

Septiembre de 2025



CAMIÓN DE TRANSPORTE DE PRECISIÓN CAPACITACIÓN PARA OPERADORES

Combinando aprendizaje automático y
entrenamiento con simuladores específicos

Un estudio de correlación:



CASCADIA
SCIENTIFIC

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la minería, incluso las decisiones más pequeñas de un operador pueden tener un impacto significativo en la eficiencia de una mina. No se trata de errores drásticos ni de contratiempos que acaparan titulares, sino de las sutiles decisiones cotidianas que se acumulan a lo largo de miles de ciclos de transporte. Los datos de Cascadia Scientific revelan una narrativa fascinante: la diferencia en eficiencia de combustible entre los operadores más cualificados y los menos cualificados puede superar el 10 %. Al analizar las minas a nivel global, se observa un patrón recurrente: silencioso, constante e ineludible.

Esa brecha determina si una mina logra sus objetivos de costos o pierde, de manera discreta, millones de dólares anualmente. No obstante, en las condiciones cambiantes e impredecibles de la minería a cielo abierto a gran escala —donde las distancias de transporte fluctúan, el clima convierte las carreteras en ríos y cada turno presenta variaciones—, evaluar con precisión el rendimiento del operador resulta notoriamente complicado.

Para cerrar esa brecha, una destacada operación carbonífera colombiana se asoció con Cascadia Scientific para implementar sistemas de puntuación para operadores basados en aprendizaje automático, junto con formación específica utilizando simuladores de Immersive Technologies. El objetivo era claro: medir el rendimiento con precisión, identificar las áreas de mejora necesarias y capacitar de manera efectiva.

A continuación, se presenta la historia de cómo operó dicho programa: su metodología, sus resultados y las razones por las cuales proporciona un modelo eficaz para las operaciones mineras a nivel global.

Contenido

INTRODUCCIÓN	2
PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	3
COMPRIENDIENDO EL MODELO	4
FORMACIÓN ESPECIALIZADA	5
LOS RESULTADOS	6
CONCLUSIONES	7
AGRADECIMIENTOS	8



PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Capacitación en modelado de operadores de Cascadia Scientific + Simulador de Immersive Technologies.

En una importante mina, Cascadia Scientific se unió a Immersive Technologies para implementar un programa innovador de eficiencia de combustible dirigido a operadores de camiones de transporte. Al fusionar el análisis avanzado de datos y la inteligencia de aprendizaje automático de Cascadia con la formación mediante simuladores de Immersive, el programa proporciona capacitación específica y práctica que ha generado mejoras cuantificables en el rendimiento del operador y en el consumo de combustible. Este enfoque integrado permite a los operadores perfeccionar sus técnicas de conducción en un entorno seguro y controlado, al tiempo que asegura la mejora continua en el campo.



Programa de eficiencia energética para operadores:



Modelo de operador

Entrenador

Entrenamiento

Medida

1. IDENTIFICAR OPERADORES DE BAJO RENDIMIENTO (CASCADIA SCIENTIFIC)

Se desarrollaron modelos de aprendizaje automático para evaluar el rendimiento de cada operador. Los operadores cuyo rendimiento se sitúa una desviación estándar por debajo de la media reciben un entrenamiento gradual.

2. PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO PROGRESIVO

Los operadores seleccionados (aproximadamente el 16 % de la plantilla) recibieron inicialmente una carta; si el rendimiento no mejoraba, se reunían de manera individual con su gerente y, si continuaba por debajo del objetivo, eran enviados a Immersive Technologies para recibir capacitación basada en simulador.

3. CAPACITACIÓN EN SIMULADOR DE IMMERSIVE TECHNOLOGIES

Se llevó a cabo una capacitación especializada en eficiencia de combustible, ofrecida mediante programas de simulación de Immersive Technologies, con el objetivo de corregir comportamientos específicos de los operadores.

4. EVALUAR EL IMPACTO DE LA EFICIENCIA DEL COMBUSTIBLE EN EL SECTOR

Los datos obtenidos tras el entrenamiento se compararon con el rendimiento anterior al mismo para cuantificar las mejoras en el mundo real.



COMPRIENDIENDO EL MODELO

Recopilación de datos, que incluye medidores de flujo de combustible de alta precisión.

Se afirma que la calidad de un modelo depende de los datos que lo respaldan. Cascadia Scientific no dejó este aspecto al azar. Su paquete de instrumentación, dotado de sistemas de medición de combustible con una precisión superior al 99 %, capturó la historia detrás de cada gota de combustible consumido. Sin embargo, el combustible por sí solo no era suficiente. Al combinar esto con la telemática detallada del vehículo (que registraba las asignaciones del operador, la carga útil, los tiempos de ciclo y las distancias), crearon un entramado de datos completo y fiable. No se trataba únicamente de datos; era la base de un modelo capaz de comprender a fondo los matices del consumo de combustible de los operadores de camiones de transporte.

