

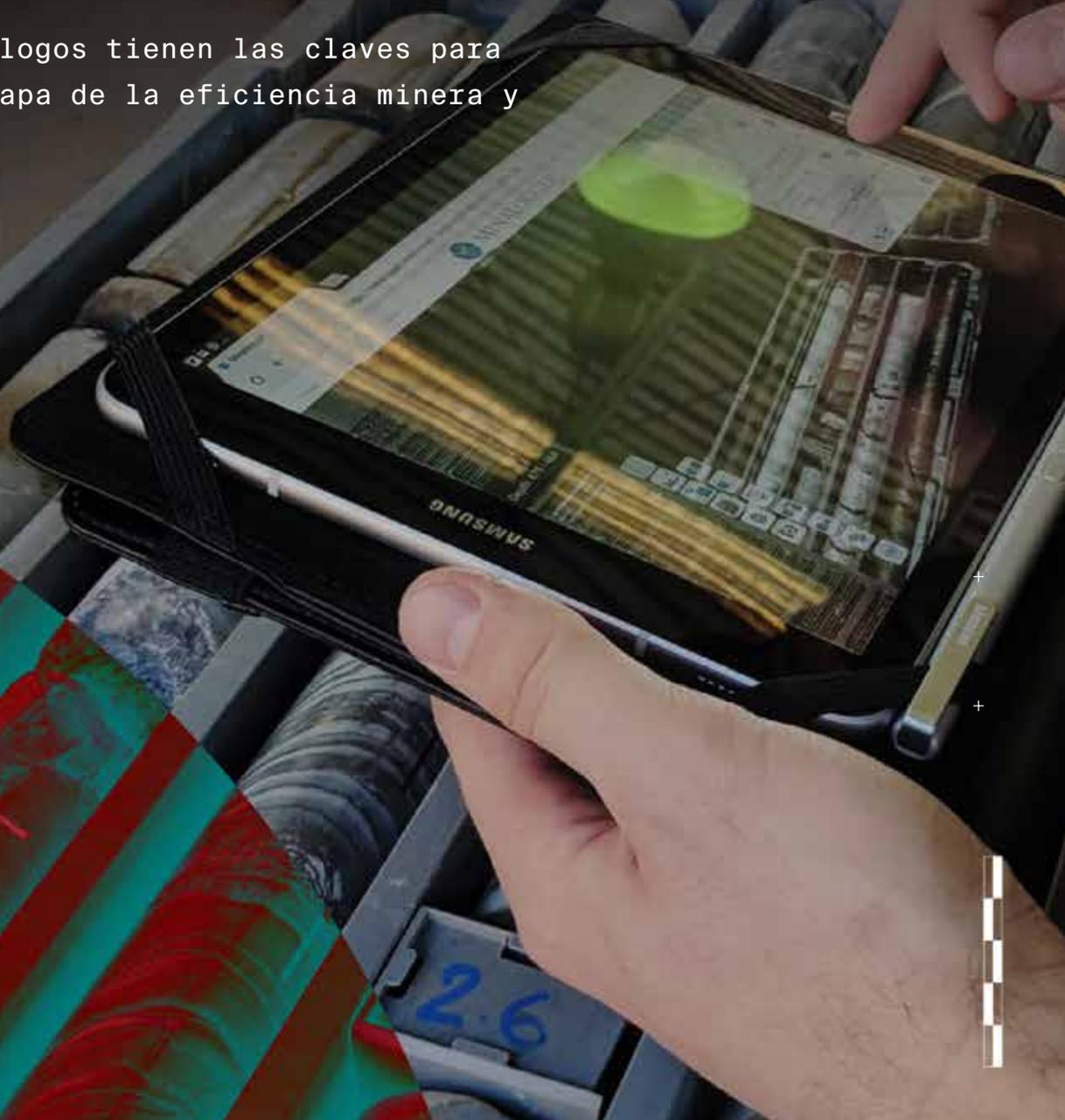


# Ciencia de yacimientos mineral de próxima generación

Por qué los geólogos tienen las claves para  
la siguiente etapa de la eficiencia minera y  
gestión social

+

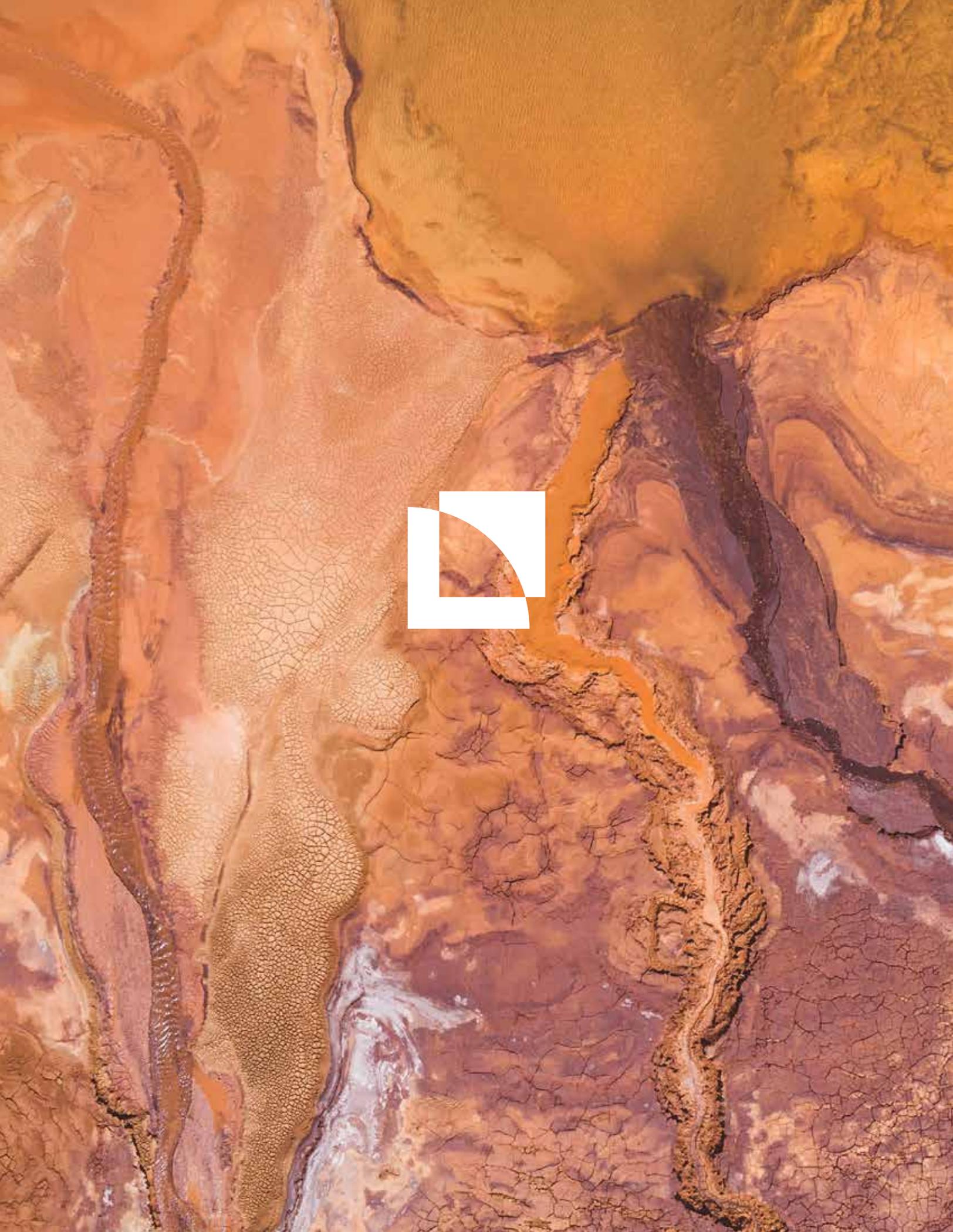
+



+

+





# Tabla de Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO .....	4
<b>PARTE 1: CONTEXTO</b>	
La transición energética está impulsando la demanda .....	6
El impulso para mejorar la toma de decisiones .....	7
El impacto de la IA .....	7
El dilema del desarrollo .....	8
<b>PARTE 2: EL DESAFIO</b>	
El desafío de la presentación de informes legales .....	10
El desafío de la mentalidad .....	10
El desafío de la coherencia .....	11
El desafío de las habilidades .....	11
<b>PARTE 3: LA OPORTUNIDAD</b>	
La tecnología y la mina del futuro .....	13
El rol de la ciencia de yacimiento mineral en el diseño de minas .....	16
Las ciencia de yacimientos minerales Greenfield vs Brownfield .....	17
El rol del escaneo de testigos en la definición de recursos y el diseño de minas del futuro .....	19
<b>PARTE 4: LA SOLUCIÓN</b>	
Mejoras radicales en el logueo con condiciones homogéneas .....	21
Procesos .....	21
Fotografía legible por máquina .....	22
Escaneo de testigos y logueo automatizado .....	23
El crecimiento de la geofísica digital y mediciones pozo abajo .....	26
Impactos ASG de OBK avanzado .....	27
<b>PARTE 5: CIENCIA DE YACIMIENTOS DE OTRO NIVEL, HOY</b>	
De la caracterización de recursos a las ciencias de yacimientos .....	30
Los datos para la IA no son lo mismo que los datos para los humanos .....	30
Cambio de mentalidad necesario para hacer avanzar la industria .....	31
Realineación de flujos de trabajo .....	31
Por qué los geólogos tienen las claves para la siguiente etapa de la eficiencia minera .....	32
Adaptarse al cambio .....	33
Navegando por el panorama regulatorio .....	33
Descubriendo los beneficios .....	34



# Resumen ejecutivo

La industria minera está atravesando una transformación significativa, impulsada por la necesidad de satisfacer la creciente demanda mundial de metales y estándares ambientales y sociales más altos. Para abordar estos desafíos, la industria debe cambiar su enfoque para la recopilación, el procesamiento y la utilización de datos geológicos. Un elemento crucial de esta transformación es la adopción de tecnologías automatizadas de escaneo de testigos como Scan by Veracio. Estas tecnologías ofrecen oportunidades para optimizar la recopilación de datos, mejorar la calidad de los datos y respaldar el análisis avanzado.

Tradicionalmente, la industria minera ha seguido prácticas establecidas guiadas por códigos como el JORC, siglas en inglés de Joint Ore Reserves Committee (Comité Conjunto de Reservas Minerales). Sin embargo, estas prácticas enfrentan resistencia al cambio, un desafío de mentalidad, inconsistencia en la recopilación de datos y una escasez de profesionales capacitados. Muchos se resisten a las nuevas tecnologías, creyendo erróneamente que no cumplen con los códigos existentes.

El escaneo automatizado de testigos proporciona una solución a estos desafíos. Simplifica y acelera la recopilación de datos geológicos, ofreciendo datos granulares, precisos, consistentes y casi en tiempo real. Esto agiliza el proceso, reduce costos y minimiza errores y sesgos en comparación con los métodos tradicionales. El escaneo automatizado de testigos también elimina la subjetividad del logueo geológico y ofrece un logueo permanente del testigo fresco a través de fotografías de testigos de alta resolución.

Además, estas tecnologías facilitan la recopilación de un conjunto de datos completo sobre la misma base, eliminando problemas relacionados con la fusión de datos y la pérdida de resolución. Este enriquece el conjunto de datos y conlleva a análisis avanzados, incluido el aprendizaje automático y las aplicaciones de inteligencia artificial. Se alinea con los requisitos de la "Mina del futuro", donde los avances tecnológicos exigen un conocimiento más detallado de la ciencia del yacimiento en cada etapa de la cadena de valor minera.

