

La digitalización en las canteras de áridos: una aplicación real

José Eugenio Ortiz¹, Pierre Plaza², José Luis Blanco¹, Javier Gavilanes², Iván Cabria³, José Ignacio Escavy¹, Josefa Herrero⁴, César Pérez², Silvia Rodríguez-Jimenez², Jorge Rico², Cecilia Serrano², Virginia Yagüe¹, Jesús Bernat²

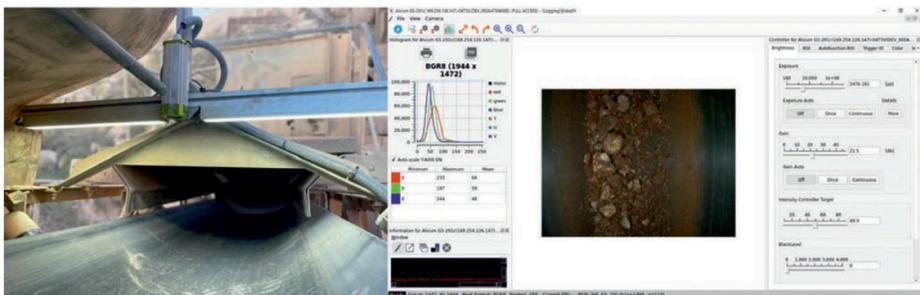


Figura 1. Cámara instalada para la detección de la calidad del material basada en colorimetría junto con un ejemplo del procesamiento.

El desarrollo de servicios de Inteligencia Artificial en los procesos mineros, concretamente en las canteras de áridos, está facilitando la automatización y mejorando numerosos aspectos de las operaciones. En este sentido, la IA está transformando la industria minera al mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad de sus procesos. Con la capacidad de analizar grandes cantidades de datos y tomar decisiones autónomas, la IA ofrece grandes oportunidades para optimizar las operaciones mineras y maximizar los beneficios económicos y sociales de esta industria vital minimizando el impacto ambiental. En el marco del proyecto europeo DIGIECOQUARRY se han desarrollado diversos servicios de IA para la identificación de calidad del material, estimación de producción, detección de anomalías y predicción de consumo y producción de forma automática que ya se están aplicando.

1. INTRODUCCIÓN

La digitalización y la inteligencia artificial son dos herramientas que están transformando la sociedad, especialmente los procesos productivos. En este sentido, su aplicación en minería es fundamental para la mejor eficiencia de la exploración, extracción y tratamiento de materias primas, lo que se traducirá en numerosos aspectos, como la optimización del trabajo, reducción de costes energéticos, mejora de la seguridad, etc.



La digitalización y la inteligencia artificial son dos herramientas que están transformando la sociedad, especialmente los procesos productivos. En este sentido, su aplicación en minería es fundamental para la mejor eficiencia de la exploración, extracción y tratamiento de materias primas, lo que se traducirá en numerosos aspectos, como la optimización del trabajo, reducción de costes energéticos, mejora de la seguridad, etc

En el marco del proyecto europeo DIGIECOQUARRY se han desarrollado servicios relacionados con la digitalización de los procesos de extracción y tratamiento de áridos. Se adoptó un enfoque coordinado con el objetivo final de usar de forma eficiente los recursos y se desarrolló la tecnología y los sistemas para la digitalización integrada y el control de procesos de automatización en tiempo real, la cual se implementó en cinco canteras piloto de diversas caracte-

terísticas. Este desarrollo permitirá aumentar el suministro sostenible de material para el sector de la construcción y la extracción sostenible de recursos en las canteras, concretamente:

1. La mejora de las condiciones de seguridad, salud y protección de los trabajadores, evitando su exposición a operaciones peligrosas mediante procesos automatizados y controlados.
2. La mejora de la selectividad y eficiencia de las canteras de áridos, aumentando así la rentabilidad de los procesos de extracción, asegurando la sostenibilidad operativa a largo plazo.
3. Maximizar la sostenibilidad y la eficiencia de los recursos en las operaciones de canteras reduciendo las emisiones, mejorando la gestión del agua, minimizando el impacto ambiental y fomentando un suministro sostenible de materias primas para alimentar cadenas de valor nuevas y existentes y garantizando una producción duradera.
4. La mejora de la aceptación social, compartiendo conocimientos y mejores prácticas con el objeto de aumentar la percepción general de la industria minera.

