

INFORME TÉCNICO

MINIMIZACIÓN DEL RIESGO EN PROYECTOS CIVILES MEDIANTE EL FORTALECIMIENTO DEL ANÁLISIS GEOTÉCNICO CON MODELADO 3D

Descubra cómo Leapfrog Works ayuda a los equipos a modelar la geología de manera intuitiva para optimizar los resultados de proyectos civiles y ambientales.



Introducción	3
<hr/>	
CAPÍTULO 1	4
Principales desafíos en los proyectos de infraestructura y cómo el modelado geológico 3D los resuelve	
<hr/>	
CAPÍTULO 2	7
Mitigación de riesgos ambientales mediante el modelado del terreno en 3D	
<hr/>	
CAPÍTULO 3	12
Modelado 3D del subsuelo líder en la industria con Leapfrog Works	
<hr/>	
CAPÍTULO 4	15
Creación de un flujo de trabajo de datos geotécnicos conectado para proyectos civiles y ambientales	
<hr/>	



Introducción

Los proyectos de construcción modernos deben equilibrar costos, cronogramas, requisitos normativos y objetivos de reducción de carbono, mientras se desarrollan en ubicaciones cada vez más desafiantes, como centros urbanos, sitios contaminados y zonas con condiciones del terreno deficientes. Por lo tanto, comprender a fondo la geología de una zona es más esencial que nunca para gestionar el riesgo geotécnico, garantizar la seguridad y lograr el éxito en proyectos de ingeniería civil y ambiental.

Los flujos de trabajo geotécnicos tradicionales suelen basarse en representaciones 2D estáticas de condiciones subterráneas complejas, lo que dificulta la evaluación de riesgos y la adaptación a condiciones cambiantes del sitio. Esto puede ralentizar la toma de decisiones, limitar la colaboración y generar sorpresas costosas durante la construcción.

Leapfrog Works ayuda a los geólogos de ingeniería, profesionales geotécnicos y científicos ambientales a crear modelos geológicos en 3D integrando datos de perforación, geofísica, capas GIS y diseños de ingeniería. Permite modelar con mayor rapidez, mejorar la colaboración e integrarse sin problemas con herramientas como OpenGround, PLAXIS y GeoStudio, de modo que el análisis geotécnico y las decisiones se basen en los datos subterráneos más recientes a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Este documento técnico analiza la importancia del modelado geológico 3D en la ingeniería geotécnica, los beneficios de un flujo de trabajo geotécnico conectado y cómo Leapfrog Works ayuda a los equipos geotécnicos a trabajar de manera más eficiente y alinearse con las mejores prácticas de la industria, como las directrices C25 de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica y Medio Ambiente ([International Association for Engineering Geology, IAEG](#)).



CAPÍTULO 1

Principales desafíos en los proyectos de infraestructura y cómo el modelado geológico 3D los resuelve

Una comprensión deficiente de las condiciones del terreno es una de las principales causas de sobrecostos, retrasos y riesgos de seguridad en los proyectos de infraestructura. Los métodos tradicionales de investigación del subsuelo (interpretaciones en 2D, flujos de trabajo fragmentados e informes estáticos) suelen no captar la complejidad total de las condiciones geológicas, lo que conduce a suposiciones de ingeniería inexactas y desafíos inesperados durante la construcción.

El modelado geológico en 3D brinda a los geólogos de ingeniería, los profesionales geotécnicos y los ingenieros civiles un modelo del subsuelo dinámico y con abundancia de datos. Como los modelos 3D integran una gran variedad de datos en un solo modelo cohesivo, en comparación con múltiples interpretaciones 2D, los geólogos pueden visualizar mejor las formaciones subterráneas complejas. Esto mejora la evaluación de riesgos, reduce la incertidumbre y respalda mejores decisiones de ingeniería.

Integrar los modelos geológicos en el flujo de trabajo general del proyecto garantiza que los datos del subsuelo se incorporen de manera eficaz en el diseño y la construcción de la infraestructura. Este enfoque se alinea con las directrices C25 de la IAEG, que proporcionan “orientaciones para el desarrollo y la aplicación de modelos geológicos de ingeniería en proyectos”.