En el diseño de minas modernas, es esencial lograr una representación digital más rica y realista del yacimiento. Los modelos tradicionales a menudo agrupan los datos en grandes bloques, lo que limita su capacidad para informar la toma de decisiones. Tanto los proyectos mineros Greenfield como los Brownfield requieren un conocimiento preciso de la ciencia de yacimiento mineral. Los desarrollos Greenfield, en particular, se basan únicamente en datos básicos e interpretaciones geológicas, lo que hace que la comprensión precisa del yacimiento sea crucial para asegurar inversiones sustanciales.

El escaneo de testigos automatizado, representado por tecnología como Scan by Veracio, ofrece una solución innovadora para satisfacer la creciente necesidad de la industria de datos geológicos completos, consistentes y granulares. Mejora la exactitud y la precisión en el análisis químico mediante la eliminación del muestreo y la preparación de muestras (la mayor fuente de error) y mediante procedimientos automatizados de control de calidad (control de calidad en tiempo real, al tiempo que mejora el logueo geológico a través de medidas objetivas. Además, el escaneo automatizado de testigos proporciona fotografías de testigos de alta resolución y contribuye a un logueo estructural más completo.

En conclusión, la adopción del escaneo automatizado de testigos representa un paso vital hacia el logro de los objetivos de eficiencia, sostenibilidad y desarrollo responsable de recursos de la industria minera en el panorama en rápida evolución de la Mina del Futuro. Estas tecnologías permiten a los profesionales de la minería comprender mejor los yacimientos, tomar decisiones más informadas, optimizar procesos y satisfacer las crecientes expectativas de los inversionistas ambientales y sociales.





# El contexto

Minería del futuro / Cambio radical de datos / Legibilidad mecánica / Listo para la IA

La operación minera moderna está limitada por dos objetos inamovibles (y a menudo opuestos); las limitaciones económicas para hacer rentable el metal y las expectativas ambientales, sociales y de gobernanza (ESG en inglés) de todos los inversionistas. La complejidad y el esfuerzo necesarios para evaluar nuevas minas potenciales (o la ampliación de una mina existente) nunca han sido superiores.

Los yacimientos disponibles para suministrar los minerales necesarios para sustentar una sociedad floreciente se están volviendo más profundos, más complejos y de menor ley, lo que requiere métodos nuevos y novedosos de extracción y procesamiento. Para planificar y operar estos métodos de extracción y procesamiento, se requiere información significativamente mejorada y diferente sobre el yacimiento.

El enfoque tradicional para el conocimiento de la ciencia de yacimiento mineral (recopilación de datos y modelado) está demostrando ser irremediablemente inadecuado para la mina moderna.



## La transición energética está impulsando la demanda

Nuestra transición energética exige más cobre, níquel y cobalto, mientras que nuestras economías emergentes exigen más acero, y el mundo científicamente complejo que nos rodea exige más minerales críticos y elementos raros, en cantidades cada vez mayores.

Para satisfacer esta demanda con éxito, las empresas mineras están innovando, a través de sus operaciones existentes y en nuevos proyectos. Están seleccionando entre una variedad de nuevos métodos y equipos de extracción y procesamiento. También están evaluando la escala adecuada de minería, el mejor diseño, métodos y equipos para apoyar el desarrollo. La mayor atención prestada a tecnologías como la clasificación de minerales y la lixiviación (tanto química como biológica) está permitiendo que se extienda la vida útil de las minas y se estén desbloqueando depósitos varados mediante la adopción de tecnologías nuevas y novedosas.

+

+

## El impulso para mejorar la toma de decisiones

La infinita cantidad de decisiones interrelacionadas y compensaciones que se requieren para desarrollar una mina se ven fundamentalmente impactadas por el conocimiento que tenemos sobre el yacimiento y se basan en él. Si bien el enfoque tradicional de centrarse en ofrecer el mejor promedio imparcial del metal económico primario ha sido adecuado en el pasado, una mina moderna necesita basarse en muchas más ciencias de yacimientos minerales que el promedio. Para informar las decisiones complejas requeridas desde la exploración hasta el desarrollo y las operaciones se requiere un cambio significativo en la caracterización de recursos y la ciencia de yacimiento mineral es respecto de lo que se ha utilizado tradicionalmente. Esto, a su vez, requiere un aumento en la cantidad de datos sobre el yacimiento, su resolución y granularidad, así como una gama mucho más amplia de mediciones de las propiedades tanto del mineral como del residuo.

Además del principal mineral o metal económico, hoy es necesario maximizar la producción de coproductos y subproductos. También debemos tratar los residuos de manera que cumplan con las expectativas de la sociedad en torno al uso y el impacto de la tierra, la energía y el agua.

Se necesitan nuevos métodos de adquisición de datos, mediciones y análisis de datos novedosos para inferir atributos adicionales para informar la interpretación del yacimiento. Estos conjuntos de datos de alta resolución son necesarios para permitir la creación de modelos de yacimientos como una imagen 3D de alta fidelidad y múltiples atributos que caracterice y describa el yacimiento de una manera que respete los datos, su variabilidad espacial y heterogeneidad en la escala necesaria para la liberación de minerales valiosos. También deben tener en cuenta la incertidumbre en las predicciones. La atención debe centrarse en predecir la recuperación después de la extracción y el procesamiento, no simplemente en lo que hay en el suelo.

## El impacto de la IA

La industria minera utiliza cada vez más la inteligencia artificial y el aprendizaje automático para ampliar la interpretación y sacar más provecho de los datos disponibles. La nueva adquisición de datos geocientíficos debe estar "preparada para la IA", y esto requiere que los datos se capturen de manera diferente a como se ha hecho hasta ahora. Para que los datos estén "preparados para la IA", deben recopilarse de manera consistente y sobre la misma base, de modo que los atributos puedan combinarse sin pérdida de resolución. Ya no basta con que los datos tengan una exactitud y precisión conocidas, deben estar libres de errores y validados.



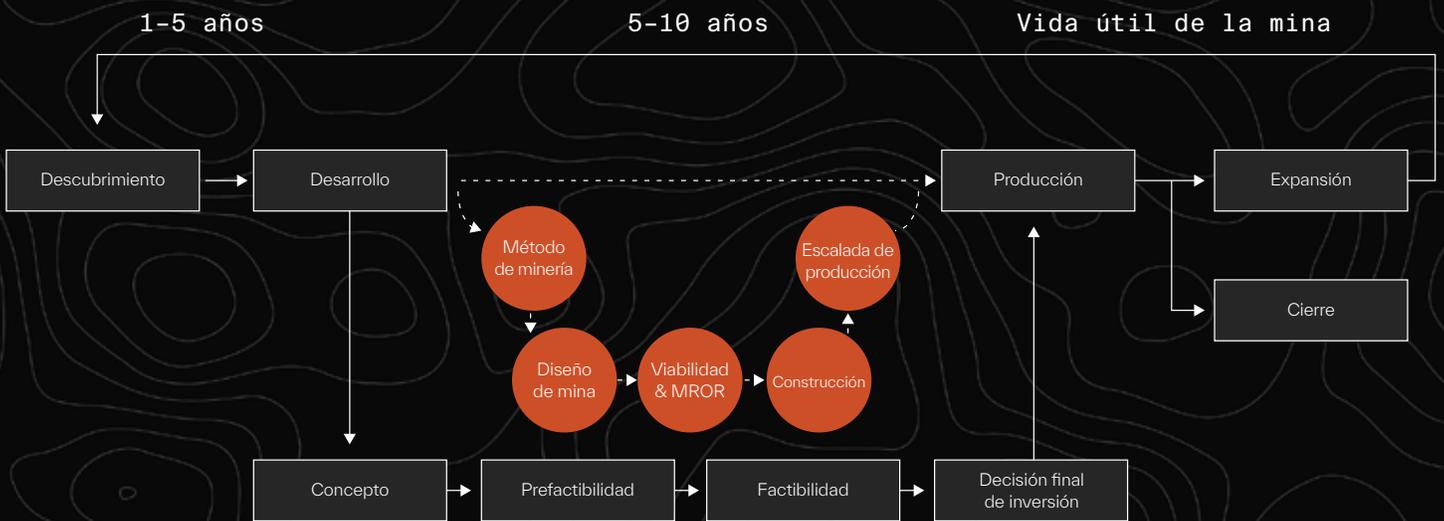
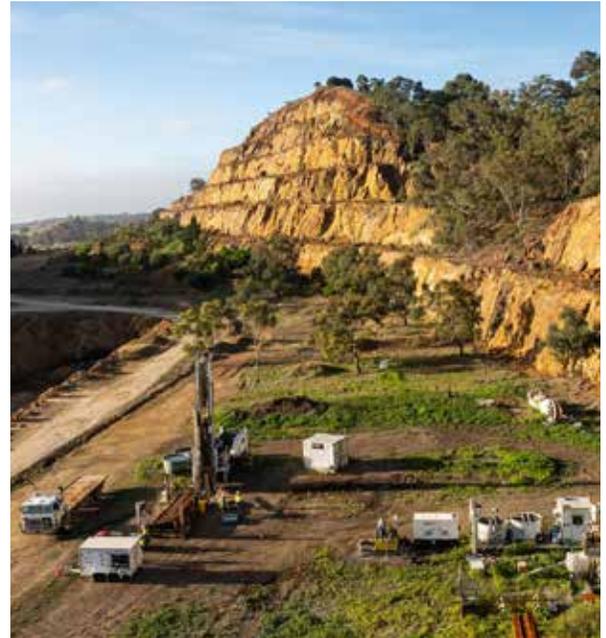


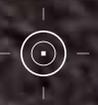
# El dilema del desarrollo

Las nuevas minas pueden tardar años, si no décadas, en alcanzar la producción. Nuestra necesidad de minerales críticos es más urgente que eso.

La evaluación y el desarrollo de nuevas ciencias de yacimientos minerales requiere mucho tiempo y muchas de las tareas son de naturaleza serial. El enfoque tradicional de muestreo y análisis de laboratorio es conocido por retrasar los proyectos. Es común esperar meses para recibir datos de ensayos de laboratorios los cuales están agobiados. Cuando llegan los datos, el equipo de perforación ya ha avanzado y se ha perdido la conexión lógica que establece el geólogo entre los datos del ensayo y el logueo.

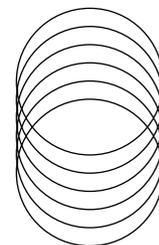
La recopilación de datos digitales completos mientras el equipo de perforación está en el sitio permite tomar decisiones casi en tiempo real - optimizando la finalización del pozo y la orientación de pozos futuros. El escaneo de testigos en terreno con tecnología Scan by Veracio mejora radicalmente la captura de datos al proporcionar información el mismo día sobre la roca que se encuentra en la broca. Puede proporcionar datos de ensayo y de logueo, junto con un amplio conjunto de atributos adicionales. Los cronogramas de desarrollo están comprimidos, lo que permite realizar tareas de evaluación y planificación de forma paralela e iterativa.





