

El Ojo Minero ante la Escala de lo Invisible: Desafíos de la Visión Artificial e Inferencia Industrial Profunda

Por Hernán H. Antonelli



En la ingeniería de procesos de alta complejidad, la transferibilidad de la inteligencia está redefiniendo la frontera de la automatización. Durante décadas, la industria operó bajo la premisa de que los problemas de escala eran desafíos de hardware aislados, asumiendo - por ejemplo- que detectar impurezas milimétricas en yodo y reconocer piezas metálicas masivas en cobre no compartían ADN técnico.

Un estudio desarrollado por Raymi Vásquez, Gerente de Tecnología de STGI Mining, en el marco de su doctorado en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile, aborda el uso de visión e inteligencia artificial explicable para el monitoreo continuo de procesos mineros. El desafío central es ampliar la capacidad de observación operacional mediante sistemas basados en cámaras e IA, capaces de vigilar puntos de difícil acceso, zonas de alta complejidad o procesos donde la supervisión humana permanente resulta limitada.

En estos entornos, la IA permite detectar anomalías visuales de forma continua, incluso bajo condiciones adversas como polvo, vibraciones, cambios de iluminación y desenfoco por movimiento, donde el ojo humano deja de ser una métrica suficiente para asegurar certeza operativa.

La automatización como imperativo de seguridad e impacto industrial

En el debate actual sobre minería subterránea surge una pregunta crítica: ¿Por qué la automatización se vuelve vital hoy? La respuesta trasciende la eficiencia operativa. Según informes de instituciones como el Sernageomin, 2025 ha registrado un alza del 60 por ciento en fatalidades respecto al año anterior, concentradas en zonas de alta exposición. Ante fenómenos geomecánicos complejos como el "planchoneo" o estallidos de roca, documentos estratégicos de Codelco enfatizan que el monitoreo autónomo es la vía para retirar al personal de zonas de riesgo.

Desde una perspectiva de ingeniería, la motivación industrial para automatizar estos procesos es crítica: los objetos anómalos pueden comprometer la calidad del producto final, reducir la continuidad de la operación y provocar daños catastróficos en equipos críticos. La investigación de Vásquez aborda esta problemática mediante dos casos de estudio seleccionados para evaluar la transferibilidad tecnológica: el Caso A, que detecta anomalías en una línea de envasado de yodo, y el Caso B, que identifica objetos metálicos de gran tamaño en la descarga de una rotopala. Ambos demuestran que, aunque las escalas y fondos difieran, el problema de detección industrial puede tratarse bajo un marco común.

Condiciones habilitantes: Metodología y el fin de la caja negra

Para abordar los desafíos antes mencionados, Vásquez propone un algoritmo que presenta un flujo de trabajo. El éxito depende de un flujo de trabajo reproducible basado en YOLO (detección visual en tiempo real) y ejecutado en Edge AI - Borde (IA ejecutada en terreno, cerca del proceso). La clave reside en la geometría de la cámara, la resolución espacial efectiva y la definición de la región de interés (ROI) diseñada según la trayectoria esperada de la anomalía.

El proceso técnico implica adquirir imágenes RGB industriales para entrenar un detector YOLO que analiza el flujo cuadro a cuadro. El manejo de escala es fundamental: se utiliza recorte y mosaico para objetivos pequeños y una inferencia con campo de visión global para objetivos grandes. Para garantizar que el sistema sea confiable, se aplica un filtro de persistencia: la alerta solo suena si la inteligencia artificial está muy segura de lo que ve y esa imagen se mantiene estable durante varios cuadros de video seguidos.

El valor de la integración y el análisis de resultados

La respuesta técnica al dilema de la integración reside en el Mantenimiento Predictivo (PdM). Reportes de iSE-Academy y Gerens destacan que la inteligencia artificial actúa hoy como un cerebro capaz de procesar hasta 5.4 TB de datos diarios. Para un decisor técnico, el valor real se consolida mediante la Inteligencia Artificial Explicable (XAI), donde el operador audita la confianza del modelo y la persistencia del evento.

La evaluación operacional de estos sistemas combina métricas de ingeniería precisas: la precisión para cuantificar la selectividad y evitar falsas alarmas, el recall para asegurar la sensibilidad ante fallas críticas, y la latencia para medir el tiempo real de respuesta entre la captura y la alerta. Los resultados de este estudio confirman que la transferibilidad es factible al conservar el objetivo de detección y adaptar únicamente la configuración de imagen y el manejo de escala, permitiendo que un mismo modelo sea efectivo en regímenes visuales totalmente opuestos.

Del bosquejo a la implementación: La propuesta de STGI Mining

Esta visión científica es la que STGI Mining ha validado en terreno en operaciones de compañías líderes del mundo minero chileno, abordando desafíos reales en activos y procesos industriales complejos. STGI Mining es una empresa de innovación tecnológica que no vende software ni sensores por separado: desarrolla soluciones completas de inteligencia operacional de punta a punta.

Nuestra metodología acompaña todo el ciclo de vida del proyecto: desde el bosquejo inicial de la sensorización y la óptica a medida, pasando por la implementación de hardware industrial IP67 y modelos de IA avanzados, hasta el monitoreo predictivo continuo mediante dashboards en tiempo real.

Al integrar hardware, software e inferencia predictiva explicable (XAI), STGI Mining diseña ecosistemas tecnológicos que permiten anticipar fallas, reducir detenciones no programadas y mejorar la seguridad operacional. Solo con esta ingeniería integral es posible garantizar que el ojo minero nunca parpadee ante lo invisible, transformando el riesgo en la certeza de la continuidad operacional.

© Todos los derechos reservados. El uso o reproducción de este documento sin autorización expresa de STGI no está permitido.