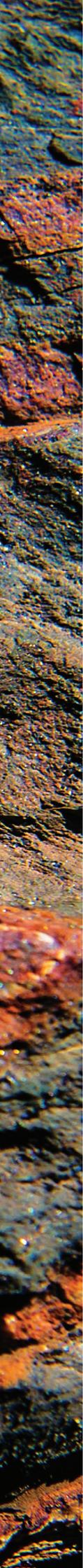


INFORME TÉCNICO

REDUCCIÓN DEL RIESGO DE RECURSOS CON ESTIMACIONES DEFENDIBLES

Cómo Seequent apoya el modelado y la estimación transparentes, auditables y conectados a lo largo de todo el ciclo de vida de la minería



Resumen ejecutivo	03
<hr/>	
CAPÍTULO 1 Por qué la estimación de recursos es más importante que nunca	05
<hr/>	
CAPÍTULO 2 Dónde fallan los flujos de trabajo tradicionales	07
<hr/>	
CAPÍTULO 3 Conexión del modelado geológico en 3D con los flujos de trabajo de estimación de recursos minerales para lograr mejores resultados	10
<hr/>	
CAPÍTULO 4 De la recopilación de datos a la estimación de recursos minerales mediante herramientas conectadas	13
<hr/>	
CAPÍTULO 5 A la vanguardia del futuro de las geociencias: innovación, educación y colaboración	17
<hr/>	



Resumen ejecutivo

Las estimaciones de recursos minerales son la base de toda decisión importante en minería. Desde la exploración inicial hasta la planificación de la producción, estas estimaciones guían decisiones de alto riesgo que afectan los resultados financieros, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad ambiental.

A pesar de su importancia, muchos equipos siguen utilizando herramientas desconectadas y procesos manuales que dificultan mantener la coherencia, colaborar de manera eficaz o respaldar la integridad de sus estimaciones. Los flujos de trabajo aislados, las dependencias de codificación y los problemas de control de versiones generan demoras, incertidumbre y riesgo.

Este documento técnico analiza los desafíos técnicos y operativos de la estimación tradicional de recursos minerales e introduce una alternativa moderna y conectada.

El flujo de trabajo de Seequent, impulsado por Leapfrog Geo y su extensión Edge, integra el modelado geológico y la estimación de recursos en un solo entorno visual, listo para auditoría. Los equipos pueden iterar con rapidez,



registrar automáticamente cada cambio de parámetro, validar visualmente los supuestos y asegurarse de que los modelos sean transparentes y estén alineados con los estándares de elaboración de informes. Leapfrog Edge pone el poder del modelado geoestadístico directamente en manos del usuario, lo que transforma la estimación de recursos en un flujo de trabajo intuitivo y conectado que automatiza las tareas rutinarias de configuración, de modo que geólogos y geoestadísticos puedan enfocarse en interpretar los resultados y analizar el riesgo geológico en lugar de configurar procesos.

Al reducir los problemas de control de versiones, mejorar la transparencia de los datos y ampliar el acceso a herramientas geoestadísticas más allá de los responsables tradicionales, los equipos pueden ofrecer estimaciones de recursos minerales más fundamentadas. El resultado es un flujo de trabajo que respalda tanto a usuarios expertos como a equipos técnicos más amplios, lo que permite tomar mejores decisiones a lo largo del ciclo de vida de la minería.



CAPÍTULO 1

Por qué la estimación de recursos es más importante que nunca

Pocas decisiones en minería tienen más peso que aquellas basadas en estimaciones de recursos minerales. Estas estimaciones determinan la viabilidad comercial de un yacimiento, orientan la planificación minera a largo plazo, influyen en las inversiones y sustentan los informes técnicos. En última instancia, definen el valor potencial de un proyecto minero.

Aunque el valor de la estimación de recursos minerales (ERM) es indiscutible, las exigencias en torno a su fundamentación han aumentado. Hoy en día, los geólogos y geoestadísticos enfrentan mayores expectativas por parte de organismos reguladores, inversionistas y partes interesadas de ESG. Los marcos de elaboración de informes públicos, como NI 43-101 y el Código JORC, exigen no solo estimaciones precisas, sino también metodologías transparentes y flujos de trabajo auditables.