# El desafío

Cambio de proceso / mentalidad / informes



## El desafío de la presentación de informes legales

La industria minera enfrenta un desafío continuo para garantizar que los informes legales de datos geológicos se alineen con los estándares y prácticas contemporáneos. Históricamente, la industria ha estado marcada por períodos de presentación de informes insuficientes, especialmente durante los periodos del mercado de alto perfil de la década de 1960. Estos casos subrayaron la necesidad de un marco sólido para la presentación de informes que infundiera confianza en las partes interesadas y en el mercado en general.

En respuesta a esta necesidad, la industria ha implementado códigos de informes integrales, bajo la guía de CRIRSCO, para estandarizar la divulgación de resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mineral. Estos códigos se sustentan en principios de competencia, transparencia y materialidad. Están diseñados intencionalmente para no ser prescriptivos, proporcionando la flexibilidad necesaria para adoptar diversos métodos de recopilación, análisis y modelado de datos que los profesionales competentes consideren necesarios para abordar los aspectos materiales del yacimiento y su potencial de extracción económica. Si bien los códigos no son prescriptivos, los profesionales han desarrollado "normas" históricas de práctica sobre cómo se han recopilado, analizado y modelado los datos. Estas "normas" ya están obsoletas. Las necesidades de la industria y sus partes interesadas exigen que se desarrollen nuevos métodos de adquisición y análisis que proporcionen un cambio significativo en la calidad, cantidad y variedad de datos que ahora se pueden recopilar, analizar y modelar. Sin embargo, estas "normas" han llevado inadvertidamente a una forma de inercia entre algunas industrias profesionales que continúan dependiendo de procesos tradicionales y existe una idea errónea desde que el cumplimiento de estas "normas" es obligatorio por los

códigos de informes. Esta idea errónea ha tenido el efecto de mantener el status quo en un momento en el que la industria necesita desesperadamente mejorar el conocimiento de la ciencia de yacimiento mineral que sustenta el complejo desarrollo de recursos que enfrenta la industria. Los métodos innovadores que mejoran la calidad y la eficiencia de los datos se están descartando de manera prematura y erróneamente como "no conforme". Esta resistencia al cambio es una barrera importante para el progreso. Muchos de estos métodos innovadores para la recopilación, el análisis y la modelización de datos no sólo son compatibles con la intención de los códigos de presentación de informes, sino que a menudo ofrecen mejoras con respecto a los métodos tradicionales.

## El desafío de la mentalidad

El desafío radica en adoptar estas nuevas metodologías, lo que requiere un cambio en la mentalidad de los profesionales de la industria. Si se adoptan, estos nuevos métodos pueden conducir a mejores resultados, como mayor exactitud y precisión, menos errores, datos más completos y procesos más rápidos, lo que en última instancia respalda el objetivo de la industria de garantizar que los informes cubran de manera competente todos los aspectos materiales del yacimiento de manera eficiente y transparente.

Si queremos satisfacer las demandas de metales de la sociedad, será necesaria la adopción de nuevos métodos de adquisición de datos geológicos, y esto requerirá un cambio en la forma de trabajar de los profesionales. Los profesionales a menudo se ven amenazados por la nueva tecnología, y algunos creen que sus puestos de trabajo pueden estar en riesgo o que su experiencia se ha devaluado. Sin embargo, existe una forma alternativa de ver estas tecnologías, como una oportunidad para explorar formas nuevas y emocionantes de hacer cosas que nunca han sido posibles, lo que lleva al modelado de yacimientos a un nivel de detalle que antes no se podía lograr y a decisiones de planificación clave mejor informadas.

Estamos en la cúspide de una nueva generación de conocimiento sobre la ciencia de yacimiento mineral; El desafío recae en los profesionales de la industria para adoptar e implementar estas nuevas herramientas y métodos para lograr el máximo impacto para la industria.

*"Existe un vínculo común entre todos en Veracio: realmente creemos que estamos cambiando la exploración y minería de minerales con sensores digitales e inteligencia artificial."*

– Mike Ravella, Director de innovación

# El desafío de la coherencia

Para una operación  
minera, hasta el

# 70%

de los recursos humanos  
geológicos se consumen en la  
recopilación de datos – más aún  
para proyectos de desarrollo.

La recopilación de datos completos y precisos para informar nuestro conocimiento de un yacimiento requiere mucho tiempo y un alto nivel de habilidad y perseverancia. La recopilación de datos geológicos por parte de los geólogos siempre ha sido subjetiva. Para proyectos grandes o de larga duración, donde participan varias personas, incluso con capacitación y controles, la coherencia y la subjetividad siempre han sido un problema. Para una operación minera, hasta el 70% de los recursos humanos geológicos se consumen en la recopilación de datos, incluso más para proyectos de desarrollo. Esta es una gran inversión para que muchos de esos datos sean propensos a errores, subjetivos y luego ignorados en el modelado del yacimiento. Es común que muchos de los logueos o atributos recopilados no se incorporen al modelo del yacimiento porque son inexactos o incompatibles con otros datos modelados o simplemente demasiado difíciles de modelar. Si estos datos no se incorporan al modelo geológico, no servirán de base para las decisiones de planificación y desarrollo de la mina.

Dado que se dedica tanto tiempo a recopilar datos, los geólogos a menudo tienen tiempo limitado para analizar el conjunto completo de datos. Rara vez pueden utilizar toda la naturaleza multivariada del conjunto de datos. Recopilar datos geológicos de alto nivel es un desafío técnico; sin embargo, a menudo asignamos esta tarea a nuestro personal más inexperto y, debido a otras presiones laborales, a menudo no están bien capacitados ni supervisados. Esto da como resultado una mala calidad de los datos que se recopilan; sin embargo, estos son los datos que sustentan la principal decisión de inversión para el desarrollo de una mina.

## El desafío de las habilidades

La industria minera está experimentando un importante desafío en materia de habilidades. Menos estudiantes se gradúan con títulos relacionados con la minería; la demografía de la industria tiene una gran cohorte de profesionales técnicos en edad de jubilación y que salen de la industria. Las tasas de vacantes son altas, el tiempo para cubrir puestos se ha agotado y la rotación ha aumentado. La mayoría de las operaciones tienen dificultades para conseguir suficiente personal para llevar a cabo las tareas básicas. Si un geólogo se queda logueando testigos durante demasiado tiempo, invariablemente lo abandona para buscar un trabajo más interesante. Esta alta rotación entre el personal geológico afecta aún más la coherencia de la recopilación de datos. Al tener equipos de geólogos trabajando en turnos prolongados en lugares remotos, a menudo en condiciones extremas, ya no es posible realizar laboriosamente logeo y muestreos de testigos. Los nuevos graduados se resisten a los puestos remotos y quieren más desafíos en sus trabajos que simplemente recopilar datos.

La adopción de tecnología de captura de datos automatizada puede reducir drásticamente el personal necesario para recopilar datos y, al mismo tiempo, aumentar los atributos de los datos, su resolución, su coherencia y su exactitud y precisión. Esto significa que los valiosos recursos humanos geológicos se pueden aplicar para interpretar los datos y construir modelos de alta fidelidad para informar mejor el diseño, desarrollo y operación de minas y procesos.

El escaneo digital y el logeo de asistencia hacen que el trabajo geológico sea fundamentalmente más interesante para los geocientíficos en todos los niveles de experiencia. Esto creará un impacto positivo en la atracción y retención de personal geológico clave en un momento en que la contratación es difícil y costosa.

Ahora contamos con la tecnología a través del escaneo automatizado de testigos (Scan by Veracio) para recopilar una amplia gama de datos geológicos completos, coherentes, objetivos, exactos, precisos y altamente granulares de manera controlada y repetible bajo la supervisión de un técnico de campo. Esto tiene el potencial de contribuir a la escasez de habilidades. En lugar de que muchos geólogos dediquen mayor tiempo a recopilar datos, los datos se presentan al geólogo de recursos experimentado como un documento múltiple de alta calidad, lo que les permite realizar controles automáticos de calidad y control de calidad de los datos (QA/QC), debido a su base coherente, y pasar directamente a las tareas más interesantes y valiosas de análisis, interpretación y modelado. La calidad y control de calidad se beneficia tanto de la naturaleza integral de los datos como del hecho de que los datos se presentan sobre la misma base.

El uso de esta tecnología elimina el logeo manual subjetivo de testigos, el muestreo manual propenso a errores y los pasos de preparación de muestras. La estimación subjetiva de la abundancia de minerales, de parte del geólogo se reemplaza por una medición real de la abundancia de cada mineral y luego se verifica o valida mediante la química de la roca. Ya no se necesitan múltiples pasadas de logeo para medidas litológicas, estructurales y geotécnicas, ya que todos estos datos se adquieren automáticamente en una sola pasada a través del escáner, bajo la supervisión de un técnico de campo. Esto reduce enormemente el trabajo necesario para llegar a un resultado muy superior.



# Una perspectiva estratégica

---

Para comprender la oportunidad de ciencias de yacimientos a lo largo de la cadena de valor minera, entrevistamos a Gavin Yeates, futurista de la industria, director de la junta y ex vicepresidente de Optimización de Minas de BHP.



Gavin es un gerente establecido de la industria minera y líder de ideas en estrategia y tecnología. Apasionado por ayudar a las organizaciones a aprovechar la tecnología en sus negocios, la carrera de Gavin cuenta con un historial en la implementación de estrategias (desde el inicio hasta la implementación) para generar cambios profundos en las organizaciones.



PARTE 3:

# La oportunidad

Muestreo / Automatización / Digitalización / Diseño

## La tecnología y la mina del futuro

Actualmente se están implementando avances tecnológicos en la minería que están cambiando la forma en que desarrollamos y operamos las minas, tanto en la extracción como en el procesamiento. La Mina del Futuro se está convirtiendo rápidamente en una realidad. Estos avances requieren nuevos y más conocimiento detallado sobre el yacimiento tanto en la fase de planificación del proyecto para estimar el impacto de estos nuevos enfoques como en las operaciones para controlar la alimentación de mineral a estos nuevos procesos. La aplicación de nuevas tecnologías se aplica a casi todos los pasos de la cadena de valor minera, y cada paso de la cadena de valor se ve afectado por algún aspecto del yacimiento.





## Extracción en minas modernas

**Comenzando con la perforación y la tronadura, donde ahora podemos aumentar la fragmentación y controlar la rotura según la dureza y patrones de fractura de la roca, utilizando la detonación electrónica y explosivos de densidad variable junto con nuevas herramientas de simulación que están calibradas con fragmentación y herramientas de medición del movimiento.** Estas nuevas herramientas de tronadura exigen una comprensión mucho mayor de la litología y estructuras como fracturas y debilidades. Estas tecnologías de perforación y tronadura también están impactando la fragmentación alcanzable, así como la dilución y recuperación de mineral, que ahora son función de la cantidad de ciencias de yacimientos minerales aportado al proceso al inicio. La fragmentación que es óptima para la trituración también optimiza la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> al tiempo que minimiza la generación de finos y ultrafinos, lo que a su vez ayuda con el uso del agua. La necesidad empresarial en esta área está creciendo.

El proceso de carga y transporte ahora se ve afectado por líneas de excavación virtuales a través de pantallas frontales y tecnologías de escaneo facial que brindan al operador información sobre el yacimiento que está excavando mientras lo excava. A medida que el material se carga en los camiones, se etiqueta con su calificación prevista (del modelo del yacimiento y del modelo de control), así como sensores y mediciones adicionales tomadas por la retroexcavadora o incluso en el camión. Luego se rastrea hasta su destino, donde se almacena o comienza los pasos de procesamiento en la trituradora. El beneficio de esta tecnología es una mejor recuperación del mineral y una menor dilución proveniente de la capacidad de seguir límites geológicos y de grado complejos dentro de una mesa de trabajo sin control visual. Estas nuevas tecnologías mineras requieren una comprensión geológica mucho más detallada (a escala de mesa de trabajo) para que alcancen su máximo potencial en la reducción de la pérdida y dilución del mineral, maximizando así el grado de la alimentación y la recuperación del recurso.

