en Supabase)	16
Marco de Transición y Gobernanza	17
Checklist UAT.....	17
Plan de transición y cutover.....	17
Matriz RACI	18
Registro de riesgos y mitigación.....	19
Telemetría y Monitoreo.....	19

Supuestos

- No existen APIs unificadas; se integrará mediante conectores REST.
- La plataforma n8n self-hosted en Azure actuará como orquestador RPA y gestor de flujos.
- La solución deberá cumplir ISO 27001 y GDPR en el manejo de datos ciudadanos.

Hallazgos críticos del análisis sistémico

- Falta de homogeneidad tecnológica: Impide consolidar datos y reduce eficiencia.
- Resistencia interna: Ralentiza la adopción digital y bloquea sinergias.
- Ausencia de información en tiempo real: Decisiones reactivas y errores operativos.
- Dispersión tecnológica y rotación de personal: Pérdida de conocimiento institucional.
- Falta de transparencia: Deteriora la confianza ciudadana y reputación.
- Arquetipo “Límites al crecimiento”: La modernización se frena por infraestructura y cultura.

Estos hallazgos orientan el diseño del agente hacia integración de datos, monitoreo IoT, automatización de flujos de reporte y alertas inteligentes que mitiguen la falta de visibilidad operativa.

Descripción general del proceso

Resumen del proceso

El proceso actual (“Gestión de información operativa y reportes de eficiencia hídrica”) consiste en recopilar datos de consumo, pérdidas, incidencias y mantenimiento desde múltiples fuentes (planta, ERP, hojas Excel, SCADA) para elaborar reportes mensuales.

Problemas: heterogeneidad tecnológica, errores humanos, tiempos elevados (> 72 h por reporte).

Objetivo de automatización: reducir el tiempo de consolidación a < 4 h y habilitar reportes automáticos diarios con alertas de fuga o desviación.

Flujo de datos y aplicaciones

Origen	Tipo	Aplicación	Formato	Frecuencia	Destino
SCADA local	Sensores IoT	Telemetría	JSON/CSV	Cada 5 min	n8n workflow
Supabase (ERP)	Facturación y costos	ERPNext (open source)	JSON (API)	Diario	Supabase / Azure
Supabase (CRM)	Reclamos y consumos	EspoCRM / SuiteCRM	JSON (API)	Diario	Supabase / Azure
Excel manual	Inventarios, incidencias	Google Sheets / XLSX	XLSX / CSV	Semanal	n8n workflow
Supabase (GIS)	Localización de tuberías	QGIS + GeoJSON en DB	GeoJSON	Bajo demanda	Dashboards / Mapbox

Flujo de proceso – AS-IS

Descripción textual:

- Operadores extraen manualmente datos SCADA y ERP.
- Consolidación en hojas Excel locales.
- Envío por correo a la gerencia regional.
- Validación manual y corrección de errores.
- Elaboración del reporte PDF.
- Aprobación y envío a la matriz.

Diagrama AS-IS

Figura 1

Flujo actual de consolidación de datos - Versión simplificada

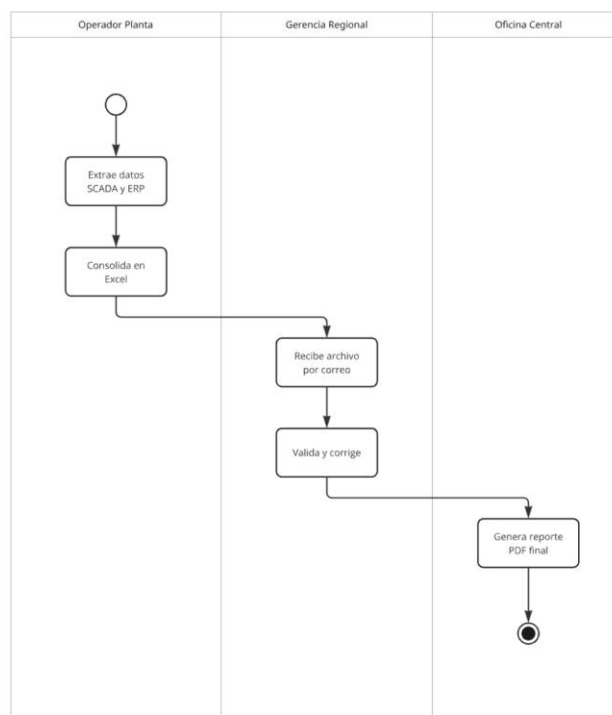


Diagrama AS-IS simplificado
 Diagrama AS-IS para Aqualia Global
 Última modificación: 2025-11-09