SmartRView

- Consumo de combustible (medidores de caudal de combustible)
- Distancia con carga y descarga.
- Desplazamiento vertical con y sin carga.
- Horas de motor en carga y descarga
- Carga útil
- Equipo
- Año y mes
- Operador
- Temperatura
- Precipitación total en 12 horas



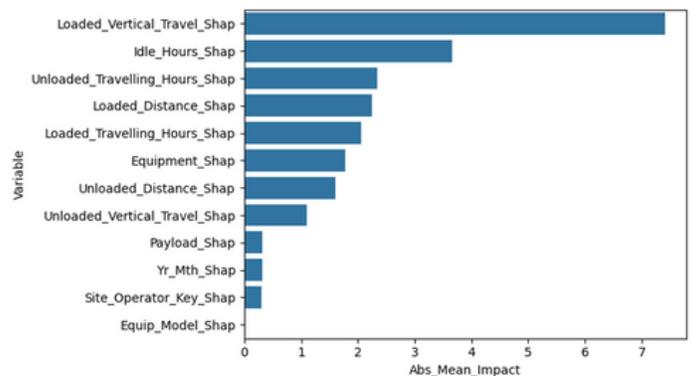
Modelización de la eficiencia del operador

Imaginar la predicción del consumo de combustible de un camión de transporte, donde cada ciclo presenta variaciones: diferentes cargas útiles, perfiles de transporte, condiciones meteorológicas, entre otros. Los promedios convencionales resultan insuficientes. Por esta razón, Cascadia Scientific desarrolla un modelo de aprendizaje automático que emplea árboles potenciados por gradiente, una técnica que integra múltiples decisiones simples en una predicción efectiva.

Sin embargo, las predicciones por sí solas no son suficientes. Es fundamental comprender el por qué. Aquí es donde los valores SHAP adquieren relevancia. Derivados de la teoría de juegos, los valores SHAP muestran la contribución de cada factor (como la carga útil, la distancia, el tiempo de inactividad o el clima) al consumo de combustible en cada ciclo. Al analizar todas estas variables, se puede aislar el impacto singular del operador en el consumo de combustible.

Esto implica que, independientemente del camión o del turno, Cascadia Scientific puede evaluar y comparar de manera equitativa cómo el impacto de cada conductor influye en la eficiencia del combustible.

Impacto de las variables del ciclo de transporte en el consumo de combustible.



FORMACIÓN ESPECIALIZADA PARA OPERADORES

Desarrollo de hábitos de ahorro de combustible mediante la formación en Immersive Technologies.

Incluso los hábitos aparentemente insignificantes de los operadores, en particular los menos eficientes, pueden consumir combustible de manera discreta y aumentar los costos. Los modelos de Cascadia identifican a los operadores que requieren apoyo, comenzando con capacitación y posteriormente integrándolos al programa de simulación de Immersive Technologies. En este entorno seguro y realista, se redefinieron los hábitos mediante retroalimentación en tiempo real, transformando la práctica en beneficios medibles en el campo.

Metodología de capacitación de operadores:



SIMULADORES DE DISPOSITIVOS AVANZADOS

Los simuladores de Immersive Technologies generan entornos de entrenamiento minero altamente realistas para la operación de equipos. Esto permite a los operadores practicar y perfeccionar técnicas de operación eficientes en el uso de combustible, sin el riesgo de dañar los equipos ni ocasionar retrasos en la producción.



DESARROLLO DE COMPETENCIAS Y TRANSFORMACIÓN DE CONDUCTAS

La formación se enfoca en comportamientos específicos que generan el desperdicio de combustible, tales como el exceso de revoluciones por minuto del motor, el uso adecuado de los frenos, el control de la velocidad y la selección correcta de la marcha. Al practicar estas habilidades en un simulador con retroalimentación e indicaciones en tiempo real, los operadores aprenden a operar de manera más eficiente en la mina.



REDUCCIÓN DE RIESGOS Y GASTOS

La formación en simuladores elimina la necesidad de tiempo improductivo en las máquinas y disminuye el riesgo de daños en las mismas, lo que resulta en menos demoras y menores costos generales de las operaciones.



PERSPECTIVAS FUNDAMENTADAS EN DATOS

La plataforma de simulación recopila datos de evaluación y todos los puntajes pueden ser comunicados de manera segura a la gerencia y a los capacitadores, lo que les permite supervisar el progreso de la fuerza laboral e identificar áreas para mejoras adicionales en el rendimiento.



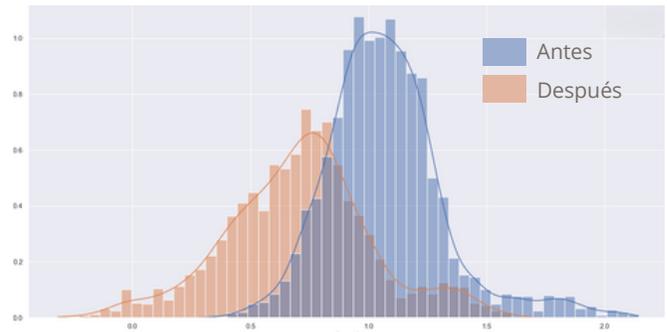
LOS RESULTADOS

De peor a mejor: cómo todos los empleados de bajo rendimiento lograron mejorar.