El control de ley avanza la geoquímica y mineralogía en tiempo real que se vuelven cada vez más accesibles.

### **LAS MINAS DE PRODUCCIÓN NECESITAN:**

Geoquímica y mineralogía en tiempo real para respaldar su búsqueda de control de ley.



## Clasificación de minerales

**Muchos proyectos nuevos y operaciones existentes están considerando y evaluando el uso de preconcentración (clasificación de minerales) para reducir la intensidad de capital y aumentar la cantidad de mineral valioso.**

La clasificación de minerales es el rechazo de desechos, ya sea mediante su comportamiento natural (tamaño) o mediante el uso de sensores que detectan las propiedades del material en una cinta antes de un medio de clasificación: un desviador. Los sensores que se utilizan normalmente incluyen XRF, XRT, PGNA, PFTNA, resonancia magnética u sensores ópticos. La preconcentración ahora se implementa con éxito en una variedad de productos básicos y entornos geológicos y está teniendo un impacto fundamental en la economía de los proyectos en los que se ha implementado. Sin embargo, existe una deficiencia significativa en nuestra capacidad para predecir el impacto de un paso previo a la concentración en la fase de proyecto o planificación. Se requiere que se estime la tasa de rechazo junto con el comportamiento de ley. La ley y la proporción del material "aceptado" debe estimarse como parte de cualquier evaluación de recursos y estimación de reservas de mineral.

Para hacer esto de una manera que cumpla con los códigos JORC o SAMREC para el informe de reservas de mineral se requieren medidas de heterogeneidad del yacimiento en una escala relevante a la escala en la que se producirá la clasificación. El modelado tradicional de yacimientos suaviza severamente (promedia) las leyes en bloques grandes que no pueden informar la estimación de heterogeneidad. Se requieren nuevos métodos para tomar mediciones detalladas (a la escala de clasificación) de la roca utilizando una tecnología similar o análoga a la que se utilizará en el sensor utilizado para la clasificación, para informar estas estimaciones. Los enfoques tradicionales de utilizar promedios globales o basarse en un puñado de pruebas a escala de laboratorio son inadecuado para la predicción de estos insumos económicos cruciales que se sabe que varían espacialmente. Es necesario preparar estimaciones que provean la proporción del material que será rechazado y por lo tanto la proporción aceptada junto con el comportamiento de ley previsto. Esta estimación deberá ser específica de la unidad geológica, además de la mineralogía, así como de la escala a la que se aplica la clasificación y deberá basarse en datos recopilados que coincidan específicamente con estos requisitos.

### **NECESIDADES DEL PROYECTO:**

Entender el comportamiento y la mineralogía de los metales a escala de sub-bloque para informar la unidad minera selectiva, los insumos de capital y el impacto en los desechos, el agua y los relaves.



## Procesamiento progresivo de minerales

La conminución pasa por trituradoras de mandíbulas y giratorias a trituradoras de rodillos y luego a grandes molinos SAG y de bolas a molinos de rodillos verticales con el objetivo de reducir la energía necesaria para romper la roca y lograr la liberación del valioso mineral, minimizando al mismo tiempo los finos y ultrafinos que consumen agua y requieren presas de relaves para almacenarlos. Está claro que el motor de estas técnicas es la energía y las emisiones, junto con la recuperación de agua y la necesidad de secar los residuos. Para evaluar la efectividad de estas técnicas, es fundamental obtener información nueva y diferente sobre el yacimiento a la escala de conminución y liberación. La evaluación se lleva a cabo mediante simulación digital de propiedades de rocas modeladas espacialmente que han sido calibradas mediante pruebas empíricas de tipos de minerales.

El futuro de la flotación está en la flotación de partículas gruesas, donde la separación se produce en fracciones de tamaño mucho más grueso, eliminando la necesidad de una molienda fina de la mayor parte del alimento, ahorrando energía y emisiones. También garantiza que los relaves drenen libremente, lo que aumenta la recuperación de agua de modo que sean apilables en seco, eliminando así la necesidad de presas de relaves. Para evaluar el éxito y controlar estos nuevos métodos de flotación de partículas gruesas, se necesitan muchos más detalles sobre la mineralogía, el tamaño de grano y las asociaciones y textura de los minerales presentes.

### LOS EQUIPOS DE PROCESAMIENTO NECESITAN:

Más detalles que nunca sobre el tamaño del grano, la mineralogía y la textura para garantizar que el ahorro de energía y agua no comprometan la recuperación.



## Lixiviación

**La lixiviación química también se aplica cada vez más, ya sea in situ, en montones o plataformas de mineral "en bruto", o en cubas o tanques con alimentos preparados o incluso concentrados.**

La lixiviación proporciona una ruta más barata y con menos energía y con mayor intensidad de carbono para obtener metales para algunos minerales. Está siendo impulsado por la disminución de las leyes de los yacimientos restantes disponibles y la necesidad de producir metales concentrados dentro del país en lugar de enviarlos. Algunas sustancias químicas nuevas (como los disolventes eutécticos profundos) están mostrando potencial para ser muy específicas de un mineral en su extracción, por lo que se ocupan de minerales muy contaminados o complejos.

Una vez más, estos métodos requieren una comprensión más detallada y rica del yacimiento - particularmente su química, mineralogía, estructura y textura.

La lixiviación biológica se ha aplicado en algunos minerales durante décadas; sin embargo, los avances recientes tanto en catalizadores como en biología sintética están dando como resultado que estas técnicas ahora se realicen en aplicaciones principales para una gama más amplia de minerales. Es fundamental el conocimiento de la química y mineralogía de minerales valiosos, así como de la ganga.

### NECESIDADES DE RECURSOS Y OPERACIONES:

Un conocimiento detallado de la geoquímica y la mineralogía para diseñar un sistema de extracción eficaz que pueda cumplir con las estimaciones de recuperación.



# El papel de la ciencia de yacimiento mineral en el diseño de minas

**La mina del futuro está tomando forma ante nuestros ojos con modificaciones en las operaciones existentes, así como en las configuraciones elegidas para nuevos proyectos de desarrollo. En todos los casos, la aplicación de nueva tecnología de minería o procesamiento requiere más ciencias de yacimientos minerales, no menos que aquello.**

Así como la extracción minera y el procesamiento de minerales están aprovechando una gama de nuevas tecnologías que a su vez están impulsando la necesidad de un cambio significativo en el conocimiento de la ciencia de yacimiento mineral, la tecnología que se utiliza para adquirir conocimiento de la ciencia de yacimiento mineral también ha dado un paso importante recientemente. Esto nos permite recopilar una gama más amplia de atributos sobre el yacimiento, con órdenes de magnitud de mayor densidad de datos en una fracción del tiempo, el esfuerzo y, por lo tanto, el costo.

La ciencia de yacimientos minerales constituye la base de todos los estudios mineros, ya sean expansiones de operaciones existentes o el desarrollo de nuevas minas. Un elemento central para las ciencias de yacimientos minerales es la creación de un modelo de yacimiento, una representación digital de ello. Los modelos tradicionales de yacimientos se han centrado en obtener una estimación precisa o imparcial de la ley promedio del depósito y, en su mayor parte, lo han logrado con éxito. Esto se logra suavizando en gran medida los datos en bloques grandes utilizando una técnica de promedio ponderado que aplica pesos según la variación espacial. Esto proporciona la mejor estimación imparcial de la calificación promedio de parcelas grandes. El problema es que esta técnica destruye la variación o heterogeneidad local. Para el diseño o estudio de una mina moderna, la ley promedio es inútil; Proporciona poca información a la escala en la que se selecciona el mineral y los desechos y puede proporcionar evaluaciones extremadamente inexactas de las toneladas y la calidad por encima de un límite. Se han utilizado métodos como la simulación condicional (múltiple) para intentar mejorar la estimación de la heterogeneidad, pero existe un número limitado de profesionales con las habilidades, la experiencia y el tiempo para llevar a cabo estas simulaciones. Hay incluso menos ingenieros y metalúrgicos con las habilidades para utilizar los modelos resultantes. Incluso los enfoques de simulación condicional están, en última instancia, limitados por la resolución de los datos que reciben.

El diseño de minas moderno necesita desesperadamente una representación digital más intensa y realista del yacimiento, una representación que no sólo respete los datos, sino que proporcione una visión realista de la heterogeneidad o variabilidad. Debe mostrar, además de la calificación, los límites geológicos, las estructuras, la mineralogía, la alteración, el nivel freático y cualquier otra característica que sea pertinente para cualquiera de las innumerables decisiones y compensaciones que los ingenieros y metalúrgicos deben hacer al desarrollar una nueva mina. o ampliar uno antiguo.

Algunos de nuestros modelos de yacimientos más complejos hoy en día tienen más de 200 atributos modelados, teniendo en cuenta aspectos geológicos, estructurales, geoquímicos, geotécnicos y geometalúrgicos, así como cada vez más ambientales. Una mirada más cercana a estos modelos revela que se basan en un conjunto de datos muy limitado; a menudo sólo unas pocas pruebas cuyos resultados han sido interpolados o, peor aún, extrapolados espacialmente para proporcionar un número en una ubicación en el espacio. Este enfoque conduce invariablemente a opiniones inexactas o engañosas del yacimiento que resultarán en la toma de decisiones erróneas del desarrollo.

**La necesidad de contar con datos integrales y coherentes de múltiples atributos nunca ha sido tan grande.**

+

+

////////////////////



# Ciencia de yacimientos minerales

## Greenfield vs Brownfield

El desarrollo de una mina totalmente nueva representa el desafío más difícil. Por lo general, hoy en día el yacimiento no tiene expresión superficial, por lo que el único conocimiento de aquello es el que se puede obtener del testigo de perforación. Toda la inversión, a menudo de miles de millones de dólares, se basa en un conjunto limitado de testigos escasamente espaciados que luego se registran y miden de manera rudimentaria para crear una “imagen” del yacimiento que luego puede comunicarse primero a los inversionistas y luego a los ingenieros, quienes deben diseñar y luego estimar el capital y el costo operativo del desarrollo y la operación de manera que el retorno de la inversión cumpla con las expectativas de los accionistas, al mismo tiempo que cumpla con los requisitos ASG de los inversionistas.

Las consecuencias de tomar decisiones equivocadas en materia de desarrollo son altas o extremas. Todas estas decisiones y estimaciones tienen su base en la “imagen” del yacimiento. Este “cuadro” se basa fundamentalmente en los datos disponibles sumado a la habilidad del geólogo para

tomar los datos y convertirlos en un modelo 3D con el fin de comunicar su comprensión de todos los aspectos del yacimiento que son materiales de manera transparente a las partes interesadas, ingenieros y metalúrgicos. Un entorno Brownfield proporciona un caso de uso ligeramente más fácil que un Greenfield, dado que el yacimiento habrá sido visto, experimentado y se habrá derivado un nivel de comprensión y conocimiento más allá que el testigo de perforación. Sin embargo, hay trampas en esta forma de pensar, ya que las extensiones de yacimientos rara vez son idénticas a las que se conocían anteriormente y la comprensión de estas diferencias es fundamental para el éxito de cualquier expansión de una zona industrial abandonada. Los desarrollos Brownfield también suelen contener alguna innovación o mejora tecnológica que significa que las operaciones serán diferentes y el éxito de esta nueva tecnología depende de aspectos del yacimiento que deben conocerse y comprenderse.