Desafíos que el modelado 3D resuelve en los proyectos de ingeniería civil

1. Las herramientas de software incompatibles crean silos de datos

Los equipos de proyecto utilizan diversas herramientas de software que no son interoperables, lo que deja los datos distribuidos en varios sistemas, en lugar de consolidarlos en una vista única que permita una comprensión más completa de la geología subyacente.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Al centralizar los datos en una plataforma común, los usuarios pueden ver toda la información relevante en un solo lugar para comprender mejor las relaciones espaciales y detectar patrones entre diferentes conjuntos de datos.
- Los usuarios pueden visualizar las estructuras geológicas en tres dimensiones, lo que facilita la comprensión de condiciones subterráneas complejas.
- Con todos los datos centralizados, ingenieros, geólogos y gerentes de proyecto comparten la misma comprensión del subsuelo y pueden trabajar de forma cohesionada, sin depender en gran medida de equipos de diseño asistido por computadora (computer-aided design, CAD) y auxiliares.

2. Se requieren análisis con datos limitados para tomar decisiones tempranas

La cantidad de datos disponibles aumenta a medida que avanza el proyecto, pero los profesionales del área necesitan acelerar su comprensión del subsuelo para permitir decisiones posteriores.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Los usuarios pueden crear un modelo conceptual basado en los datos disponibles al inicio del proyecto y generar interpretaciones de manera eficiente donde aún no hay datos.
- A medida que el proyecto avanza, se puede añadir nueva información con facilidad para validar o descartar el modelo conceptual, lo que permite obtener mejores análisis para la toma de decisiones más rápido que con los métodos tradicionales.
- Al combinar el modelado conceptual y observacional en un proceso fluido, los equipos de proyecto pueden aplicar las mejores prácticas en geología de ingeniería según las directrices C25 de la IAEG.

3. Cambios de alcance y sobrecostos debido a condiciones del terreno imprevistas

Las condiciones del terreno imprevistas suelen deberse a datos insuficientes o a la falta de oportunidades para el modelado conceptual. Esta situación es cada vez más común debido a la presión por acelerar los tiempos de construcción. Según el [séptimo informe anual CRUX Insight de HKA](#), las deficiencias en el diseño fueron un factor en más de la mitad de los proyectos afectados por cambios de alcance.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Los modelos se pueden actualizar rápidamente para validar los nuevos datos frente a los modelos conceptuales, lo que permite a los equipos responder con agilidad a condiciones del terreno imprevistas.
- Los cambios de alineación derivados de permisos de planificación, factores ambientales o nuevas indicaciones del cliente se pueden incorporar con mayor rapidez en los nuevos diseños.
- Los usuarios pueden generar nuevas secciones transversales bajo demanda, sin depender del equipo de CAD ni de otros equipos auxiliares, lo que mejora su agilidad.

4. Resiliencia climática

La infraestructura debe soportar tensiones derivadas del clima, incluidos eventos meteorológicos extremos, deslizamientos de tierra y cambios en las condiciones del agua subterránea.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Los usuarios pueden modelar el comportamiento del subsuelo ante diferentes escenarios ambientales, lo que permite mitigar riesgos de forma proactiva.
- Los modelos integran datos hidrogeológicos para evaluar riesgos de inundación, flujo de aguas subterráneas y estabilidad del suelo.
- El software de modelado puede mejorar las capacidades predictivas, lo que permite a los propietarios de la infraestructura planificar con miras a la resiliencia y el mantenimiento a largo plazo.

5. Escasez de profesionales calificados en la industria

La escasez de profesionales geotécnicos calificados limita la capacidad del sector para responder a la creciente demanda de infraestructura, lo que aumenta la presión sobre los equipos existentes.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- El software ofrece herramientas intuitivas y fáciles de usar que reducen el tiempo de incorporación y los requisitos de capacitación.
- Se pueden automatizar tareas repetitivas, lo que permite a los equipos enfocarse en decisiones de ingeniería de alto valor y lograr más sin necesidad de recursos adicionales.
- La colaboración se vuelve más eficiente, ya que los datos del subsuelo están más accesibles para equipos multidisciplinarios.



CAPÍTULO 2

Mitigación de riesgos ambientales mediante el modelado del terreno en 3D

Los riesgos ambientales, como suelos contaminados, contaminación de aguas subterráneas y condiciones inestables del subsuelo, representan desafíos importantes para los proyectos de infraestructura y remediación.