Al mismo tiempo, la complejidad de los recursos va en aumento. Los equipos deben modelar yacimientos con múltiples productos y dominios, a menudo con datos limitados y plazos ajustados. Los errores generan consecuencias que se extienden por todo el negocio, desde reservas sobreestimadas hasta riesgos infravalorados.

En este contexto de alta presión, generar una estimación de recursos no es solo una tarea técnica, sino una cuestión de gestión del riesgo. La exigencia es clara: flujos de trabajo más ágiles, menos transferencias y mayor confianza en cada número informado.

Lo que Bre-X le enseñó a la industria sobre la importancia de la transparencia en la ERM

Uno de los ejemplos más conocidos de estimaciones mal informadas ocurrió con el escándalo de Bre-X en la década de 1990, cuando hallazgos de oro exagerados provocaron una enorme inflación del valor de sus acciones y uno de los mayores fraudes mineros de la historia.

Bre-X inició la exploración de oro en Indonesia en 1993. Sus estimaciones informadas pasaron de 30 millones a 70 millones de onzas de oro, lo que impulsó el precio de sus acciones de menos de CAD 1 a un máximo de CAD 281. En marzo de 1997, el fraude colapsó cuando la debida diligencia realizada por Freeport-McMoRan reveló un contenido de oro insignificante, y el gerente de exploración de Bre-X falleció presuntamente en un accidente de helicóptero. La exclusión de la empresa de la bolsa eliminó miles de millones en valor para los inversionistas, lo que incluyó pérdidas para importantes fondos de pensiones canadienses.

Como consecuencia de este escándalo, los inversionistas y reguladores exigen transparencia y fundamentación en cada paso.



CAPÍTULO 2

Dónde fallan los flujos de trabajo tradicionales

Para muchos equipos de recursos, el proceso de generar estimaciones de recursos minerales todavía depende de un conjunto disperso de herramientas y soluciones improvisadas, cada una diseñada para una etapa diferente del flujo de trabajo, pero rara vez pensada para funcionar en conjunto.

El modelado geológico se gestiona en un sistema, la estimación en otro, y la validación suele realizarse fuera de línea o mediante scripts personalizados. Estos flujos de trabajo desconectados generan ineficiencias, inconsistencias y un riesgo innecesario de problemas de control de versiones, errores en la transferencia de datos o supuestos incoherentes.

Uno de los desafíos más persistentes es la dependencia de pasos manuales o procesos por script. Aunque algunas personas se sienten cómodas programando, esto a menudo crea cuellos de botella, rompe la capacidad de auditoría y limita el acceso a quienes tienen conocimientos técnicos especializados.

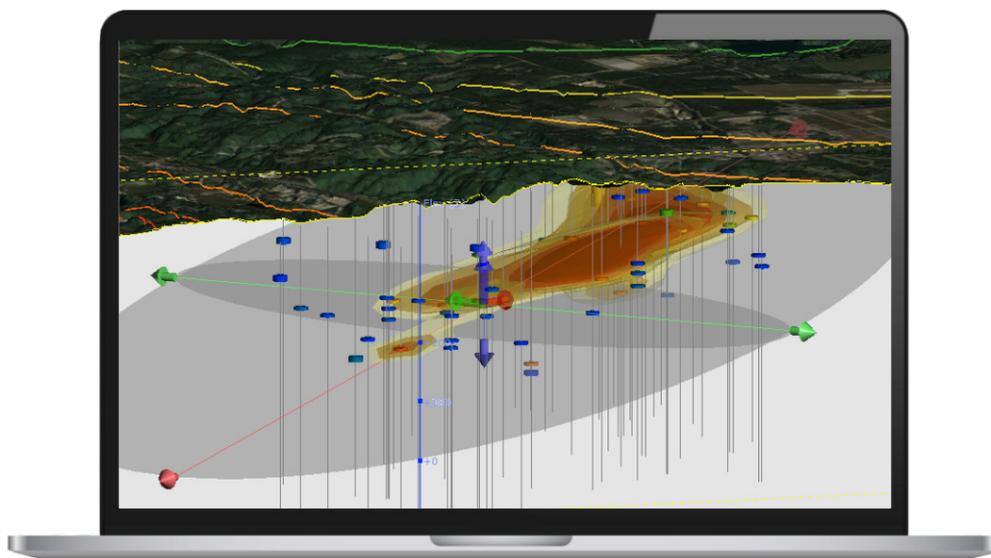
Cuando los flujos de trabajo están codificados a medida o mal documentados, resulta más difícil auditarlos, replicarlos o transferirlos entre equipos, especialmente en contextos sensibles al tiempo o de alto impacto.