Las nuevas tecnologías se desarrollaron en los cinco pilotos con diferentes características para garantizar que los resultados sean representativos y transferibles, con un enfoque orientado al mercado. Cabe destacar que se cubrieron todos los procesos clave en la explotación de una cantera, desde la preparación y explotación del material, pasando por la extracción y procesamiento hasta la gestión ambiental y empresarial, preservando los enfoques de economía circular e innovación social.

2. EL DESARROLLO DE LOS SERVICIOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Para el desarrollo de servicios de inteligencia artificial, se realizaron reuniones con las empresas responsables de las explotaciones para identificar necesidades y expectativas. Se presentaron descripciones formales y se recogieron las opiniones y requerimientos de los diferentes acto-



Las nuevas tecnologías se desarrollaron en los cinco pilotos con diferentes características para garantizar que los resultados sean representativos y transferibles, con un enfoque orientado al mercado. Cabe destacar que se cubrieron todos los procesos clave en la explotación de una cantera, desde la preparación y explotación del material, pasando por la extracción y procesamiento hasta la gestión ambiental y empresarial, preservando los enfoques de economía circular e innovación social

res. Con esta retroalimentación, se diseñaron y acordaron definiciones actualizadas de servicios de IA para adaptarse mejor a las necesidades reales de las canteras con respecto al objetivo de mejorar los diferentes procesos utilizando tecnologías de IA. Estos servicios que se han desarrollado se describen a continuación.

2.1 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MATERIAL POR COLORIMETRÍA

Con este servicio se estima la calidad del material (composición) en la entrada a la línea de producción mediante información visual captada por cámaras, junto con otros datos externos, como información meteorológica. El sistema es no intrusivo y permite maximizar la ejecución del proceso minero, mejorando la planificación de la planta y controlando el proceso de trituración. También admite notificaciones automáticas y mantiene un registro histórico para analizar más a fondo los datos. La información es recolectada y procesada para mantener la mina en producción, promoviendo acciones directas en las operaciones.

La principal aplicación de este servicio de IA se centra en canteras de caliza en las que la presencia de arcilla puede representar un problema. Dado que, en general, el color



Figura 2. Determinación del tamaño de grano de manera continua mediante cámaras: ejemplo de segmentación y clasificación del proceso.

¹Universidad Politécnica de Madrid
²Sigma Cognition
³Universidad de Valladolid
⁴Universidad Complutense de Madrid



En definitiva, este servicio de IA automatiza el proceso de determinar si el material tratado cumple con las especificaciones técnicas. Al analizar los datos en tiempo real, se puede identificar rápidamente cualquier problema en el proceso. Esto permite realizar reparaciones o reemplazos oportunos de cribas u optimizar el funcionamiento de los molinos, asegurando el correcto funcionamiento de los procesos de tratamiento de materiales

y composición de ambas litologías es diferente, para solucionar esta cuestión se recurrió a la identificación automática mediante el uso de cámaras fijas del porcentaje de caliza y arcilla (Fig. 1).

Previamente se analizaron muestras de diferentes litologías mediante difracción de rayos X y espectrofotometría para determinar las características más adecuadas que debían tener las cámaras, así como los parámetros que servían para identificar con mayor claridad las litologías.