*“Las consecuencias de tomar malas decisiones en materia de desarrollo son caras o graves. Todas estas decisiones y estimaciones se basan en la “imagen” del yacimiento.”*

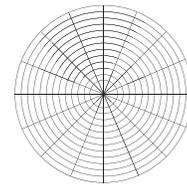




VERACIO

SITE USE ONLY

# El rol del escaneo de testigos en la definición de recursos y el diseño de minas del futuro



El escaneo de testigos representa una solución para satisfacer la creciente necesidad de proyectos y operaciones de datos casi en tiempo real, integrales, coherentes, ricos y granulares en un momento en el que hay escasez de habilidades geológicas junto con plazos de desarrollo más cortos. El escaneo de testigos representa un cambio significativo tanto en el flujo de trabajo para recopilar datos geológicos, reduciendo el tiempo de obtención de datos, como en el rango y detalle de los datos recopilados.

La nueva tecnología de escaneo Scan by Veracio ofrece un aumento significativo en la exactitud y precisión del análisis químico mediante la eliminación de errores de muestreo y sesgos y a través de QA/QC automatizados y controlados y una cadena de custodia garantizada junto con la calibración de la matriz que se puede mejorar aún más con el tiempo.

Esta tecnología Scan by Veracio supone un gran avance en el logueo geológico y en la adquisición de mediciones estructurales. La eliminación del sesgo subjetivo del registrador y la medición objetiva coherente de los atributos para informar la clasificación multivariada del testigo proporciona logueos geológicos objetivos que sobrevivirán más allá del personal que realiza el logueo.

La provisión de fotografías de testigos secos y húmedos de alta calidad y resolución, junto con todas las demás mediciones del testigo no perturbado, tiene el potencial de eliminar la necesidad de almacenamiento a largo plazo, ahorra costos y proporciona una biblioteca de testigos virtual accesible en cualquier lugar y en cualquier momento.

El escaneo de testigos se ha desarrollado para satisfacer las crecientes necesidades de la industria. Ahora tenemos una solución que proporciona más datos, que son más precisos y se entregan mucho más rápido y se toman sobre la misma base, por lo que es más utilizable. Ahorrará costos en el sitio al reducir el manejo y muestreo de testigos, reducirá la mano de obra para el logueo y proporcionará datos más rápido que los enfoques tradicionales para la adquisición de datos.





**CAUTION**  
RADIATION  
For safe  
operation,  
please read  
the manual  
carefully.

Model: 5000  
Serial: 123456  
Date: 2023-10-27

Max. Sample Weight: 10g  
Max. Sample Size: 10mm  
Max. Sample Temp: 100°C

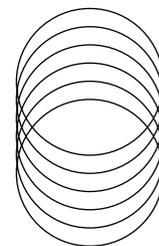
50 W      200 MHz      4 W

INPUT: 220V 50/60Hz, 3A MAX. OUTPUT: 100V 50/60Hz, 1A MAX.  
SERIAL NUMBER: 1234567890



## PARTE 4:

# La solución



Fusión de sensores / Mejora de procesos / Gobernanza de datos / Escala y fidelidad / Aumento humano

## Mejoras radicales en el logueo con condiciones homogéneas

Las fusiones de datos y conjuntos de datos integrales para análisis comparativos tienen una larga historia en geología, desde tablas de luz utilizadas para superponer un conjunto de datos sobre otro, hasta modelos multivariados para ayudar en la comprensión e interpretación del yacimiento. Logueo no es una ciencia nueva. Sin embargo, los sistemas y métodos utilizados hasta la fecha no han logrado la verdadera fusión de datos debido a que cada conjunto de ellos se recopiló sobre una base diferente (desde/hasta la profundidad del pozo). Si se fusionaran datos de diferentes bases siempre habría una pérdida de resolución de uno de los atributos. Como resultado, muchos de los conjuntos de datos disponibles no se utilizan en el desarrollo de un modelo de yacimiento.

El escaneo de testigos permite la recolección de múltiples conjuntos de datos (atributos) en condiciones homogéneas, de manera que estén listos para su uso en análisis y procesamiento estadístico, incluyendo aprendizaje automático e inteligencia artificial.

## Proceso

El proceso actual para la recopilación y preparación de datos geológicos hasta el desarrollo de un modelo geológico integral implica muchos pasos complicados. Cada uno de estos pasos tiene el potencial de introducir errores o incoherencias y, a menudo, depende del geólogo individual que está realizando el trabajo. Este proceso requiere mucha mano de obra, implica manipulación manual y se ha demostrado que es propenso a errores. Muchos de los pasos implican actividades bastante separadas que se llevan a cabo de forma independiente y sin el conocimiento de las otras actividades de recopilación de datos, las cuales, si estuvieran más integradas, conducirían a un mejor resultado. Un ejemplo clave de esto es cuando el logueo de testigos se beneficiaría del conocimiento de la química de las rocas y los datos de abundancia de minerales, pero en el mundo manual esto rara vez está disponible cuando se realiza el logueo. En el mundo del escaneo central, todos los datos están integrados, por lo que un conjunto de datos mejora la calidad del siguiente conjunto de datos.



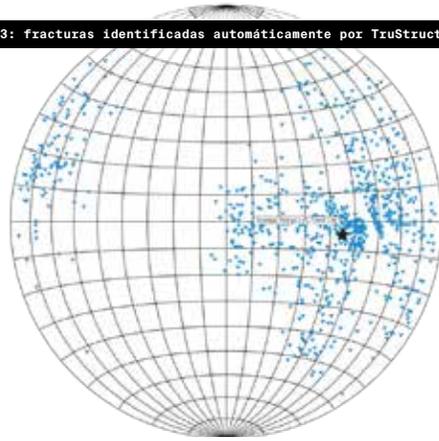
# Fotografía legible por máquina

El escaneo de testigos, particularmente con Scan by Veracio, proporciona una plataforma para fotografías de testigos limpios, húmedos y secos, de alta resolución y coherentes, que luego pueden ser utilizadas como referencia visual tanto por el hombre como por la máquina. Esto permite la consulta y adquisición de datos en el futuro sin pérdida de detalles mediante el uso de iluminación y cámaras digitales de alta calidad. Además, esto captura al testigo antes de que se haya oxidado y puede eliminar en gran medida la necesidad de conservar o almacenar el testigo a largo plazo. Es significativamente más barato y fácil buscar una biblioteca de testigos digitales para inspeccionar al testigo que viajar al cobertizo de ellos, encontrar la bandeja de testigo de interés, retirarla de las pilas y llevar a cabo la inspección del testigo altamente alterado que ha sido cortado, muestreado y oxidado.

El logueo estructural es un paso extremadamente importante en la evaluación de muchos yacimientos, dado el hecho de que muchos de ellos están estructuralmente controlados. Para el análisis geotécnico, la frecuencia de las fracturas, la orientación, la descripción de la superficie y el relleno son fundamentales para el trabajo de diseño, al igual que los datos RQD completos. Estos datos a menudo se recopilan en una campaña que requiere mucha mano de obra para informar una decisión de diseño y luego se ignoran.

El uso de imágenes legibles por máquina puede aumentar la medición de buzamientos, rumbos y lineamientos de una variedad de características geológicas y estructurales en relación con el eje central orientado. Este proceso automatizado proporciona un conjunto de datos completo en lugar de un conjunto más pequeño, selectivo (sesgado) de mediciones laboriosas y que consumen mucho tiempo y que son inexactas. Rara vez el logueo estructural es completo y coherente y a menudo adolece de una clasificación y descripción inadecuadas. El logueo estructural suele ser difícil de digitalizar y rara vez llega a informar el modelo geológico utilizado para evaluar un depósito.

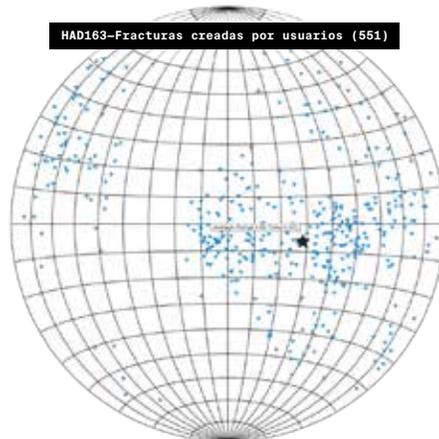
HAD163: fracturas identificadas automáticamente por TruStructure (1129)



*“El logueo geotécnico de un pozo de 1.500 m vía manual normalmente capturará sobre 200 características. Esto contrasta con los más de 2.000 elementos mediante el logueo geotécnico asistido por máquina.”*

– Anthony Harris, Jefe geocientífico, Newcrest (ahora Newmont)

HAD163-Fracturas creadas por usuarios (551)



Testigo seco



Testigo húmedo

Para garantizar que las muestras estén en la mejor ubicación para la ciencia de datos posteriores, la fotografía potente y legible por máquina se centra en:



**Iluminación consistente**



**Enmarcado**



**Ambiente**



**Color**

# Escaneo de testigo y logueo automatizado

Al comienzo, el escaneo de testigo parece ser la respuesta a todo. Y si bien ese puede no ser el caso, la mayoría de las veces es la tecnología de escaneo central como la de Scan by Veracio la que libera el potencial no aprovechado dentro de los proyectos, yacimientos y operaciones existentes.

Al comprender dónde se encuentran los minerales, cuántos hay y cuáles son sus propiedades, el equipo de geociencias puede hacer que la minería sea más confiable y rentable. Este conocimiento también ayuda a elegir los mejores métodos para extraer minerales del suelo y procesarlos. El escaneo de testigos también puede desempeñar un papel muy importante en la identificación y medición de elementos dañinos dentro de la zona mineralizada. Si estos elementos nocivos no se gestionan, pueden reducir los márgenes al provocar penalizaciones en los precios de los clientes o afectar la forma en que se procesan y recuperan los minerales.