El control de versiones es otro punto crítico. Sin un entorno unificado, los equipos tienen dificultades para gestionar múltiples iteraciones de modelos y conjuntos de datos, lo que genera confusión sobre cuál es la versión más actual o válida. Estas inconsistencias pueden erosionar la confianza en la estimación final y dificultar la presentación de informes ante organismos reguladores.

Tal vez lo más importante es que los flujos de trabajo tradicionales limitan la visibilidad entre equipos. Cuando los modelos geológicos y las estimaciones de recursos se desarrollan

en silos, la colaboración se ve obstaculizada. Se puede perder información clave en las transferencias y se desaprovechan oportunidades para compartir ideas con otras partes interesadas relevantes.

El resultado es que se dedica demasiado tiempo a implementar flujos de trabajo y no lo suficiente a analizarlos, iterarlos o mejorarlos. Hoy en día, la velocidad, la transparencia y la fundamentación son esenciales. Los enfoques tradicionales simplemente ya no pueden seguir el ritmo. Muchos geólogos de recursos y geoestadísticos se preguntan: ¿los flujos de trabajo que se están utilizando en la superficie están afectando nuestra capacidad de comprender de forma verdadera y profunda lo que hay debajo de la superficie?





Cómo Eldorado Gold conecta flujos de trabajo y equipos, y acelera la ERM

Con equipos y partes interesadas operando en múltiples zonas horarias, Eldorado Gold, un productor global de tamaño medio, necesitaba una forma de mantener modelos actualizados y permitir la colaboración en tiempo real desde su sede en Vancouver.

El equipo adoptó Leapfrog Geo, Leapfrog Edge y Central de Seequent para conectar el modelado geológico y la estimación de recursos en todas sus operaciones globales, desde Grecia hasta Turquía y Canadá. Los equipos ahora pueden iniciar sesión desde cualquier lugar para acceder a los modelos más recientes, identificar cambios y colaborar sin interrupciones.

Este cambio generó beneficios clave, entre ellos:



Colaboración global, acceso en tiempo real:

Las partes interesadas pueden ver, comparar y comentar los modelos más recientes desde cualquier lugar, lo que respalda mejores decisiones en diferentes ubicaciones y zonas horarias.



Ciclos de estimación más rápidos:

Con Leapfrog Edge, las actualizaciones de los modelos activan la regeneración rápida de las estimaciones de recursos, lo que permite iterar en minutos, no en horas.



Gestión de datos simplificada:

Central es el motor detrás de esto, ya que proporciona control de versiones y acceso web seguro a cada modelo.

[Lea la historia completa →](#)

“ Con la integración de Geo y Edge, si realizamos cambios en una forma 3D, esta se regenera dentro de la aplicación. En 15-20 minutos de procesamiento, podemos obtener una estimación de recursos actualizada”.

Sean McKinley

Geólogo sénior, Eldorado Gold



CAPÍTULO 3

Conexión del modelado geológico en 3D con los flujos de trabajo de estimación de recursos minerales para lograr mejores resultados

Seequent elimina las barreras creadas por los flujos de trabajo aislados al ofrecer un flujo de trabajo intuitivo, visual y perfectamente conectado que integra el modelado geológico y la estimación de recursos en un solo entorno.

Con Leapfrog Geo y Leapfrog Edge trabajando juntos en una misma plataforma, los usuarios pueden construir modelos geológicos y pasar directamente a la estimación sin cambiar de sistema, reprocesar datos ni perder contexto.