Nota. Este diagrama muestra el proceso general de recolección y consolidación de datos operativos desde las plantas hasta la oficina central. Se destacan tres actores principales (Operador de Planta, Gerencia Regional y Oficina Central) y el flujo lineal de actividades, desde la extracción de datos en sistemas SCADA y ERP hasta la generación del reporte final en PDF. El modelo ilustra una visión macro, sin incluir validaciones o retrabajos.

Figura 2

Flujo actual de consolidación de datos - Versión detallada con validaciones

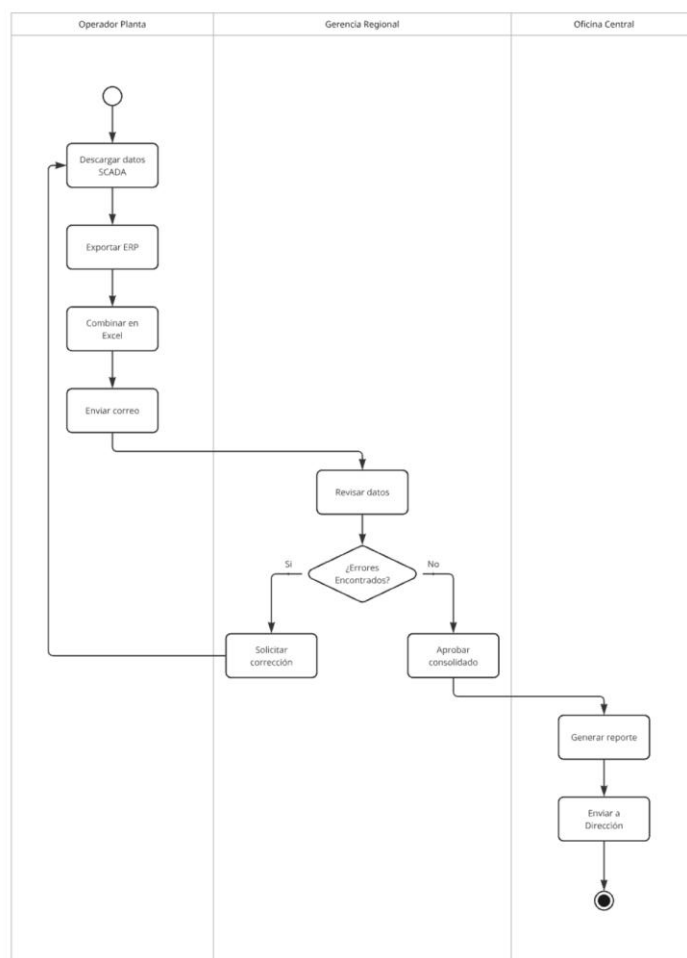


Diagrama AS-IS detallado
 Diagrama AS-IS para Aquella Global
 Última modificación: 2025-11-09

Nota. Este diagrama amplía el modelo simplificado incorporando puntos de decisión, posibles errores y ciclos de retrabajo. Se representan demoras generadas por validaciones manuales y correcciones solicitadas entre la Gerencia Regional y las Plantas. La representación evidencia ineficiencias del proceso actual, como dependencias del correo electrónico y la falta de automatización en la validación de datos antes de la generación del reporte final.

Flujo de proceso - TO-BE

El agente n8n se conecta automáticamente a las fuentes SCADA, ERP, CRM y GIS.

Unifica los datos en Supabase, ejecuta validaciones automáticas y genera dashboards (detección de fugas o anomalías).