2.2 DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL

Este servicio tiene como objetivo analizar la información visual proporcionada por cámaras fijas para estimar el tamaño de los fragmentos de roca procesados en las canteras. El sistema mide la distribución granulométrica a su paso por las cintas transportadoras una vez finalizado el procesamiento con el objetivo de detectar material sobre-

dimensionado y evaluar la uniformidad del grano (Fig. 2) lo que, a su vez, permite identificar posibles problemas en el proceso de trituración, maximiza la eficiencia del proceso minero y mejora la calidad del producto final. Todo esto manteniendo la cantera en producción. Para ello se utilizaron técnicas de visión por ordenador instalando cámaras en las cintas transportadoras finales.

En definitiva, este servicio de IA automatiza el proceso de determinar si el material tratado cumple con las especificaciones técnicas. Al analizar los datos en tiempo real, se puede identificar rápidamente cualquier problema en el proceso. Esto permite realizar reparaciones o reemplazos oportunos de cribas u optimizar el funcionamiento de los molinos, asegurando el correcto funcionamiento de los procesos de tratamiento de materiales.

2.3 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LAS PILAS DE ACOPIO

Este servicio integra las entradas visuales y de datos para estimar el volumen de material en las diferentes pilas de acopio, permitiendo a los operadores realizar un seguimiento del stock disponible en toda la cantera. Este conocimiento también ayuda a optimizar la producción en función del nivel de existencias y proporciona información para otros servicios avanzados de IA. Para evaluar la mejor metodología y su coste, el volumen de las pilas se calculó utilizando tres fuentes de datos: vuelos de dron, imágenes multicámara e imágenes de satélite. Las tres metodologías se compararon y evaluaron en términos de precisión, coste y velocidad de adquisición de datos

Finalmente, se decidió optar por una solución más flexible y portable con el desarrollo de una APP para teléfono móvil que, tras la toma de un vídeo alrededor de la pila, se calcula su volumen de forma automática en un tiempo de 10 minutos y con un error inferior al 3% (Fig. 3). Para ello se han eliminado posibles interferencias de material, condiciones meteorológicas, etc.



Finalmente, se decidió optar por una solución más flexible y portable con el desarrollo de una APP para teléfono móvil que, tras la toma de un vídeo alrededor de la pila, se calcula su volumen de forma automática en un tiempo de 10 minutos y con un error inferior al 3% (Fig. 3). Para ello se han eliminado posibles interferencias de material, condiciones meteorológicas, etc

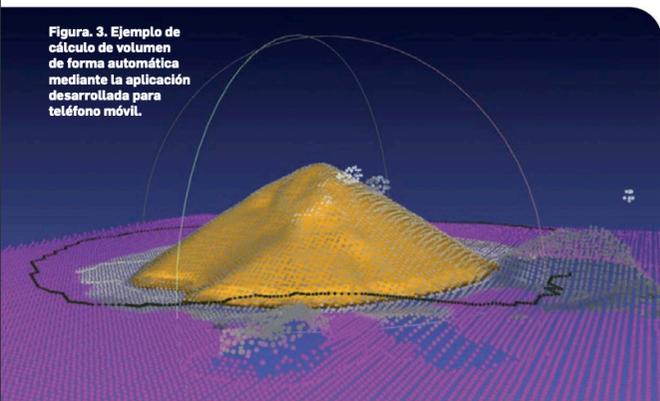


Figura 3. Ejemplo de cálculo de volumen de forma automática mediante la aplicación desarrollada para teléfono móvil.

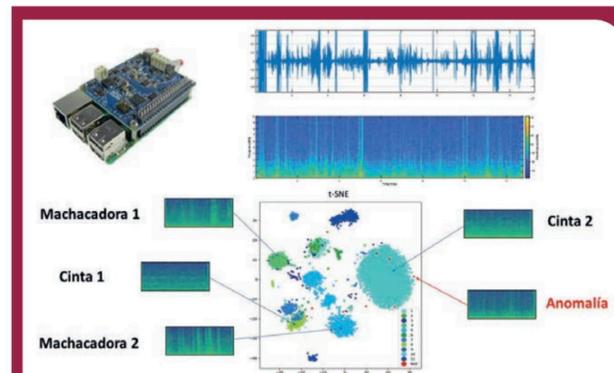


Figura 4. Sensor para la determinación de sonido y vibraciones junto con el registro de ambos parámetros en una cinta transportadora. En la parte inferior se observa la representación gráfica que permite la identificación de la maquinaria de una cantera con un ejemplo de detección de anomalía.