Las interpretaciones geológicas fluyen de manera natural hacia el proceso de estimación mediante actualizaciones dinámicas del modelo, lo que ayuda a los equipos a iterar con confianza y coherencia.

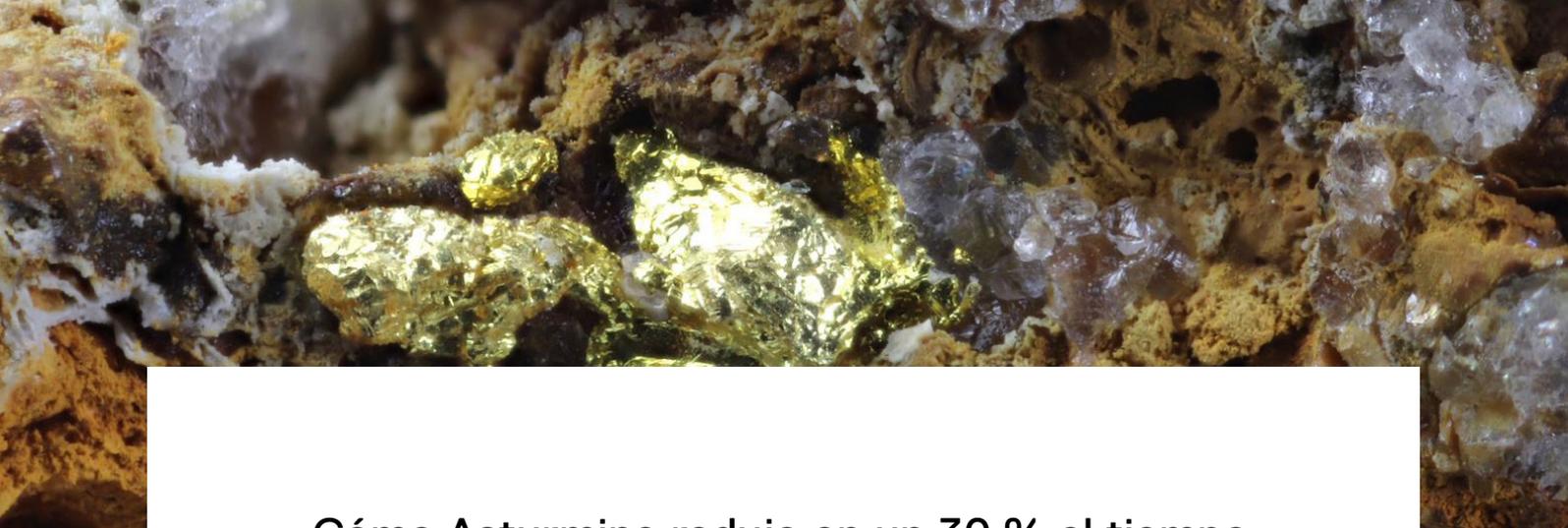


Leapfrog Edge pone el poder del modelado geoestadístico directamente en manos del usuario. Construido sobre la misma interfaz intuitiva que Leapfrog Geo, permite una capacitación más rápida y una mayor participación entre los miembros del equipo. Las potentes visualizaciones en 2D y 3D, junto con herramientas como el modelado de variogramas en 3D y el resaltado de gráficos, ayudan a analizar tendencias estructurales, distribuciones de ley y vecindades de búsqueda con mayor claridad.

Para respaldar la fundamentación, cada cambio en los parámetros de estimación se registra automáticamente. Los usuarios pueden exportar un informe detallado de

parámetros y un registro de auditoría, lo que facilita el cumplimiento de estándares de elaboración de informes, como NI 43-101 y JORC. Los métodos de estimación flexibles, que incluyen kriging, distancia inversa y función de base radial (radial basis function, RBF), permiten adaptar el enfoque a la complejidad del yacimiento.

Con herramientas integradas para validación, elaboración transparente de informes e integración fluida, el enfoque conectado de Seequent convierte la estimación en un proceso colaborativo, iterativo y basado en el riesgo, preparado para escalar desde la exploración inicial hasta la planificación y la producción minera a largo plazo.