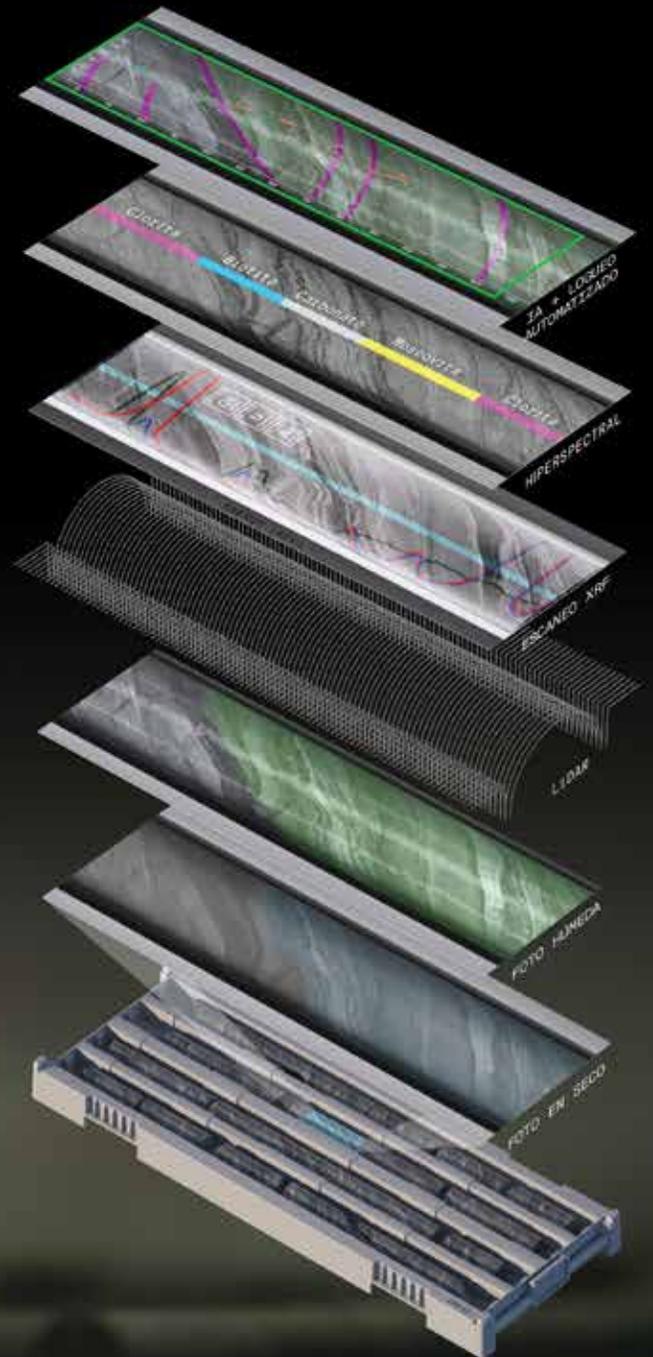
Perforar, tomar muestras, realizar ensayos, diseñar y volver a perforar puede llevar mucho tiempo. Normalmente este proceso puede llevar meses, lo que retrasa las decisiones porque no toda la información necesaria está disponible. El escaneo de testigos obtiene datos precisos rápidamente de manera que pueden reducir los costos de perforación, viabilidad del proyecto, minería y procesamiento.

La tecnología del escaneo de testigos puede cambiar esto entregando resultados en minutos en lugar de meses, permitiendo a las compañías mineras ajustar sus perforaciones, diseños de minas y planes de capital a medida que avanzan.

Esto permite una perforación más adaptable, un tiempo más rápido para obtener el primer mineral, una mayor precisión en el control de leyes; proporcionando información rápida que ayuda a tomar decisiones sobre “¿dónde seguir?”.

+

+

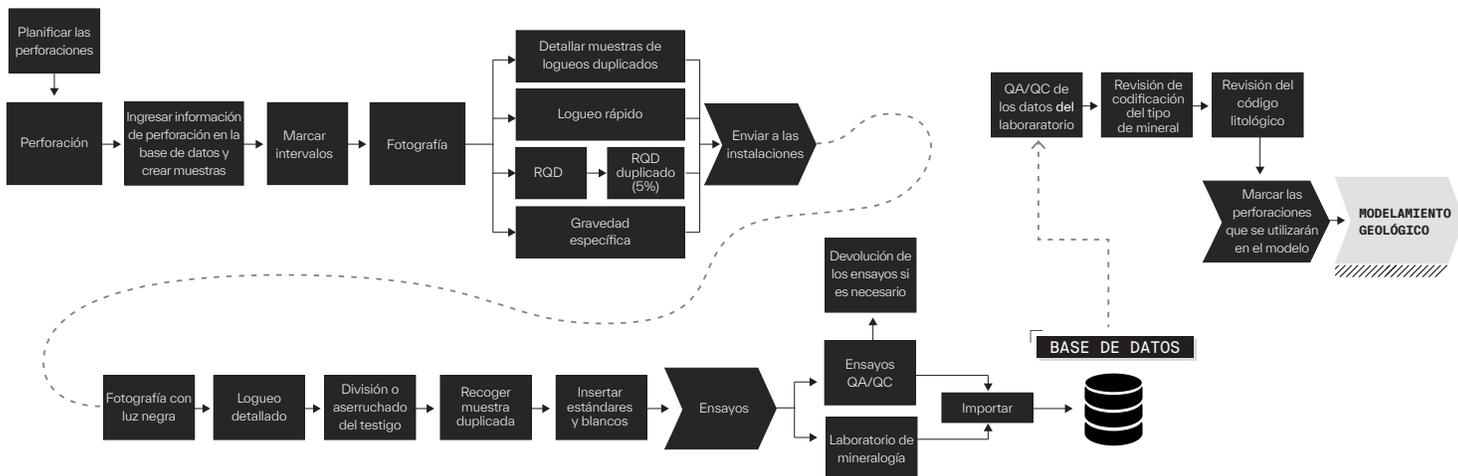




# La manera tradicional

- El testigo se recoge del equipo de perforación, se transporta a una instalación central y se apila para su posterior adquisición de datos;
- Si el testigo está orientado, las mediciones estructurales y las fotografías se toman a menudo utilizando una configuración incoherente para el lavado del testigo, la iluminación y la posición de la cámara;
- Luego, el testigo se divide por selección manual de las piezas individuales del testigo y cortándolas con una sierra de diamante. En este punto, el testigo está irreversiblemente dañado y las piezas a menudo se reemplazan en el orden o dirección incorrecta. Este proceso se vuelve difícil cuando la calidad de la roca es mala.
- Para el intervalo aproximado a partir de las lecturas de profundidad, se selecciona manualmente "la mitad" del testigo y se coloca en bolsas de muestra. Este proceso manual tiene el potencial de introducir sesgos subjetivos, ya que es más probable que el muestreador seleccione la mitad más competente o las "piezas brillantes."
- Las bolsas de muestras reciben un identificador de muestra único y, a menudo, se incluye una etiqueta física en la bolsa y el intervalo relevante desde y hasta de la muestra se registra manualmente para su posterior entrada en la base de datos. Se ha demostrado que este paso es una fuente de errores y confusión.

- Luego, las bolsas de muestras se transportan a un laboratorio para su preparación y análisis, un proceso que implica numerosos pasos propensos a errores. Las muestras se sacan de las bolsas, se trituran y se muelen antes de tomar submuestras para el ensayo final. A menudo, el submuestreo se reduce a unos pocos gramos de material seleccionado de lo que se espera (pero nunca lo es) una muestra homogeneizada..
- Los análisis del contenido de cada bolsa de muestra se comunican electrónicamente al geólogo, a menudo meses después. El geólogo luego tendrá que importar los datos que comprenden el número de muestra y el ensayo y unirlos con los datos de profundidad del orificio y número de muestra ingresados manualmente.
- Este desfase de tiempo es significativo ya que el geólogo invariablemente ha dejado de pensar en la geología de ese agujero en particular cuando se le presentan datos para verificar y revisar.
- Rara vez un geólogo tendrá el tiempo o la oportunidad de volver al testigo a verificar los datos del ensayo; a menudo sólo se realizan comprobaciones sensoriales rudimentarias..
- Los diversos atributos de un pozo de perforación determinado a menudo se recopilan en diferentes momentos y sobre diferentes bases y, por lo tanto, normalmente se pierde la oportunidad de observar el conjunto completo de datos al mismo tiempo..

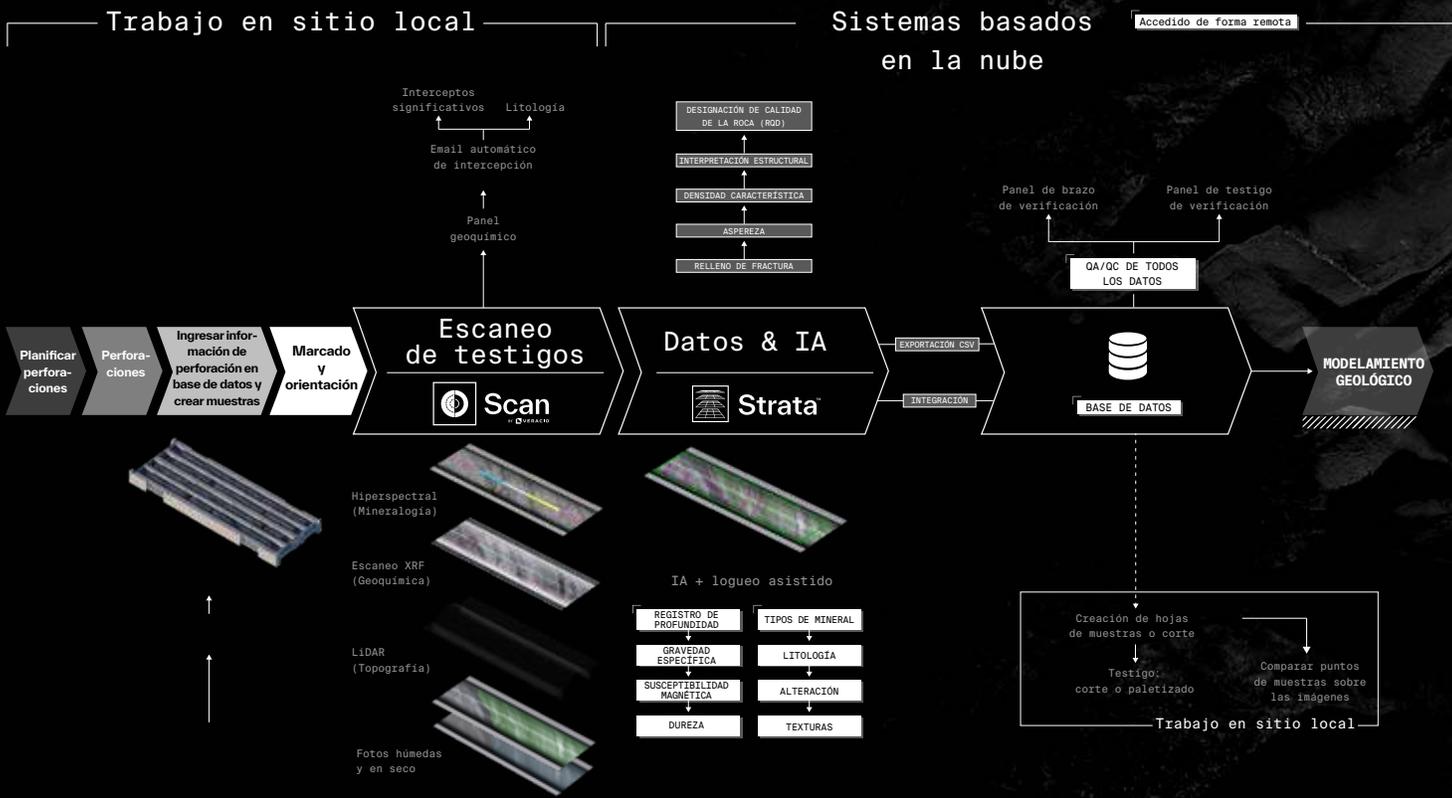




# La manera Veracio

La alternativa a este proceso complicado y fragmentado es aquella que utiliza el escaneo automatizado de testigos (Scan by Veracio) para recopilar una amplia gama de datos geológicos integrales, coherentes, precisos y altamente granulares en una sola pasada. Esto se hace de manera automatizada, controlada y repetible bajo la supervisión de un único técnico de campo en el equipo de perforación mientras el equipo está en el sitio y pasando el conjunto de datos completo al geólogo casi en tiempo real.

