

Inemec 360: Plataforma de Aseguramiento del Conocimiento Operativo Basada en IA para la Gestión del Riesgo en Operaciones Industriales

Jesús David Cotes Castilla
Profesional II Investigación Nuevas Tecnologías
Inemec SAS — Bogotá, Colombia
ing.tecnologia2@inemec.com

Resumen — En entornos industriales de alta criticidad, una parte significativa del riesgo operacional proviene de la pérdida, desactualización o incorrecta aplicación del conocimiento operativo en campo. Este trabajo presenta el diseño e implementación de Inemec 360, una plataforma digital basada en inteligencia artificial orientada al aseguramiento del conocimiento técnico y al fortalecimiento de la disciplina operativa. La solución integra gestión documental versionada, generación automatizada de evaluaciones mediante modelos de lenguaje con validación multicriterio, y trazabilidad completa. Actualmente está implementada en operaciones del sector Oil & Gas con Ecopetrol, la plataforma ha procesado más de 22.000 evaluaciones con 428 usuarios en cuatro segmentos operativos, revelando brechas diferenciadas de conocimiento que habilitan acciones focalizadas de gestión del riesgo. Se analiza cómo la inteligencia artificial, aplicada de forma controlada y trazable, se convierte en un habilitador clave para la gestión del riesgo operacional.

Palabras clave — gestión del conocimiento; disciplina operativa; inteligencia artificial; modelos de lenguaje; gestión del riesgo; trazabilidad; Oil & Gas.

1. Introducción

En organizaciones industriales de alta criticidad, particularmente en el sector Oil & Gas, el conocimiento operativo constituye un activo estratégico cuya gestión impacta directamente la seguridad, la confiabilidad y la continuidad operacional [1]. La brecha entre lo que establecen los procedimientos documentados y lo que el personal conoce y aplica en campo representa una fuente significativa de riesgo operacional [2].

Esta brecha se intensifica por la rotación de personal, la actualización frecuente de procedimientos, la dispersión geográfica y la ausencia de mecanismos sistemáticos de verificación. La competencia del personal es un factor determinante en la prevención de eventos no deseados [3], y la capacidad de demostrar dicha competencia constituye un requisito regulatorio y operativo fundamental.

Los enfoques tradicionales presentan limitaciones: la formulación manual de evaluaciones para miles de procedimientos resulta inviable; las

evaluaciones en papel carecen de trazabilidad; y la desconexión entre gestión documental y proceso evaluativo impide garantizar que las evaluaciones reflejen los procedimientos vigentes.

El presente trabajo describe el diseño, implementación y resultados de Inemec 360, una plataforma digital que integra inteligencia artificial generativa, gestión documental versionada y evaluación continua de competencias. Se implementó en el contrato GGS entre Inemec SAS y Ecopetrol, bajo los lineamientos de disciplina operativa de la guía HSE-G-137 [4], en la configuración denominada DICACOCU 360.

2. Marco de referencia

2.1. Gestión del conocimiento operativo

La gestión del conocimiento en entornos industriales busca preservar, distribuir y aplicar el saber técnico para mejorar el desempeño y reducir riesgos [5]. En Oil & Gas, el aseguramiento de competencias (*competency assurance*) requiere que las organizaciones demuestren que su per-

sonal posee las habilidades y conocimientos necesarios para ejecutar sus funciones de forma segura [3]. Un sistema robusto debe garantizar que el personal conozca los procedimientos aplicables, que estén actualizados, y que exista evidencia auditable de verificación.

2.2. Disciplina operativa

La disciplina operativa se define como la ejecución consistente y correcta de actividades conforme a procedimientos establecidos. El Plan DICACOCU implementado en GGS operacionaliza este concepto siguiendo la guía HSE-G-137 de Ecopetrol [4], abarcando más de 2.400 procedimientos operativos distribuidos en múltiples campos petroleros.

2.3. IA generativa y gestión del riesgo

Los Grandes Modelos de Lenguaje (LLM) han demostrado capacidad para generar contenido técnico coherente [6], pero presentan limitaciones inherentes como las “alucinaciones” [7]. Investigaciones recientes demuestran que la validación multicriterio permite alcanzar calidad consistente en generación automatizada de evaluaciones [8].