Cómo Asturmine redujo en un 30 % el tiempo de modelado y la estimación de recursos minerales

Asturmine, una consultora minera con sede en España, recibió el encargo de desarrollar un modelo de control de ley para un complejo sistema de vetas polimetálicas en Kazajistán.

Inicialmente dependía de modelos explícitos y una transferencia manual de datos, lo que hacía que sus flujos de trabajo fueran lentos y propensos a errores, llegando a tardar hasta ocho meses en construir modelos para cientos de dominios.

Al adoptar Leapfrog Geo y Leapfrog Edge, Asturmine redujo en un 30 % el tiempo de modelado y cálculo de la ERM, y automatizó las actualizaciones en más de 700 vetas. Gracias a flujos de trabajo dinámicos y conectados, junto con modelado de variogramas en 3D integrada, el equipo pudo generar y revisar estimaciones con mayor rapidez, claridad y confianza. Entre los principales resultados se incluyen:



Reducción del 30 % en el tiempo de modelado y cálculo de la ERM al eliminar los pasos de reelaboración manual e importación/exportación



Reducción del 40 % en la dilución mineral, lo que mejoró la precisión del diseño y redujo el desperdicio



Mejora del desempeño ESG mediante la extracción focalizada y un menor impacto ambiental

[Lea la historia completa →](#)

“ Antes, modelar un yacimiento mineral complejo tomaba ocho meses. Ahora, con Leapfrog Edge, podemos modelar más de 700 vetas en solo dos, y mantener las estimaciones actualizadas”.

Juan Antonio Fernández García

Ingeniero sénior en Minería y Geología, Asturmine



CAPÍTULO 4

De la recopilación de datos a la estimación de recursos minerales mediante herramientas conectadas

Leapfrog Geo y Leapfrog Edge de Seequent son reconocidas como las principales soluciones de modelado 3D y ERM en la industria minera. Este programa, en el que confían miles de geocientíficos de todo el mundo, se ha convertido en un recurso esencial para la geología de exploración y producción gracias a su combinación de velocidad, flexibilidad y facilidad de uso.

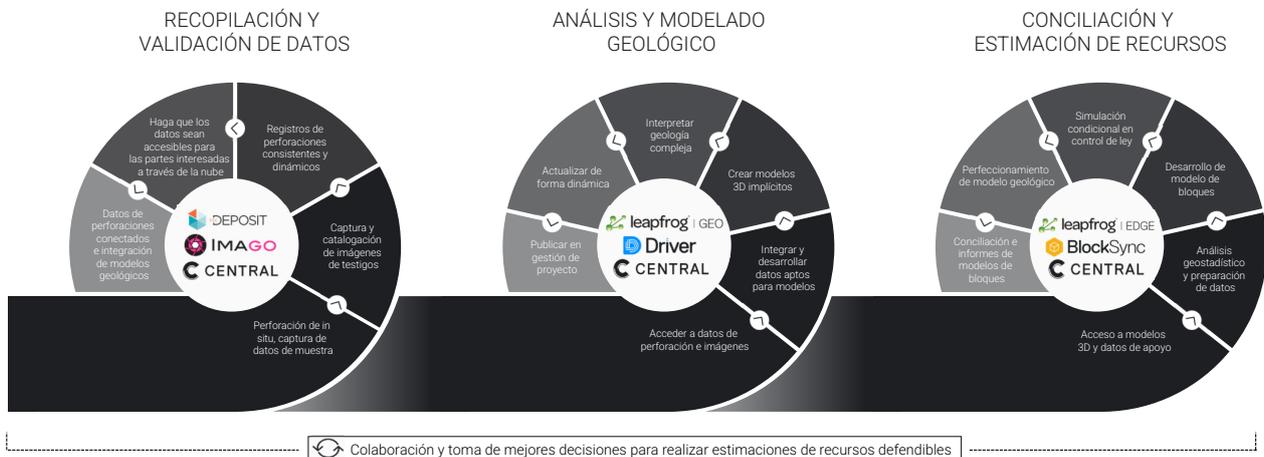
Leapfrog Geo y Leapfrog Edge forman parte de un conjunto integral de soluciones diseñadas para mejorar la comprensión del subsuelo y optimizar los flujos de trabajo de gestión y estimación de recursos.