El desarrollo de herramientas de IA aplicadas a la explotación de áridos ha demostrado ser especialmente útil para mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad en todas las etapas del proceso minero, desde la exploración y la planificación hasta la extracción y el procesamiento

2.4 DETECCIÓN DE ANOMALÍAS

La detección de fallos de maquinaria en procesos industriales mediante anomalías acústicas es un procedimiento conocido para optimizar su mantenimiento.

Por primera vez se ha desarrollado para operaciones mineras. El servicio de detección de anomalías utiliza diversos sensores (micrófonos y acelerómetros) para monitorizar el comportamiento de la línea de producción en cantera con el objeto de detectar y prevenir un mal funcionamiento o anomalía de la maquinaria implicada en el proceso. Este servicio permite implementar un sistema de mantenimiento preventivo que, a su vez, ayuda a reducir los costes de producción. Se ha aplicado a cintas transportadoras, cribas y trituradoras. Los datos registrados de forma continua se utilizaron para la caracterización directa de las diferentes condiciones de funcionamiento de la maquinaria pudiendo identificar incluso, el modelo de cada máquina y las condiciones en las que se puede identificar la anomalía correspondiente (Fig. 4).

2.5 PREDICCIÓN DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN

En este servicio se analiza la información operativa, es decir, datos múltiples de la cantera para determinar distintos factores que afectan al coste real de producción y al volumen de material producido con el fin de optimizar la producción, el consumo de energía (electricidad, combustible, explosivos), el consumo de agua y aumentar el beneficio de la cantera. El servicio, a través de modelos de IA, tiene como objetivo estimar parámetros clave de la producción para generar recomendaciones sobre cómo se puede ajustar la operación para optimizar la producción. Para desarrollar los algoritmos de IA de este servicio se utilizaron datos obtenidos de sensores instalados en las plantas de procesamiento, en los equipos móviles, en el entorno de la cantera (sensores IoT), entre los cuales podemos

mencionar: sensores de consumo de agua, climatológicos, de densidad de polvo. También se obtienen datos de fuentes externas como el coste de la energía (electricidad, fundamentalmente), previsiones meteorológicas, etc.

En cuanto a la optimización del consumo de agua, el algoritmo de IA tiene como objetivo predecir el consumo de agua a lo largo de un año o para un tiempo determinado, teniendo en cuenta por ejemplo límites establecidos por las autoridades y el consumo histórico y factores externos tales como la temperatura promedio, la velocidad promedio del viento, el número de días de lluvia y la producción de la cantera.

Además, se desarrolló un algoritmo de IA que genera recomendaciones relacionadas con la producción en función de las condiciones climáticas y el historial de producción pasado, considerando también la previsión de costes asociados al consumo de agua y energía, lo que permitió optimizar las horas de trabajo y reducir el consumo de energía.

3. CONCLUSIONES

La industria minera está experimentando numerosos avances en las últimas décadas, y uno de los más disruptivos es la integración de la inteligencia artificial en las operaciones.

El desarrollo de herramientas de IA aplicadas a la explotación de áridos ha demostrado ser especialmente útil para mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad en todas las etapas del proceso minero, desde la exploración y la planificación hasta la extracción y el procesamiento.

En definitiva, en el marco del proyecto DIGIECOQUARRY se desarrollaron diversos servicios de IA para la identificación de calidad del material, granulometría, cálculo de volúmenes, detección de anomalías y predicción de consumo y producción de forma automática con resultados que están optimizando estos procesos.