Diagrama TO-BE

Figura 3

Flujo objetivo automatizado de integración y análisis de datos - Versión de alto nivel

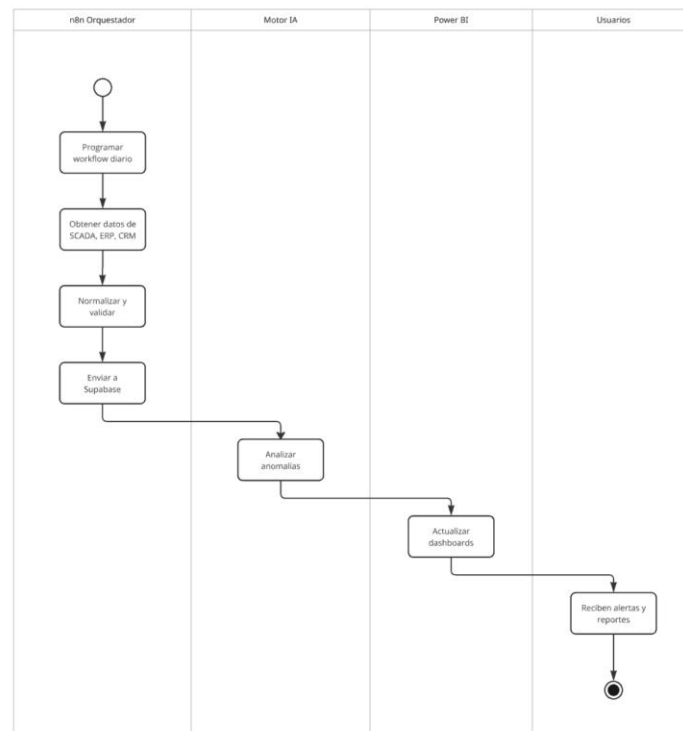


Diagrama TO-BE alto nivel
 Diagrama TO-BE para Aqualia Global
 Última modificación: 2025-11-09

Nota. Este diagrama representa la visión futura del flujo de datos automatizado, eliminando tareas manuales y reduciendo los ciclos de validación. El orquestador n8n ejecuta flujos diarios para extraer, limpiar y cargar datos en Supabase. Un motor de IA analiza patrones y anomalías, mientras Grafana actualiza paneles de forma automática. Los usuarios finales reciben alertas y reportes oportunamente, asegurando una gestión de información más ágil y confiable.