“Uso Edge desde el primer día. Es impresionante ver la conexión entre los modelos geológicos y la estimación”.

Gabi Brandau

Directora de Conocimiento de Yacimientos, Teck Resources

Flujo de trabajo conectado de estimación de recursos minerales



Capture datos con Imago

La calidad y precisión de los modelos geológicos dependen en gran medida de los datos que los alimentan. Con **Imago**, los usuarios de Leapfrog Geo pueden capturar, gestionar y compartir imágenes en alta resolución de testigos de perforación, afloramientos y otras características geológicas en tiempo real. La capacidad de Imago de integrarse sin problemas con Leapfrog Geo permite vincular directamente estas imágenes con los datos geológicos, lo que mejora tanto la calidad visual del modelo como la capacidad del geólogo para tomar decisiones informadas. Esta captura de imágenes en tiempo real, **potenciada por aprendizaje automático**, no solo ahorra tiempo, sino que también garantiza que los geocientíficos trabajen con los datos más detallados y actualizados disponibles.

Gestione los datos con MX Deposit

Gestionar datos de perforación y muestras es una parte crucial de cualquier proyecto de exploración. **MX Deposit** es una solución en la nube que simplifica la recopilación, la gestión y el intercambio de estos datos, asegurando que todas las partes interesadas tengan acceso a una única fuente confiable de información. Al utilizarse junto con

Leapfrog Geo, MX Deposit permite incorporar grandes volúmenes de datos de perforación en modelos 3D, y así agiliza el proceso de gestión e interpretación de datos. Esto permite a los geocientíficos actualizar rápidamente sus modelos con la información de perforación más reciente, lo que favorece una mejor toma de decisiones y acorta los plazos del proyecto.

Centralice los datos del modelo de bloques con BlockSync

BlockSync redefine la forma en que los equipos gestionan, analizan y conectan sus datos de modelos de bloques, al ofrecer un sistema abierto y auditable que permite la colaboración con datos de modelos de bloques provenientes de cualquier fuente. Las actualizaciones rápidas de los modelos y los conocimientos en tiempo real sobre los recursos mejoran el conocimiento del yacimiento y respaldan la toma de decisiones estratégicas y operativas. Al usarse con Leapfrog Geo, los usuarios pueden colaborar en los mismos datos del modelo de forma simultánea y realizar actualizaciones en subconjuntos del modelo, ya sean volumétricos o de atributos. Las reglas de gestión de conflictos aseguran que cualquier cambio se administre correctamente con nuevas versiones.

Acelere el análisis de datos de perforación con Driver

Driver es una herramienta de análisis rápido en la nube que admite análisis exploratorio espacial de datos de perforación. El aprendizaje automático integrado automatiza el análisis de datos numéricos (por ejemplo, los ensayos) y datos categóricos (por ejemplo, la litología) para que los equipos puedan comprender rápidamente la estructura del yacimiento, entender los dominios y elaborar mejores modelos descendentes, con menos esfuerzo manual y sin codificación. Los usuarios pueden descubrir con mayor eficiencia relaciones complejas en 3D entre litologías o leyes, revelar tendencias de mineralización y características estructurales del yacimiento, así como clasificar y agrupar datos de manera inteligente. La información sobre tendencias estructurales puede incorporarse fácilmente en los modelos de Leapfrog sin procesos manuales.

Conecte y colabore en la nube con Seequent Central

Leapfrog Geo y Leapfrog Edge se vuelven aún más potentes cuando publican directamente en **Seequent Central**, un centro seguro en la nube para modelos, datos y discusiones. Central transmite objetos desde Leapfrog y otras herramientas de Seequent al mismo proyecto, de modo que los equipos de exploración, recursos y geotecnia vean los mismos datos en un mismo espacio. Por ejemplo, las actualizaciones de modelos desde Leapfrog Geo activan de inmediato una nueva estimación en Leapfrog Edge, que luego se vuelve a publicar en Central, manteniendo a todas las partes interesadas del proyecto en sintonía.