La norma ISO 31000 define la gestión del riesgo como las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto al riesgo [9]. La norma ISO 55000 establece que la gestión de activos debe considerar el conocimiento del personal como factor determinante [1]. Bajo estos marcos, el aseguramiento del conocimiento operativo constituye un control preventivo que identifica brechas antes de que se materialicen en incidentes.

3. Metodología

3.1. Arquitectura general

Inemec 360 se diseñó como aplicación web con backend en Python (FastAPI), frontend en React, base de datos PostgreSQL e integración con GPT-5 y GPT-4o mediante la API de OpenAI. Se despliega con Docker y accede vía Cloudflare Tunnel. La plataforma articula cuatro capacidades: generación automatizada de evaluaciones, gestión documental versionada, corrección dual (automática y manual), y trazabilidad dual (procedimientos y preguntas).

3.2. Pipeline de generación con IA

El núcleo del sistema es un pipeline que transforma procedimientos operativos en evaluaciones de selección múltiple en cuatro etapas (Fig 1):

Escaneo: Extracción automática de información estructurada (código, versión, nombre, alcance, descripción).

Generación: Envío al LLM con *system message* estructurado que define formato JSON, estilo técnico y criterios de calidad. Genera cinco preguntas con cuatro opciones cada una.

Validación multicriterio: Cuatro validadores independientes evalúan: (1) estructura y enfoque cognitivo; (2) contenido técnico; (3) dificultad; (4) claridad. Cada validador emite dictamen binario con comentarios.

Corrección: Si algún criterio no se cumple, las preguntas se reenvían al LLM con los comentarios de validación y el procedimiento original para correcciones específicas.

Este diseño implementa el principio de “IA que revisa IA”, mitigando el riesgo inherente de alucinaciones [7].

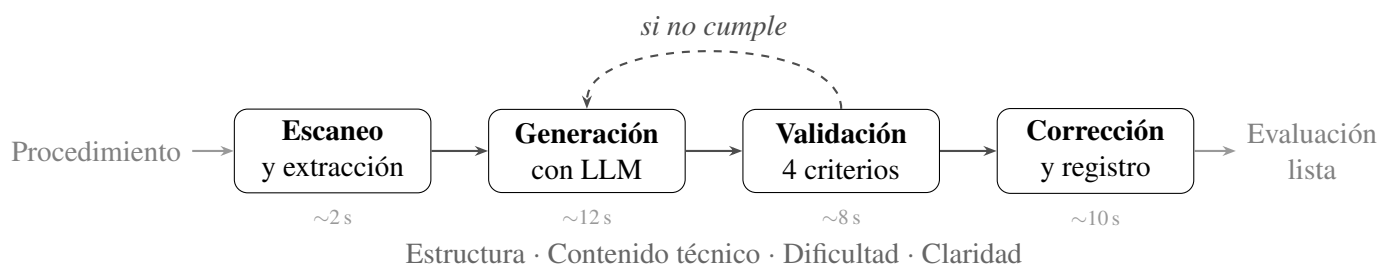


Fig 1. Pipeline de generación automatizada de evaluaciones. El tiempo total por procedimiento oscila entre 30 y 40 segundos.

3.3. Corrección dual y trazabilidad

La plataforma ofrece corrección manual directa por administradores y corrección asistida por IA. El sistema registra tipo de intervención, usuario responsable y estado anterior. El módulo de gestión documental detecta automáticamente actualizaciones de procedimientos, ofreciendo herencia selectiva de preguntas o nuevo ciclo de generación. La trazabilidad opera por procedimiento (ciclo de vida completo) y por pregunta (origen, validaciones, correcciones, uso en evaluaciones).

3.4. Evolución arquitectónica

La plataforma evolucionó en tres iteraciones. La v1.0 (abril–junio 2025) utilizó Excel como almacenamiento, limitando concurrencia a 5–6 usuarios. Las v2.0/2.5 (septiembre–octubre 2025) migraron a PostgreSQL, soportando 50+ usuarios simultáneos y reduciendo costos de API en 30–40 % mediante corrección condicional. La v3.0 (octubre 2025–actualidad) añadió trazabilidad visual tipo grafo y corrección manual.

4. Resultados

La plataforma opera en producción desde julio de 2025. Los resultados corresponden al período julio 2025 – febrero 2026.