En este sitio, la historia se inicia con los operadores que enfrentaron mayores dificultades. Veintiún conductores, ya con cartas de advertencia y formación personalizada, recibieron capacitación utilizando el simulador de Immersive Technologies. Todos mostraron mejoras. En promedio, redujeron su consumo de combustible en un 11,45 % en comparación con su estilo de conducción anterior. Un cambio significativo.

En todos los ciclos de transporte, los camiones modelados promediaron 39,43 galones por hora. La diferencia entre los operadores más eficientes y los menos eficientes fue de 3,37 galones, lo que representa el 8,5 % del consumo total. La capacitación mediante simuladores no eliminó esta discrepancia, pero comenzó a reducirla. Los operadores capacitados consumieron 0,386 galones menos por hora, lo que disminuyó el impacto del operador del 8,5 % al 7,5 %, lo que equivale a un incremento del 1 % en la eficiencia general de la flota. Cifras pequeñas, sí, pero en minería, incluso las mínimas mejoras en eficiencia se acumulan rápidamente.

Distribución del rendimiento del operador antes y después de la capacitación.



Programa de eficiencia energética para operadores

802 OPERADORES EN TOTAL MODELADOS.

IDENTIFICAR A LOS OPERADORES DE BAJO RENDIMIENTO

128 operadores (16%) presentaron un rendimiento inferior a una desviación estándar por debajo de la media, lo que dio lugar al inicio del programa de entrenamiento progresivo.

PLAN DE ENTRENAMIENTO GRADUAL

128 operadores recibieron una carta; algunos mantuvieron reuniones individuales con sus gerentes. Aquellos que no mostraron mejoras recibieron capacitación inmersiva. 21 operadores (aproximadamente el 2,6 % de la plantilla) finalizaron la capacitación con simulador.

EVALUAR EL IMPACTO DE LA EFICIENCIA DEL COMBUSTIBLE EN EL SECTOR.

Tras la capacitación, los operadores lograron reducir el consumo de combustible en 0,386 galones por hora, lo que representa una mejora del 11,85 % respecto a su propia línea base y un incremento de casi el 1 % en el consumo total de la flota.



CONCLUSIONES

En el ámbito de la minería, el operador al volante impacta de manera sutil en la economía de una operación. Este estudio evidenció que la integración de la información del operador, fundamentada en datos de Cascadia Scientific, junto con la formación en simuladores de Immersive Technologies, puede resultar en ahorros de combustible tangibles y cuantificables.

Es fundamental reconocer el alcance del estudio. Solo el 2,6 % de la plantilla operativa (los de menor rendimiento) fue monitoreada a través de este programa. Ampliar este enfoque a un mayor número de operadores podría resultar en ahorros significativamente mayores. Además, la combinación de camiones mecánicos y eléctricos añade complejidad; los camiones con tracción mecánica podrían evidenciar efectos aún más pronunciados en el operador.

La colaboración entre Cascadia Scientific e Immersive Technologies proporciona a las minas una solución integral: identificar con precisión a los operadores de bajo rendimiento, ofrecer capacitación específica y evaluar los resultados en el campo. Esto trasciende un simple programa piloto; es un modelo que demuestra cómo las operaciones mineras pueden transformar los hábitos sutiles de los operadores en significativos ahorros de costos y mejoras en sostenibilidad.

La cuestión ahora no es si la formación de los operadores es efectiva, sino cómo integrarla, combinando información continua con actualizaciones específicas para que el rendimiento se transforme en una ventaja sostenida en lugar de una victoria efímera.

RESULTADOS CONSISTENTES: LOS 21 OPERADORES CAPACITADOS INCREMENTARON SU EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

BENEFICIO ESPECÍFICO PARA EL OPERADOR: INCREMENTO DEL 11,85 % EN LA EFICIENCIA DEL COMBUSTIBLE PARA EL OPERADOR CAPACITADO.

IMPACTO EN LA FLOTA DE TRANSPORTE: LA FORMACIÓN DE CASCADIA SCIENTIFIC & IMMERSIVE TECHNOLOGIES RESULTÓ EN UNA MEJORA DEL 1 % EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE TODA LA FLOTA.





Agradecimientos:

Agradecemos sinceramente a los operadores dedicados y al equipo directivo de la operación en cuestión por su cooperación y compromiso a lo largo de este programa. Su disposición hacia la innovación y la mejora continua hizo posible este estudio. Agradecemos especialmente a los equipos técnicos de Cascadia Scientific e Immersive Technologies por su experiencia y colaboración en el desarrollo e implementación de la solución de capacitación integrada.

También reconocemos a los equipos de ciencia de datos y análisis, cuyo meticuloso trabajo aseguró la precisión y fiabilidad de las mediciones de rendimiento. Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento por el apoyo de la dirección de la mina en la promoción de esta iniciativa y en la creación de una cultura que valora tanto la seguridad como la eficiencia.