Figura 4

Flujo automatizado con validaciones y gestión de errores - Versión detallada

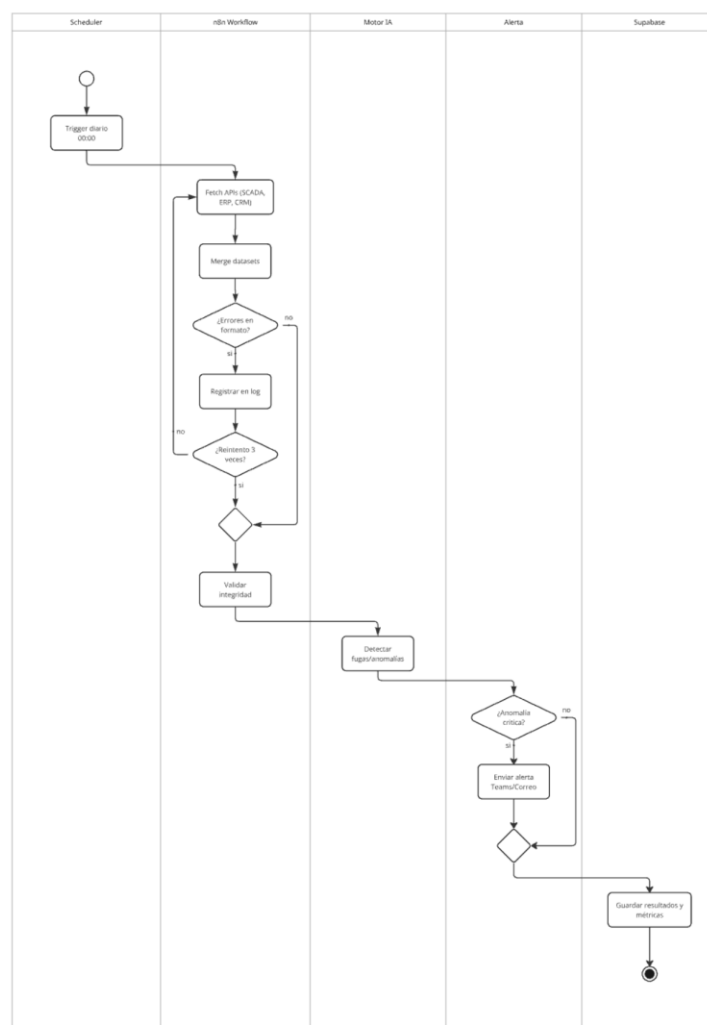


Diagrama TO-BE detallado
Diagrama TO-BE para Aquila Global
Última modificación: 2025-11-09

Nota. El modelo detallado muestra la operación automatizada con control de errores y condiciones excepcionales. El flujo, iniciado por un scheduler, es gestionado por n8n, que integra fuentes SCADA, ERP y CRM. Se incluyen mecanismos de reintento, registro de errores y validación de integridad antes del almacenamiento en Supabase. El motor de IA detecta anomalías y, en casos críticos, se emiten alertas automáticas vía Teams o correo electrónico. Este flujo garantiza resiliencia, trazabilidad y respuesta proactiva ante incidentes.

Reglas de negocio

ID	Regla	Validación	Acción
R1	Cada fuente debe reportar datos con timestamp ≤ 5 min desfasado	Validar hora del servidor	Marcar inconsistencia y alertar
R2	Si pérdida > 10 % del caudal estimado	Regla IA implica fuga	Generar alerta prioritaria
R3	Datos nulos > 3 % implica rechazo lote	Validación automática	Reintento y notificación
R4	Todo reporte debe tener hash SHA-256	Validación criptográfica	Rechazar si no coincide
R5	Todos los logs se guardan 90 días	Auditoría	Borrado automático posterior

Control de eventos

Excepciones conocidas

- Falla en conexión SCADA: Reintento 3 veces, luego alerta.
- Timeout ERP (> 60 s): cola “retry”.
- API CRM retorna 404: marcar lote incompleto.

Excepciones desconocidas

- Detección automática por patrón de log irregular (regex + IA).
- Aislar proceso, conservar snapshot workflow, escalar a soporte TI.

Otros eventos

- Cambios de esquema API.
- Actualización firmware IoT.

- Mantenimiento planificado de Supabase.

Documentación paso a paso

Este flujo se desarrolla en un entorno simulado con Supabase como plataforma central de datos. No se utiliza infraestructura real de SCADA, ERP, ni Data Lake. En su lugar, todas las fuentes, transformaciones y resultados se gestionan dentro de Supabase para fines académicos y de demostración.

Descripción de STEP

1. Trigger scheduler: n8n
 - Nodo de Schedule Trigger para ejecutar el flujo periódicamente.
2. Fetch datos operativos (antes SCADA): Supabase
 - HTTP Request Node o Supabase Node para leer los datos simulados desde una tabla, por ejemplo: operaciones.
3. Fetch datos ERP (antes SAP REST): Supabase
 - Otro Supabase Node para consultar datos de una tabla tipo erp_transacciones.
4. Merge datasets: n8n Function Node
 - Combinar la información de ambas consultas (por ejemplo, emparejar por id_equipo u orden).
5. Validación: Set & IF Nodes
 - Reglas de calidad de datos o filtros previos antes de análisis (valores nulos, duplicados, etc.).
6. Llamada Gemini: Detectar anomalías

- Nodo HTTP o integración con API LLM para identificar patrones o anomalías en los datos combinados.
7. Carga resultados (antes Data Lake): Supabase
- Escribir los resultados en una tabla tipo resultados_analisis dentro de Supabase.
 - Actualización Grafana dataset
 - Nodo HTTP que llama al endpoint de actualización del dataset de Grafana
8. Notificación Teams/Correo: Microsoft Teams o SMTP Node
- Enviar resumen o alerta con los hallazgos.