4.1. Cobertura y volumen

El sistema gestiona 2.486 procedimientos operativos activos con 10.115 preguntas técnicas. Se han completado 22.335 evaluaciones con 428 usuarios únicos distribuidos en cuatro campos: Floreña, Cupiagua, Cusiana y un grupo Transversal de personal rotativo. De los 2.486 procedimientos activos, 1.805 han sido evaluados al menos una vez, alcanzando una cobertura del 72,6 %. La duración promedio de cada evaluación es de 4,99 minutos.

4.2. Indicadores de conocimiento y aplicación

La plataforma distingue dos dimensiones: conocimiento (dominio conceptual del procedimiento) y aplicación (capacidad de ejecutar los pasos en campo). Esta diferenciación constituye un aporte para la gestión del riesgo, pues permite identificar la naturaleza de la brecha.

A nivel global, la aprobación en conocimiento fue del 78,87 % y la aprobación aplicada del 96,45 %. La brecha de 17,58 puntos porcentuales indica que, aun cuando el personal ejecuta procedimientos de forma adecuada, persisten brechas en comprensión conceptual: un trabajador que opera correctamente por hábito pero no comprende el fundamento es más vulnerable ante condiciones atípicas.

4.3. Análisis por campo

El desglose por campo revela diferencias que habilitan la focalización de acciones de gestión del riesgo (Tabla I, Fig 2).

Tabla I. Resultados por campo operativo (caso GGS, julio 2025 – febrero 2026).

campo	Evaluaciones	Aprob. conocimiento	Aprob. aplicado	Reprobados conoc.	Brecha (pp)
Floreña	7.145	68,83 %	97,59 %	2.227	28,76
Cupiagua	6.818	88,13 %	96,22 %	809	8,09
Cusiana	5.835	81,11 %	95,66 %	1.101	14,55
Transversal	2.537	77,10 %	95,66 %	581	18,56
Total	22.335	78,87 %	96,45 %	4.718	17,58

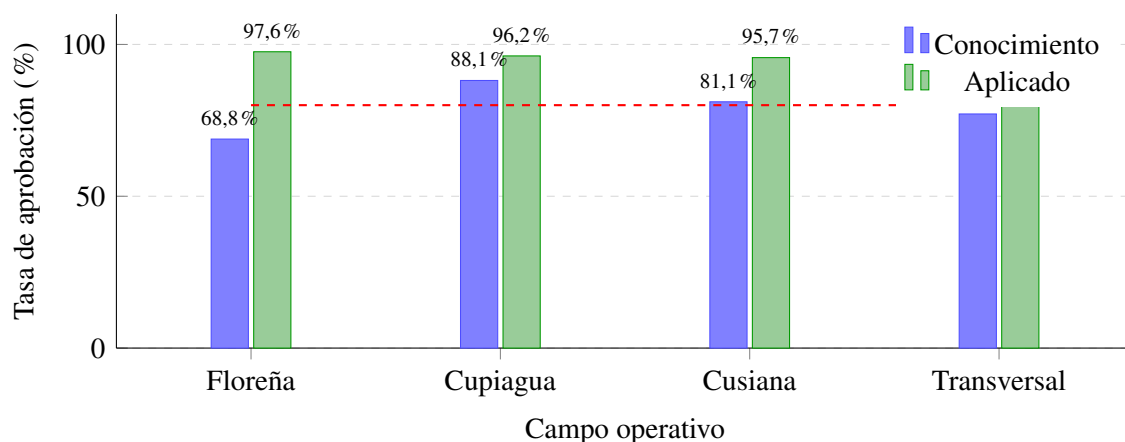


Fig 2. Aprobación por campo operativo: conocimiento vs. aplicado. La brecha entre ambos indicadores varía de 8,09 pp (Cupiagua) a 28,76 pp (Floreña).

Floreña presenta la mayor brecha (28,76 pp, con 68,83 % en conocimiento frente a 97,59 % en aplicado), mientras que Cupiagua muestra el mejor desempeño (8,09 pp de brecha). En todos los segmentos la aprobación aplicada se mantiene entre 95 y 98 %, confirmando que la separación de indicadores es necesaria para una lectura precisa del riesgo: un análisis que solo midiera el resultado aplicado enmascararía las brechas conceptuales.