Preparado para el futuro con Seequent Evo

Mientras que Central proporciona hoy la base para la colaboración en Leapfrog Geo y Leapfrog Edge, **Seequent Evo** es la plataforma de próxima generación que unificará datos, procesamiento e IA en todo el ciclo de vida de la minería.



Procesamiento integrado en la nube: ejecute tareas geoestadísticas pesadas como simulación condicional sin limitaciones del hardware local.



Ecosistema abierto y extensible: las API permiten a los equipos vincular Evo con scripts existentes o desarrollar aplicaciones personalizadas; las aplicaciones nativas de Evo como BlockSync y Driver están disponibles desde el primer día.



El mismo ADN de Leapfrog: Leapfrog Geo y Edge se conectan directamente a los espacios de trabajo de Evo, por lo que los modelos y las estimaciones fluyen sin problemas hacia análisis avanzados, o de regreso al escritorio.

La arquitectura escalable de Evo posiciona a los equipos de recursos para aprovechar los conocimientos generados por aprendizaje automático, automatizar tareas repetitivas de control de calidad (QA/QC) y colaborar entre disciplinas, todo mientras se mantiene la trazabilidad que exigen los reguladores.

Cómo el flujo de trabajo integrado de Seequent permite una mejor colaboración y estimaciones más confiables

El trabajo de un geólogo de recursos implica una gran colaboración. Debe analizar datos de geólogos de exploración, geólogos de mina y geólogos de desarrollo de recursos para generar estimaciones mediante un modelo de bloques, que luego se entrega a diversas partes interesadas para respaldar las decisiones clave del negocio. Colabora con partes interesadas internas y externas, incluidos los servicios técnicos, la ingeniería y las operaciones mineras, las finanzas y los responsables de la toma de decisiones a nivel de directorio, para identificar oportunidades que optimicen la extracción de recursos. Por eso es fundamental generar un modelo de recursos seguro, auditable y versionado, al que todas las partes puedan acceder para colaborar o revisar.

Evo proporciona una única fuente de verdad en la nube, que versiona automáticamente cada cambio realizado, quién lo hizo y los comentarios asociados para aportar contexto. Las partes

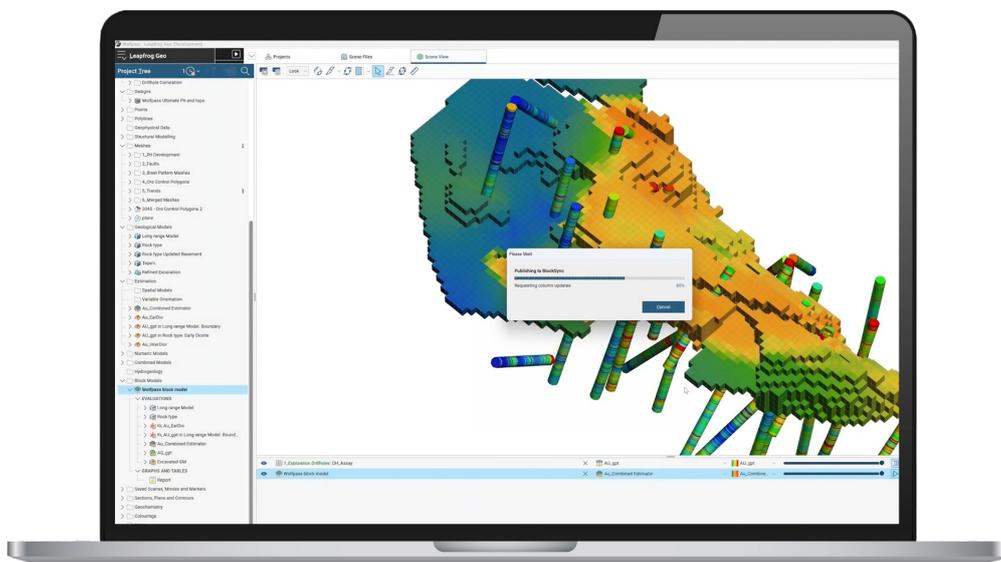
interesadas pueden descargar, ver o actualizar los datos centralizados desde cualquier lugar, según permisos basados en su rol.