Evaluar estos riesgos con precisión requiere una comprensión completa del subsuelo. El modelado geológico 3D permite a los profesionales del área ambiental consolidar diversos conjuntos de datos en un único modelo dinámico. Esto mejora la evaluación del riesgo de contaminación, el cumplimiento normativo y la comunicación con las partes interesadas, y así asegura que los proyectos se basen en los datos subterráneos más actualizados y precisos.

Desafíos que el modelado geológico 3D resuelve en proyectos ambientales

1. Evaluaciones de sitio complejas

Las evaluaciones de sitio tradicionales son costosas, llevan mucho tiempo y a menudo dependen de datos de campo fragmentados que no reflejan la complejidad completa del subsuelo.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Combina datos de perforación, geoquímica y geofísica en un único modelo interactivo que ofrece una visión más completa de todas las complejidades geológicas.
- Reduce los costos de investigación de campo al permitir incorporar datos existentes de manera eficiente para predecir tendencias de contaminación.
- Mejora las evaluaciones del sitio en tiempo real al integrar nueva información a medida que esté disponible, lo que genera una visualización más completa del subsuelo conforme avanza el proyecto.

2. Cumplimiento normativo e informes

Los proyectos ambientales deben cumplir con requisitos normativos estrictos, que incluyen secciones transversales detalladas, mapas de contaminantes y registros de auditoría transparentes.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Genera informes aptos para organismos reguladores, que incluyen visualizaciones 3D interactivas de contaminantes.
- Garantiza trazabilidad para que todos los datos y las suposiciones puedan revisarse y justificarse.
- Apoya el cumplimiento de normativas ambientales en evolución y de las mejores prácticas del sector.

3. Identificación temprana de zonas de alto riesgo en proyectos de remediación

No mapear con precisión la contaminación desde el inicio puede generar retrasos costosos y trabajos de remediación innecesarios.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Permite identificar riesgos de forma anticipada, minimizando el impacto financiero y ambiental.
- Caracteriza y visualiza contaminantes en suelos y aguas subterráneas.
- Genera estimaciones auditables de los niveles de contaminación.

4. Gestión del impacto ambiental en megaproyectos

Los proyectos de infraestructura a gran escala deben evaluar cuidadosamente su impacto a largo plazo en las aguas subterráneas, la estabilidad del suelo y los ecosistemas.

Cómo ayuda el modelado geológico 3D

- Crea y visualiza cuadrículas o mallas MODFLOW y FEFLOW de manera directa a partir de modelos geológicos.
- Simula riesgos ambientales a largo plazo, por lo que ayuda a los equipos a desarrollar estrategias de mitigación.
- Mejora la interacción con organismos reguladores, inversionistas y comunidades mediante representaciones visuales claras.

Evaluación de opciones de agua potable para comunidades con contaminación por PFAS

La contaminación por sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (Per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) representa un desafío ambiental complejo debido a su presencia generalizada en el entorno y a los posibles riesgos para la salud.

A fin de abordar la contaminación de aguas subterráneas por PFAS en Minnesota, la firma líder en ingeniería y servicios profesionales WSP utilizó [Leapfrog Works](#) y [Seequent Central](#) de Seequent, junto con tecnología Hololens, para crear un modelo hidrogeológico 4D que visualizaba la contaminación subterránea por PFAS y el flujo de aguas subterráneas, lo que permitió una comunicación avanzada con las partes interesadas mediante plataformas de realidad mixta. Esto mejoró la comprensión compartida de la hidrología y el transporte de contaminantes entre todos los involucrados.

Lea la historia completa →

Cómo Lieberman Engineering transformó su desarrollo urbano con modelado implícito en 3D

SAGA Group, una cooperativa de construcción de viviendas en Hamburgo, Alemania, contrató a Lieberman Engineering para evaluar los riesgos del subsuelo en un desarrollo residencial ubicado junto a un antiguo vertedero. El objetivo del proyecto era transformar el terreno en nueve edificios de viviendas para atender la creciente demanda habitacional de la ciudad. Sin embargo, la presencia de contaminantes y la necesidad de un concepto seguro y eficiente para la gestión del vertedero exigían soluciones ambientales y geotécnicas avanzadas.