Esto representa un cambio enorme en la eficiencia (y el ahorro de costos), al mismo tiempo que proporciona resultados mucho más efectivos donde la naturaleza integral de los atributos puede contribuir a la verificación cruzada y la verificación, lo que genera menos errores y, por lo tanto, conjuntos de datos validados. El proceso simplificado no sólo acelera el proceso desde el perforación hasta los datos, sino que también presenta los datos ya verificados con múltiples atributos recopilados sobre la misma base para que puedan usarse inmediatamente en el modelado de yacimientos o en el procesamiento estadístico multivariado, como el aprendizaje automático y la aplicación de inteligencia artificial, que ahora se están convirtiendo en una práctica común.



# El crecimiento de la geofísica y mediciones digitales del pozo abajo

Los impactos y beneficios para la exploración y la minería van más allá de las muestras y el escaneo de testigos. La evolución de la geofísica digital de pozo abajo en la exploración minera refleja una tendencia más amplia hacia métodos de evaluación geológica más integrados, eficientes y receptivos.

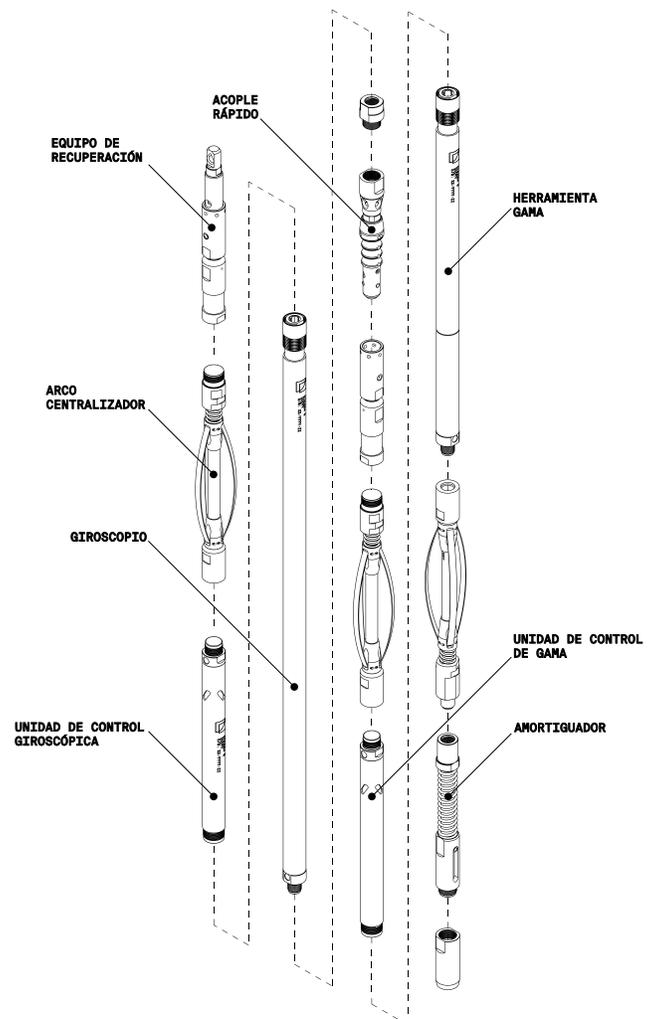
Las mediciones de pozo abajo se han basado tradicionalmente en una variedad de mediciones físicas tomadas dentro de los pozos para inferir las condiciones geológicas. Sin embargo, la integración de la tecnología digital ha generado una nueva era en la que los datos de los sensores de pozo abajo se pueden recopilar, procesar y analizar con mayor velocidad y precisión que nunca. Las herramientas digitales de pozo abajo ahora incorporan sensores sofisticados que pueden medir una variedad de parámetros geológicos.

Por ejemplo, los instrumentos giroscópicos modernos proporcionan datos direccionales precisos, esenciales para las operaciones de perforación, mejorando la precisión de la ubicación y la trayectoria del pozo.

De manera similar, los detectores de rayos gamma se utilizan para registrar la radiación natural, lo que ayuda a identificar depósitos minerales y límites estratigráficos.

El auge de la Industria 4.0 ha facilitado el desarrollo de dispositivos interconectados capaces de comunicarse de forma inalámbrica, permitiendo una rápida transmisión de datos desde el sitio de perforación al centro de datos. La gestión y la accesibilidad de los datos se han visto revolucionadas por las soluciones de almacenamiento en la nube. Es decir, datos geológicos, antes confinados a logueos físicos y rastros en papel, o en el mejor de los casos a una memoria USB; ahora se puede almacenar, acceder y compartir de forma segura a través de plataformas basadas en la nube, lo que facilita la colaboración entre diferentes ubicaciones y disciplinas.

La transición de lo analógico a lo digital no solo ha aumentado la precisión de las interpretaciones geológicas, sino que también ha acelerado el ritmo al que se pueden obtener y aplicar esta visión, lo que marca un importante paso adelante en las industrias de exploración y minería





## Impactos ASG de ciencias de yacimiento avanzadas

Además de la eliminación de la manipulación física manual de bandejas de testigos y muestras, lo que reduce el riesgo para la salud y la seguridad, también reduce la cantidad de personas necesarias en sitios remotos. La necesidad de disponer de un almacenamiento central a largo plazo puede sustituirse por una biblioteca central virtual integral. Esto conduce a un ahorro significativo tanto de capital como de costos operativos para un resultado que proporciona datos más ricos, objetivos, precisos, completos y coherentes

### A Ambiente

El proceso de escaneo de testigos da como resultado una reducción significativa tanto de energía como de carbono, con menos muestras físicas que requieren transporte, menos personas que viajan de forma remota y menos requisitos en el sitio para infraestructura como cobertizos de testigos, aserrado de testigos y manejo de muestras. Los datos proporcionados por el escaneo de testigos permiten la creación de modelos de la ciencia de yacimiento mineral de alta fidelidad, lo que permite diseños de minas de precisión y métodos de minería selectivos debido a la mayor resolución de los datos y la ciencia de yacimientos minerales, lo que resulta en planes mineros que generan menos emisiones de carbono, energía y perturbaciones del suelo, con menos relaves y residuos. Un mejor conocimiento sobre elementos nocivos, como los materiales que generan ácido, puede informar los planes de cierre de minas y ayudar a obtener aprobaciones regulatorias.

### S Social

La capacidad de acceder de forma remota a una biblioteca central virtual digital y permitir la colaboración en línea permite aprovechar las mejores habilidades a nivel mundial, independientemente de la ubicación, lo que mejora la accesibilidad y la diversidad de la fuerza laboral geológica. Se pueden aprovechar nuevos grupos de mano de obra si la adquisición de datos ya no es una actividad de sitio remoto. El uso de la automatización en la manipulación de muestras, junto con la reducción de la mano de obra in situ, mejora la seguridad; mientras tanto, el uso de los últimos procesos y herramientas digitales mejorará la cultura organizacional y la retención de personal altamente calificado.

### G Gobernanza

Los metadatos coherentes en muestras y logueos, junto con una cadena de custodia completa para cada paso del proceso, proporcionan un cambio significativo en la gobernanza de datos. Los enfoques tradicionales se basan en números de muestra asignados a etiquetas y bolsas de muestra y en la lectura y etiquetado manual de las profundidades “desde” y “hasta”. Luego existe un proceso complicado para mantener el número de muestra o etiqueta con cada muestra durante la transportación, la preparación, el submuestreo y el análisis de la muestra. Luego, los resultados se comunican como un número de muestra y (con suerte) el resultado correspondiente se vuelve a fusionar con la profundidad del pozo abajo para completar el proceso. Este proceso es complicado y propenso a errores. El enfoque del escaneo de testigos mantiene el vínculo entre la profundidad del pozo y la medición, asegurando así una cadena de custodia auditable al eliminar la necesidad de traducir a números de muestra y etiquetas y luego volver a convertir a profundidades y los errores asociados.

+



“

No solo se encontraron valores de metal disponibles con semanas de antelación a los ensayos finales de laboratorios para su modelamiento espacial, sino que los datos también ayudaron a priorizar intervalos (en este caso, de 342 a 1.062 m) para ser prontamente enviados al laboratorio.



Extracto del artículo de SEG “Empoderando a los Geólogos durante el Proceso de Exploración - Maximización del Uso de Datos Con Tecnologías de Escaneo Potenciadoras”, coautoría del reconocido Jefe de Geocientíficos de Newmont, Anthony C. Harris, y geocientíficos de Veracio.



# Ciencia de yacimientos de otro nivel, hoy

Logueo automatizado / recopilación de datos / fusión de sensores / análisis / integración

**Para emprender el camino hacia la ciencia de yacimientos de otro nivel, las empresas mineras deben adoptar tecnologías de vanguardia diseñadas para mejorar la recopilación, el análisis y el modelado de datos.**

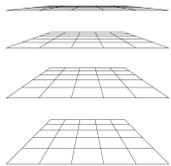
El escaneo automatizado de testigos, ejemplificado por TruScan, es un modelo de progreso en este sentido. Al automatizar el logueo de testigos, las mediciones estructurales y la fotografía de alta resolución, esta tecnología no sólo acelera la adquisición de datos sino también garantiza coherencia y precisión con un nivel de detalle mucho mayor. Su capacidad para integrar múltiples atributos geológicos sobre la misma base permite a los geólogos construir modelos integrales de yacimientos y proporciona conjuntos de datos preparados para la IA.





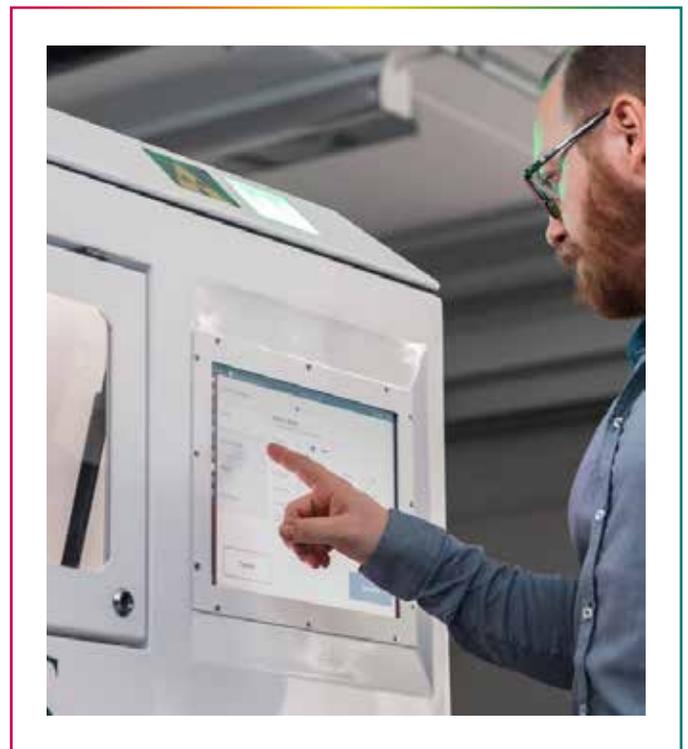
## De la caracterización de recursos hasta la ciencia de yacimientos