BlockSync extiende esta gobernanza al propio modelo de bloques, por lo que los usuarios siempre saben a qué tabla de tonelaje/ley se refieren. Los informes con un solo clic conservan todo el historial de auditoría, eliminando los errores comunes que surgen al copiar archivos Excel en flujos de trabajo basados en archivos.

Con BlockSync y Leapfrog, varios usuarios pueden actualizar subconjuntos volumétricos o de atributos al mismo tiempo; las reglas integradas de resolución de conflictos promueven nuevas versiones limpias. Al mismo tiempo, los diagramas de hileras de Edge permiten visualizar de inmediato las diferencias entre versiones.

Las API abiertas de Evo permiten que el mismo modelo de bloques alimente blocs de notas de Jupyter, paneles de PowerBI o suites externas de planificación minera, sin romper la cadena de custodia.

El resultado es un flujo de trabajo simplificado y seguro entre equipos, que mejora la colaboración, la transparencia y la toma de decisiones.





CAPÍTULO 5

A la vanguardia del futuro de las geociencias: innovación, educación y colaboración

En Seequent, tenemos un gran compromiso con la geología. Como empresa creada por geocientíficos para geocientíficos, estamos constantemente superando los límites de lo posible con herramientas y tecnologías innovadoras. Al combinar los conocimientos técnicos con un diseño centrado en el usuario, hemos creado una línea de soluciones, como Leapfrog Geo y Leapfrog Edge, que no solo mejoran la comprensión del subsuelo, sino que también hacen más accesibles e intuitivos los complejos procesos geológicos.

Cómo inspirar a la próxima generación de geocientíficos

Reconocemos la necesidad de inspirar y formar a la próxima generación de geocientíficos. Por eso, hemos desarrollado [Visible Geology](#), una aplicación web gratuita diseñada para dar vida a los conceptos geológicos tanto para estudiantes como para educadores. Visible Geology va más allá de los métodos tradicionales de enseñanza en 2D y ofrece a los estudiantes una experiencia inmersiva de aprendizaje en 3D.

Con sus capacidades intuitivas de modelación en 3D, funciones colaborativas para el aula y redes estereográficas digitalizadas, Visible Geology ayuda a los estudiantes a comprender conceptos geológicos fundamentales de una forma cautivadora. Los educadores pueden integrar esta herramienta en sus planes de estudio sin dificultad, modernizando la experiencia de aprendizaje y atrayendo a los estudiantes gracias a la presentación interactiva de topografías, secciones transversales, muestras de núcleos, etc.

Al incentivar a los estudiantes a explorar el mundo del subsuelo en un entorno digital innovador, Seequent está contribuyendo enormemente a forjar el futuro del campo de las geociencias.

Obtenga más información en [Visible Geology](#) →

**Una mejor estimación
de recursos comienza
con Leapfrog Edge.**

Visite seequent.com/leapfrog-edge para explorar videos de productos, historias de éxito de los clientes, o solicitar una demostración en vivo o una prueba de 14 días sin costo.

Comprenda el subsuelo para construir un mundo mejor

En Seequent, estamos transformando la manera en que trabajan las empresas a través de una mayor comprensión del subsuelo.

Como líder mundial en software colaborativo de modelado, análisis y gestión de datos del subsuelo de la tierra, en Seequent estamos a la vanguardia del desarrollo de una comprensión colectiva de la tierra.

Contratamos a personas maravillosas que colaboran con nuestros clientes para encontrar soluciones tecnológicas a sus desafíos que brinden resultados más positivos para lograr un mundo mejor.

Seequent, The Bentley Subsurface Company, conecta nuestro entorno natural con el mundo de la construcción, a fin de que las empresas puedan gestionar el impacto de sus proyectos en cada etapa.

Seequent: Comprenda el subsuelo.