Lieberman enfrentó dos desafíos principales: preparar un informe geotécnico que recomendara métodos seguros de cimentación y estrategias de excavación, y desarrollar un concepto de disposición de residuos del vertedero que abordara la contaminación minimizando los costos de remediación. Tradicionalmente, estas tareas requerían el uso intensivo de métodos de modelado 2D o herramientas compatibles con BIM, que exigen conocimientos avanzados de CAD. Sin embargo, estas herramientas suelen tener curvas de aprendizaje pronunciadas que limitan su utilidad en proyectos pequeños o medianos, donde el esfuerzo necesario para modelar en 3D puede superar los beneficios.



Con **Leapfrog Works** de Seequent, Lieberman desarrolló un modelo 3D dinámico del sitio, integrando datos geológicos, de aguas subterráneas, lixiviados y contaminantes en un único modelo interactivo. Este enfoque de modelado avanzado proporcionó información práctica para abordar los riesgos ambientales y facilitar una mejor colaboración con las partes interesadas, incluidas las autoridades municipales y los organismos reguladores ambientales. Principales beneficios:



Planificación de remediación optimizada: al combinar modelos 3D de zonas contaminadas con datos geológicos y de excavación del sitio, Lieberman pudo determinar con precisión los volúmenes de contaminación y clasificar los materiales conforme a la normativa alemana sobre residuos. Este enfoque preciso redujo significativamente los costos proyectados de remediación.



Mejor comunicación y alineación normativa: el modelo 3D permitió a Lieberman visualizar y comunicar de forma eficaz las condiciones del subsuelo y los riesgos de contaminación a todas las partes involucradas. Las actualizaciones dinámicas garantizaron transparencia durante todo el ciclo de vida del proyecto, mediante la agilización de las aprobaciones regulatorias y la alineación a los equipos de trabajo.



Toma de decisiones mejorada con integración de datos en tiempo real: la capacidad del modelo para incorporar nuevos datos, como resultados de muestreo de suelos, respaldó la planificación iterativa y proporcionó una base confiable para evaluaciones ambientales continuas. Esto aseguró que las decisiones se tomaran con base en la información más reciente, reduciendo el riesgo de complicaciones inesperadas.

Con Leapfrog Works, Lieberman no solo minimizó el impacto ambiental de la urbanización, sino que también marcó un precedente en la transformación digital de la remediación ambiental. El proyecto demostró cómo la integración del modelado avanzado del subsuelo en 3D con un flujo de trabajo conectado puede abordar desafíos ambientales complejos, desde la gestión de la contaminación hasta el uso eficiente de los recursos.

[Lea la historia completa →](#)

Modelado 3D del subsuelo líder en la industria con Leapfrog Works

Diseñado específicamente para proyectos civiles y ambientales, el software de modelado 3D Leapfrog Works se ha creado para ayudar a consultoras civiles y ambientales, organismos gubernamentales y contratistas de ingeniería civil a abordar los desafíos tratados en este documento. Con la confianza de miles de geólogos, profesionales geotécnicos, ingenieros y científicos ambientales, y probado en proyectos de todo el mundo, el software se ha vuelto esencial en los procesos de ingeniería gracias a su combinación de velocidad, flexibilidad e interfaz fácil de usar.

Diseño basado en flujos de trabajo para un modelado eficiente e intuitivo

A diferencia de las soluciones tipo “caja de herramientas”, que ofrecen una variedad de funciones sin un flujo de trabajo integral, Leapfrog Works está diseñado con base en el flujo de trabajo del geólogo. Esto permite que geólogos de ingeniería, hidrogeólogos, ingenieros y profesionales geotécnicos aprendan a usar el software más rápido y trabajen en él de forma intuitiva.

Actualización dinámica para incorporar nuevos datos con mayor rapidez

Cuando se incorporan nuevos datos o interpretaciones, los modelos en Leapfrog Works se actualizan dinámicamente para reflejar esta nueva información. Tradicionalmente, estas actualizaciones requerirían una reelaboración que consume mucho tiempo, lo que puede retrasar el proyecto o aumentar el riesgo de errores si se apresura el proceso. Al acelerar y simplificar esta tarea, Leapfrog Works reduce el riesgo y permite a los usuarios crear modelos 3D que evolucionan a lo largo del ciclo de vida del proyecto, aumentando la comprensión del subsuelo a medida que el proyecto avanza.