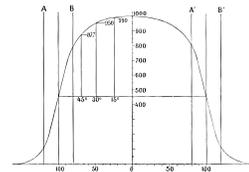
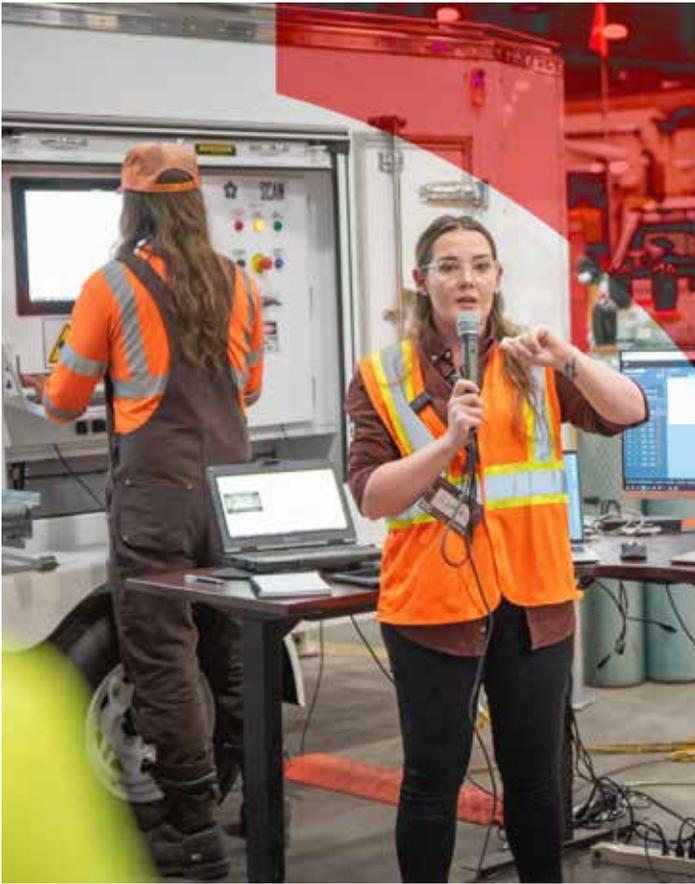
Hubo un cambio fundamental en la industria minera: la transición de la caracterización de recursos a la ciencia de yacimiento mineral. La caracterización tradicional de los recursos, a menudo marcada por una recopilación de datos incoherente y un enfoque indebido en las calificaciones promedio, ha evolucionado. La llegada de tecnologías automatizadas de escaneo de testigos, ejemplificadas por TruScan, ha permitido a la industria adoptar un conocimiento integral de la ciencia de yacimiento mineral. Ya no nos basamos únicamente en promedios suavizados, sino que también consideramos el rico entramado de atributos geológicos, incluidos límites, estructuras, mineralogía y alteración. Este cambio de paradigma mejora las capacidades de toma de decisiones de ingenieros y metalúrgicos, equipándolos para tomar decisiones informadas que tienen en cuenta los intrincados detalles del yacimiento.



## Los datos para la IA no son lo mismo que los datos para los humanos

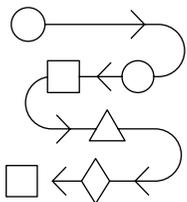
Existe una distinción fundamental entre datos destinados a la inteligencia artificial (IA) y datos destinados a la interpretación humana. Ambos son indispensables, pero tienen propósitos distintos. Los datos para la IA requieren coherencia, objetividad y legibilidad mecánica, atributos perfectamente alineados con tecnologías como el escaneo automatizado de testigos. Esta tecnología garantiza que los datos recopilados sobre la misma base carezcan de subjetividad y con una visión de análisis. Al mismo tiempo, inhabilita a los geólogos centrarse en la interpretación y modelo, cambiando su rol, desde laboriosos recolectores de datos a analistas perspicaces. Al reconocer esta diferencia, desbloqueamos el potencial de la IA para aumentar la experiencia humana, lo que lleva a modelos, predicciones y optimizaciones de yacimientos más sólidos.





## El cambio de mentalidad necesario para hacer avanzar la industria

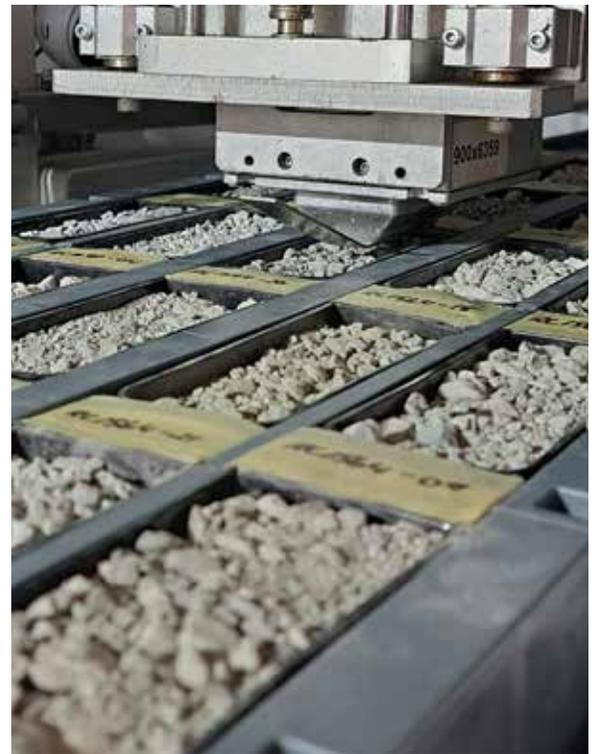
Cualquier transformación profunda exige un cambio de mentalidad correspondiente. La industria minera, históricamente caracterizada por tradición y resistencia al cambio, no es una excepción. Los profesionales de la industria deben ver las tecnologías emergentes como oportunidades y no como una amenaza a su experiencia. Superar esta inercia es un desafío, particularmente para geólogos experimentados y expertos en minería acostumbrados a métodos tradicionales. La educación y la comunicación son clave aquí. Los profesionales de la industria deben comprender que la adopción de nuevos enfoques mejora la eficiencia y abre puertas a la exploración innovadora de yacimientos. Al adoptar una mentalidad de aprendizaje y adaptación continuos, impulsamos a la industria hacia una era de posibilidades sin precedentes.



## Realineación de flujos de trabajo

El siguiente nivel de ciencia de yacimientos requiere una reevaluación de los flujos de trabajo existentes. Los enfoques tradicionales, caracterizados por la recopilación manual de datos, procesos aislados y largos tiempos de respuesta, ya no son suficientes. Los mineros deben racionalizar sus operaciones, reasignando a los geólogos de tareas intensivas en mano de obra al análisis e interpretación de datos. Al hacerlo, empoderan a sus equipos para que se centren en los aspectos de valor añadido de su trabajo, impulsando la eficiencia y la innovación.

Además, la colaboración interdisciplinaria es crucial. Los geólogos, ingenieros, metalúrgicos y científicos de datos deben trabajar en conjunto para aprovechar todo el potencial de la ciencia de yacimientos. Derribar las barreras departamentales y fomentar la comunicación es vital para el éxito. Al fomentar el trabajo en equipo interdisciplinario, las empresas mineras pueden aprovechar la experiencia colectiva para tomar decisiones holísticas y bien informadas.

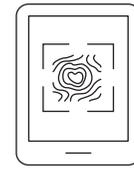




## Por qué los geólogos tienen las claves para la siguiente etapa de la eficiencia minera

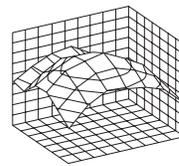
Al fin y al cabo, reconocemos el papel central que desempeñan los geólogos a la hora de impulsar la siguiente etapa de eficiencia minera. Los geólogos, a menudo considerados los custodios de los datos geológicos, son indispensables para interpretar los atributos geológicos, comprender la ciencia de yacimiento mineral y tomar decisiones informadas. Su experiencia cierra la brecha entre los datos recopilados por la tecnología y su interpretación significativa. Se convierten en los custodios del conocimiento de los yacimientos. La tecnología automatizada de escaneo de testigos, como Scan by Veracio, permite a los geólogos aprovechar datos coherentes, precisos y granulares para crear modelos de yacimientos de alta fidelidad. Estos modelos van más allá de las estimaciones de leyes tradicionales e incorporan límites geológicos, estructuras, mineralogía y más. Además, los geólogos validan y perfeccionan la visión basada en la IA, garantizando que las predicciones se alineen con la realidad geológica y contribuyan a una toma de decisiones acertada.

Los geólogos desempeñan un papel decisivo a la hora de abordar el desafío de las capacidades de la industria. Tecnologías como el escaneo automatizado de testigos hacen que el trabajo geológico sea más atractivo para un grupo de talentos más amplio al cambiar el enfoque de la laboriosa recopilación de datos al análisis e interpretación de datos.



## Adaptarse al cambio

La transición al OBK del siguiente nivel puede encontrar resistencia dentro de una organización. Los profesionales que se han acostumbrado a los métodos tradicionales pueden resistirse al cambio por temor al desplazamiento de su experiencia. Superar esta resistencia requiere una comunicación clara y un compromiso con la educación y la formación. Los empleados deben comprender que la tecnología es una herramienta para mejorar sus capacidades, no para reemplazarlas. Demostrar los beneficios de ciencia de yacimientos del siguiente nivel a través de resultados tangibles puede ayudar a ganarse a los escépticos.



## Navegando por el panorama regulatorio

A medida que la industria minera evoluciona, también lo hacen los requisitos regulatorios. Las empresas mineras deben garantizar que la adopción de tecnologías avanzadas se alinee con las regulaciones y estándares de informes existentes, como el NI43-101 o el Código JORC. Es probable que la evolución futura de estos códigos incorpore mayores requisitos en áreas como ASG. Esto, a su vez, requerirá que las Personas Competentes hayan recopilado más datos (no menos) para informar de manera transparente a las partes interesadas sobre los impactos ASG materiales. El uso de herramientas innovadoras como el escaneo automatizado de testigos se convertirá en la norma para la recopilación integral de datos de alta calidad para su uso en informes de recursos.



## Descubriendo los beneficios

La transición hacia la ciencia de yacimientos del siguiente nivel no está exenta de desafíos, pero los beneficios son sustanciales. Al adoptar la tecnología, optimizar los flujos de trabajo, fomentar la colaboración y adaptarse al cambio, las empresas mineras pueden desbloquear nuevos niveles de eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad.



### 1. Mejora de la toma de decisiones

La ciencia de yacimiento del siguiente nivel proporciona modelos de yacimientos más ricos y detallados, lo que permite tomar decisiones más informadas. Ya sea en la planificación minera, la optimización del procesamiento o la gestión ambiental, los datos mejorados conducen a mejores resultados.



### 2. Aumento de eficiencia

El escaneo automatizado de testigos reduce el tiempo y la mano de obra necesarios para la recopilación de datos, lo que acelera el paso de la exploración a la producción. Esta eficiencia se traduce en ahorros de costos y plazos de proyecto más rápidos.



### 3. Sustentabilidad

La reducción del manejo, almacenamiento y transporte manual de testigos contribuye a un menor impacto ambiental. Además, los datos precisos obtenidos mediante el escaneo automatizado respaldan las prácticas mineras responsables, minimizando los residuos y el impacto ambiental.



### 4. Atracción de talento

El atractivo de la industria minera para nuevos talentos aumenta cuando el enfoque cambia de la laboriosa recopilación de datos al análisis y la interpretación de datos. La ciencia de yacimiento del siguiente nivel crea un entorno de trabajo más atractivo y dinámico.



### 5. Ventaja competitiva

Las empresas mineras que adoptan la ciencia de yacimiento del siguiente nivel obtienen una ventaja competitiva. Pueden adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado más rápidamente, optimizar sus operaciones de manera más efectiva y responder a desafíos imprevistos con agilidad.





+

+



+



+