Resumen ejecutivo

- Frecuencia: diaria.
- Volumen: aproximado de 10.000 registros / día por ciudad.
- SLA: < 15 min de latencia por ejecución.
- Seguridad: conexión TLS 1.3, OAuth2 para APIs.
- KPIs:
 - TTR < 10 min,
 - % automatización ≥ 90 %,
 - Errores < 2 / 1 000 transacciones.

Solución TO-BE de alto nivel

Descripción

La solución propuesta se implementa en un entorno simulado, utilizando Supabase como plataforma central para la gestión de datos (emulando los sistemas SCADA, ERP, CRM y GIS). El flujo de automatización y análisis se orquesta mediante n8n (desplegado en Docker sobre Azure).

El motor de inteligencia artificial (Gemini) se emplea para la detección de anomalías en los datos procesados. Los resultados y visualizaciones se presentan en Grafana mientras que las alertas y notificaciones se envían a través de Microsoft Teams o correo electrónico.

Finalmente, todos los logs y resultados de ejecución se almacenan de forma centralizada en Supabase, permitiendo trazabilidad y control del proceso.

Arquitectura

Figura

Diagrama de despliegue con n8n y Supabase.

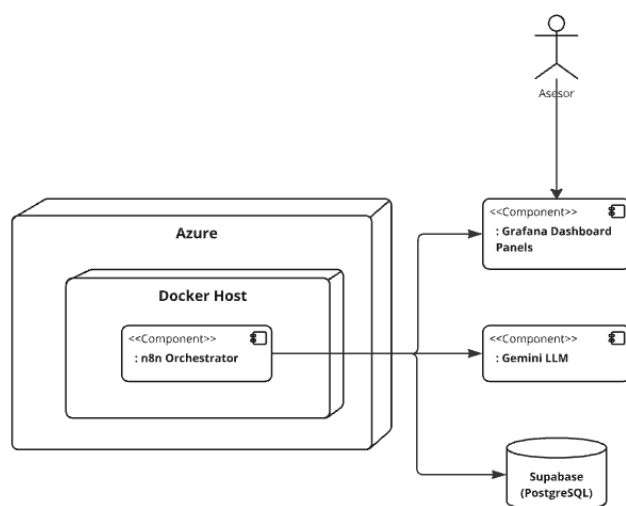


Diagrama de despliegue UML
Diagrama de despliegue para Aqualla Global
Última modificación: 2025-11-09

Nota. La arquitectura presentada corresponde a un entorno académico simulado. Los sistemas SCADA, ERP, CRM y GIS se emulan mediante tablas en Supabase; n8n actúa como orquestador de workflows, Gemini/GPT se utiliza para análisis de anomalías, y Grafana visualiza los resultados. Todos los logs y resultados se almacenan centralizadamente en Supabase, sin necesidad de infraestructura corporativa real.

Síntesis técnica

Hardware (Azure Free Tier)

- 1 × Azure VM tipo B1s o B1ms (1 vCPU, 1–2 GB RAM) para ejecución de Docker y n8n.
- Supabase Cloud (free tier) como backend para almacenamiento de datos simulados, logs y resultados.
- Grafana para visualización de dashboards.

Software

- Docker con n8n (latest LTS).
- Azure para despliegue y gestión básica de recursos.

Monitoreo y gestión básica

- n8n built-in logs y almacenamiento en tabla logs_ejecucion en Supabase.
- Alertas automáticas mediante flujo n8n → Teams/Correo.

Logs registrados (en Supabase)

- Auditoría: usuario, marca temporal, ID de workflow.
- Errores: stack trace resumido y payload redactado (sin datos sensibles).
- Procesos: hora de inicio y fin, duración, estado de ejecución.