Herramientas potentes que reducen la dependencia de los equipos de CAD

Los flujos de trabajo tradicionales suelen requerir múltiples versiones e iteraciones de una interpretación que deben intercambiarse entre los profesionales del área geotécnica y los equipos auxiliares, como los de CAD, para generar

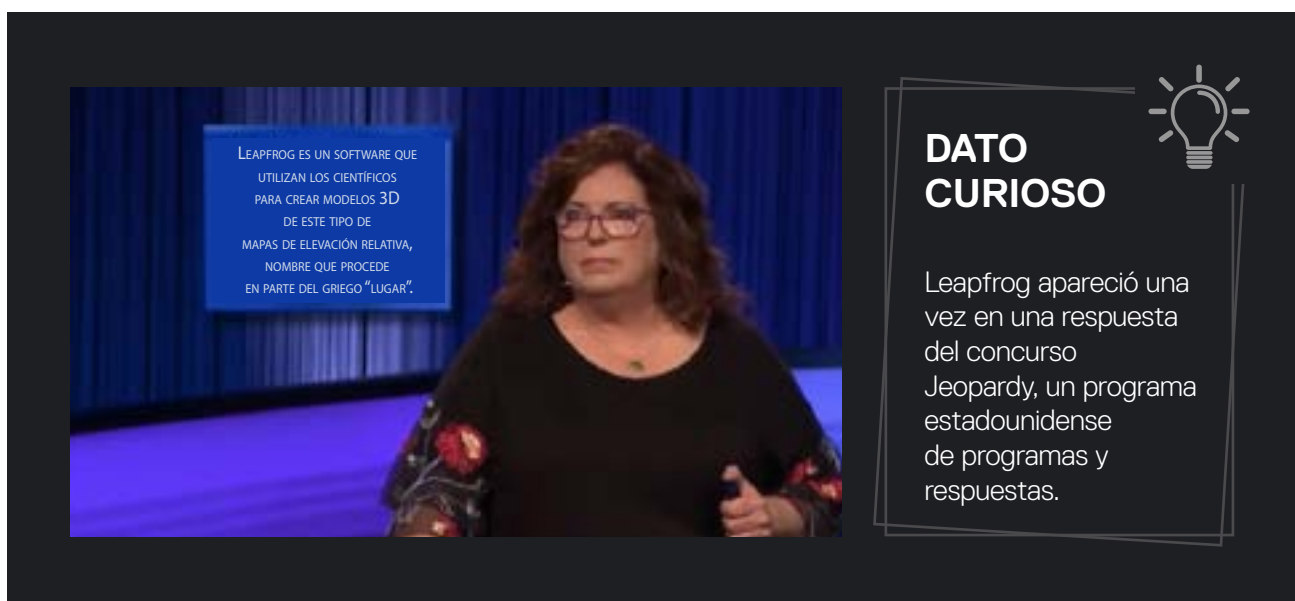
entregables destinados a consultas o aprobación de las partes interesadas.

Dentro de Leapfrog Works, los usuarios disponen de herramientas de modelado y edición geométrica que les permiten generar secciones transversales y planos básicos a partir de modelos 3D, diseños y entradas de datos. Esto facilita la comunicación de información compleja a partes no técnicas, como la dirección, los clientes o el público en general.

Los geólogos, ingenieros y profesionales geotécnicos tienen control total sobre sus entregables, sin depender significativamente de equipos de CAD o auxiliares, lo que agiliza varias etapas del proyecto.

Capacidades para contaminantes e hidrogeología en proyectos ambientales

Leapfrog Works es utilizado con frecuencia por geólogos de ingeniería e hidrogeólogos que trabajan en consultoras civiles y ambientales y organismos gubernamentales, para tomar



decisiones fundamentadas en proyectos ambientales, como la gestión de residuos, aguas y suelos contaminados. Puede utilizarse para combinar datos geológicos, hidrogeológicos, geofísicos y geoquímicos en un solo modelo, con el fin de visualizar los dominios del terreno y del agua subterránea. Los usuarios pueden integrar análisis de penachos en 3D y modelado de flujo en modelos conceptuales, que sirven como base para el diseño de remediación y las estrategias de monitoreo.

La extensión Contaminants de Leapfrog Works proporciona herramientas geoestadísticas intuitivas y sólidas para generar estimaciones transparentes y defendibles sobre la masa, y ubicación de contaminantes en zonas saturadas y no saturadas.

La extensión Hydrogeology permite convertir un modelo geológico o conceptual en cuadrículas o mallas de modelos MODFLOW y FEFLOW, así como importar modelos existentes y resultados de simulaciones.