4.4. Ciclo de aprendizaje

Un hallazgo relevante es el comportamiento de reintento tras la reprobación. De los 2.260 casos de reprobación en conocimiento, el 86,3 %

(1.951 casos) reintentó la evaluación del mismo procedimiento. De quienes reintentaron, el 56,0 % aprobó en el segundo intento. Esto evidencia que la evaluación genera un ciclo activo de aprendizaje, donde la reprobación no es solo un indicador pasivo sino un impulsor de la revisión del procedimiento por parte del trabajador.

4.5. Eficiencia del proceso

El proceso de generación toma entre 1 y 2 minutos por procedimiento a un costo de 0,08 USD. Del total de preguntas generadas, el 95 % aprobó la validación multicriterio en primera pasada. La Tabla II presenta la comparación con el proceso anterior.

Tabla II. Indicadores comparativos del proceso evaluativo.

Indicador	Proceso anterior	Con Inemec 360	Variación
Tiempo por evaluación	65 min	4,99 min	−92 %
Consolidación mensual	24 h/mes	1 h/mes	−96 %
Usuarios concurrentes	N/A (papel)	50+	—
Costo por procedimiento	8–10 USD	0,08 USD	−99 %
Cobertura de procedimientos	Parcial	72,6 % (1.805/2.486)	—
Trazabilidad	Manual/parcial	Automática/total	—

La reducción del 92 % en tiempo por evaluación y del 96 % en consolidación mensual representan un ahorro operativo significativo. La migración a PostgreSQL eliminó completamente los problemas de concurrencia, con tiempos de búsqueda inferiores a 100 ms y cero incidentes de corrupción desde la migración.

5. Discusión

5.1. Vinculación con gestión del riesgo

Los resultados permiten argumentar que Inemec 360 opera como mecanismo de gestión del riesgo en tres niveles. Primero, cierra la brecha de conocimiento que constituye riesgo latente: antes del sistema, no existía verificación sistemática de que 428 trabajadores dominaran los procedimientos vigentes. Segundo, la diferenciación entre conocimiento y aplicación permite lectura granular del riesgo: Floreña (28,76 pp de brecha) presenta un perfil cualitativamente diferente a Cupiagua (8,09 pp), habilitando priorización de intervenciones. Tercero, el ciclo de reintento (86,3 % reintentan, 56 % aprueban) demuestra que el sistema no solo mide el riesgo sino que activa un proceso de remediación.

El análisis de la evolución temporal muestra que la aprobación en conocimiento ha descendido de 81,3 % a 72,5 % entre julio 2025 y febrero 2026, mientras la aprobación aplicada se mantiene estable (~97 %). Esta tendencia se interpreta como evidencia de que, al expandir la eva-

luación a procedimientos más complejos y personal con menor exposición previa, el sistema revela brechas progresivamente más profundas que antes eran invisibles. Este hallazgo refuerza el argumento de que la plataforma actúa como instrumento de diagnóstico del riesgo operacional.

Desde ISO 31000 [9], el sistema implementa controles preventivos al identificar brechas antes de que se materialicen en incidentes. Desde ISO 55000 [1], contribuye a la realización de valor de los activos al asegurar que el personal que los opera posea conocimiento actualizado. El estudio no cuenta con correlación directa con reducción de incidentes, pero la literatura del sector establece consistentemente que la competencia del personal es determinante en la prevención de eventos no deseados [3].

5.2. La IA como habilitador

La inteligencia artificial se utiliza como habilitador, no como reemplazo del criterio humano. El pipeline multicriterio mitiga el riesgo de alucinaciones [7], y los mecanismos de corrección manual garantizan intervención experta. Las reprobaciones no se concentran en procedimientos específicos sino que se distribuyen de forma amplia, indicando que las brechas son sistémicas y no atribuibles a deficiencias de preguntas puntuales.

5.3. Replicabilidad y limitaciones

La metodología es replicable en cualquier organización con procedimientos documentados. El pipeline es agnóstico al dominio y adaptable a diferentes marcos normativos.

Entre las limitaciones: no se dispone de correlación directa con indicadores de seguridad; la cobertura de 72,6 % indica que aún existen procedimientos sin evaluar; y la dependencia de servicios externos de IA introduce consideraciones de disponibilidad y confidencialidad.