Marco de Transición y Gobernanza

Checklist UAT

Caso	Descripción	Datos de prueba	Resultado esperado
U1	Ejecución normal sin errores	Dataset completo en Supabase	Reporte Grafana actualizado con datos correctos
U2	Falla API simulada	Timeout o respuesta vacía	Alerta Teams/Correo + reintento automático en n8n
U3	Datos nulos > 3 %	Tabla operaciones modificada con valores nulos	Rechazo del lote en n8n + log de error en Supabase
U4	Detección de anomalía por IA	Valor simulado fuera de rango (ej. fuga > 10%)	Alerta crítica enviada a Teams/Correo
U5	Rollback / restauración simulada	Ejecución de workflow manual de prueba	Restauración del workflow desde JSON exportado + datos en Supabase

Plan de transición y cutover

Flujo de despliegue simulado:

- Deploy único en entorno simulado (n8n sobre Azure Free Tier con Supabase).
- Validación funcional básica antes y después del despliegue.
- Uso de ramas o versiones en GitHub.

Ventana de actualización:

- Ejecución o despliegue preferentemente en horario no lectivo (por ejemplo, 00:00 UTC domingo).

Respaldo previo:

- Exportación del workflow n8n (.json) antes del despliegue.
- Backup de tablas críticas en Supabase (por ejemplo, operaciones, erp_transacciones, resultados_analisis).

Plan de reversión (rollback):

- Restaurar workflow desde la copia de seguridad JSON exportado.
- Reimportar datos desde las copias de seguridad Supabase si es necesario.

Validación post-despliegue:

- Confirmar correcta ejecución del flujo programado en n8n.
- Verificar KPI simulados: tiempos de ejecución, ausencia de errores, y consistencia de datos en Supabase.

Matriz RACI

Fase	Responsable	Aprobador	Consultado	Informado
Análisis PDD	Autor del proyecto	Docente	Compañeros de equipo	Equipo académico
Desarrollo workflow	Desarrollador n8n	Docente	Docente	Equipo académico
Pruebas UAT	Estudiante	Docente	Docente	Equipo académico
Despliegue producción	Estudiante	Docente	Docente	Equipo académico

Registro de riesgos y mitigación

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Mitigación	Responsable
Falla de API	Alta	Alta	Reintentos en n8n + caché temporal en Supabase	Estudiante / Dev n8n
Resistencia a uso de flujo simulado	Media	Media	Capacitación breve + KPIs visibles en Grafana	Estudiante / Asesor
Errores en detección IA (Gemini)	Baja	Media	Validación manual de resultados iniciales	Estudiante / Asesor IA
Exposición de credenciales	Baja	Media	Variables de entorno seguras + acceso controlado	Estudiante / Asesor
Limitaciones de Azure Free Tier	Media	Baja	Uso de entornos livianos y optimización de workflows	Estudiante

Telemetría y Monitoreo

Eventos registrados:

- Inicio/fin de workflow: marca temporal de ejecución de cada workflow en n8n.
- Latencia por step: tiempo de ejecución de cada nodo dentro del workflow, útil para identificar cuellos de botella.
- Errores por tipo: capturados en n8n y almacenados en Supabase, incluyendo tipo de error, payload redactado y stack trace resumido.

- Eventos de auditoría adicionales: usuario que ejecuta el workflow, ID de ejecución, y cambios en los datos de prueba.

Retención de datos:

- Eventos generales: 90 días.
- Errores críticos: 180 días, para permitir análisis posterior y trazabilidad.
- Datos históricos agregados: métricas resumidas por semana/mes para dashboards educativos.

Alertas y notificaciones:

- **Criterio:** ≥ 3 errores consecutivos en un mismo workflow o nodo.
- **Medios:** Microsoft Teams o correo electrónico vía n8n SMTP Node.
- **Contenido de alerta:** descripción resumida del error, workflow afectado, y pasos sugeridos para corrección.

Visualización y análisis:

- **Dashboards Grafana:** métricas de ejecución, errores y latencia.
 - **Históricos de desempeño:** tablas en Supabase para análisis académico o reporte de KPIs.
 - **Seguimiento de mejoras:** uso de telemetría para identificar nodos lentos, errores recurrentes y evaluar eficiencia del workflow simulado.