6. Conclusiones

Inemec 360 demuestra que la inteligencia artificial generativa, aplicada con validación multicriterio y trazabilidad completa, transforma el aseguramiento del conocimiento operativo de un proceso manual y parcial a uno automatiza-

do, económico y sistemático.

En el contrato GGS con Ecopetrol, la plataforma procesó 22.335 evaluaciones con 428 usuarios en ocho meses de operación, cubriendo el 72,6 % de los 2.486 procedimientos activos. La distinción entre aprobación de conocimiento (78,87 %) y aplicado (96,45 %) constituye un aporte para la lectura precisa del riesgo humano. El análisis por campo permite focalizar intervenciones donde el riesgo es mayor, y el ciclo de reintento (86,3 % reintentan, 56 % aprueban) evidencia que el sistema impulsa aprendizaje activo.

La principal contribución a la gestión de activos es convertir un riesgo latente e invisible en uno gestionable y auditable. Como trabajo futuro se contempla analítica avanzada para identificar patrones de falencias, expansión a otros contratos y sectores, y correlación con indicadores de seguridad operacional.

Referencias

- [1] ISO, “ISO 55000:2014 — Asset management — Overview, principles and terminology”, International Organization for Standardization, Ginebra, 2014.
- [2] I. Nonaka y H. Takeuchi, *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Nueva York. Oxford University Press, 1995.
- [3] Oil & Gas UK, “Competence and Training Assessment Guidelines”, Londres, 2018.
- [4] Ecopetrol S.A., “Guía HSE-G-137: Gestión de información documentada operacional”, Bogotá, Colombia, 2022.
- [5] P. Drucker, “Knowledge-Worker Productivity: The Biggest Challenge”, *California Management Review*, Vol. 41, No. 2, pp. 79–94, 1999.
- [6] J. Achiam *et al.*, “GPT-4 Technical Report”, *arXiv preprint*, arXiv:2303.08774, 2023.
- [7] Z. Ji *et al.*, “Survey of Hallucination in Natural Language Generation”, *ACM Computing Surveys*, Vol. 55, No. 12, pp. 1–38, 2023.
- [8] S. Maity *et al.*, “The Future of Learning in the Age of Generative AI: Automated Question Generation and Assessment with Large Language Models”, *arXiv preprint*, arXiv:2410.09576, 2024.
- [9] ISO, “ISO 31000:2018 — Risk management — Guidelines”, International Organization for Standardization, Ginebra, 2018.
- [10] Energy Safety Canada, “Competency Management Systems: A Program Development Guideline”, Calgary, 2020.
- [11] ISO, “ISO 55001:2014 — Asset management — Management systems — Requirements”, International Organization for Standardization, Ginebra, 2014.
- [12] B. White, “Prompt Engineering for Large Language Models: Best Practices and Strategies”, *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 15234–15249, 2024.

Jesús David Cotes Castilla. Ingeniero Mecánico con énfasis en Automatización y Robótica de la Universidad de La Sabana (2024), becario del programa Talento Sabana. Profesional II de Investigación en Nuevas Tecnologías en Inemec SAS, donde lidera proyectos de desarrollo de software, prototipado, inteligencia artificial e innovación tecnológica. Responsable del diseño, desarrollo e implementación de la plataforma Inemec 360, así como de soluciones que integran hardware y software: sistema de verificación biométrica con reconocimiento facial, UAV autónomo con software de navegación basado en visión por computador para inspección de gasoductos, y sistema de gestión de recursos humanos actualmente en producción en Inemec SAS. Su perfil combina experiencia en integración multidisciplinaria de sistemas, desarrollo de software (Python, React, FastAPI), electrónica embebida y diseño aeroespacial de UAV. Formación complementaria en diseño CAD, circuitos impresos, *Lean Manufacturing* y simulación computacional de fluidos. Exlíder del semillero de robótica de la Universidad de La Sabana.

Datos de contacto:

Nombre: Jesús David Cotes Castilla

Celular: +57 3012751496

E-mail: ing.tecnologia2@inemec.com

Dirección residencia: Calle 95A #71C-04, Bogotá

Empresa: Inemec SAS

Ciudad: Bogotá, D.C.

País: Colombia