Tecnología pionera de RBF

Los inicios de Leapfrog se remontan a una tecnología diseñada originalmente para prótesis e imágenes médicas. Esta tecnología, conocida como función de base radial (radial basis function, RBF), pronto se empezó a utilizar en diversas industrias, entre ellas Hollywood, para los efectos especiales de películas como El Señor de los Anillos, como también la NASA para cartografiar asteroides.

Leapfrog utiliza RBF para interpolar o rellenar los vacíos donde no hay datos, con orientación del usuario. Esto resulta especialmente útil para tomar decisiones tempranas con datos limitados. La velocidad de RBF permite actualizar rápidamente los resultados cuando se incorporan nuevos datos, lo que garantiza que el modelo implícito sea dinámico.

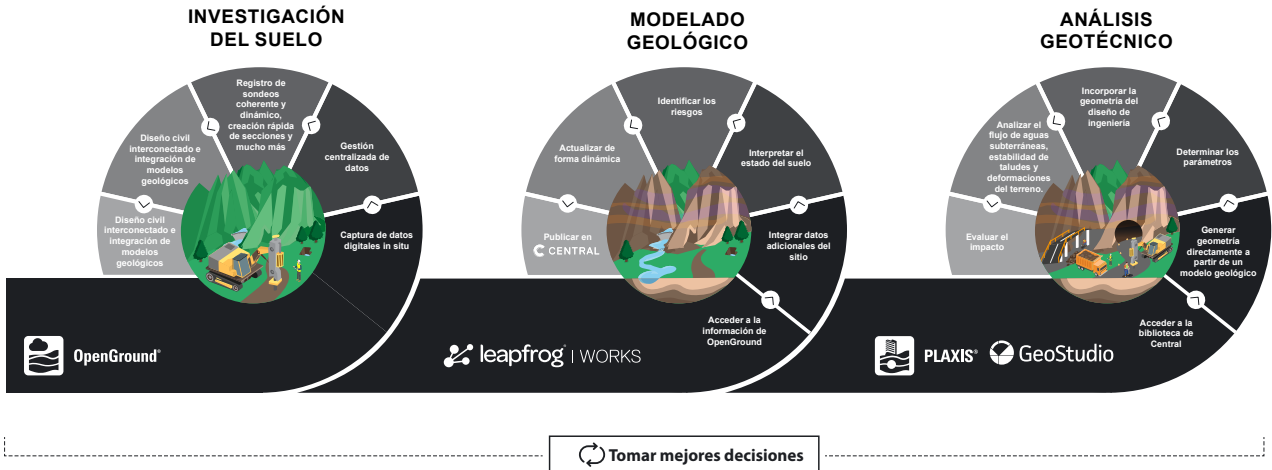


CAPÍTULO 4

Creación de un flujo de trabajo de datos geotécnicos conectado para proyectos civiles y ambientales

A diferencia de la mayoría del software de modelado 3D, Leapfrog Works se vincula sin inconvenientes con software de gestión y análisis de información geotécnica. Al conectar directamente el modelado geológico con el flujo de trabajo geotécnico, los geólogos de ingeniería, profesionales geotécnicos y científicos ambientales pueden crear modelos 3D dinámicos que integran registros de perforación, datos geofísicos, capas del GIS y diseños de ingeniería.

Flujo de trabajo conectado de productos geotécnicos



Este flujo de trabajo conectado elimina transferencias manuales de datos y flujos de trabajo aislados, lo que permite a los equipos de proyecto tomar decisiones mejor fundamentadas, reducir riesgos y mejorar la eficiencia en proyectos civiles y ambientales.

Un flujo de trabajo conectado también respalda el cumplimiento de las directrices C25 de la IAEG para los modelos geológicos de ingeniería (engineering geological models, EGM), al integrar:



Modelos conceptuales

Leapfrog Works permite a geólogos de ingeniería, profesionales geotécnicos y científicos ambientales combinar su conocimiento conceptual con datos específicos del sitio, por lo que construye representaciones 3D del subsuelo que evolucionan a medida que se recopilan nuevos datos. Esto se alinea con el enfoque de las directrices en aprovechar conocimientos geológicos y geomorfológicos para anticipar las condiciones del terreno.



Modelos observacionales

Gracias a sus capacidades de integración dinámica, Leapfrog Works permite incorporar observaciones en tiempo real, como registros de perforación y estudios geofísicos, al proceso de modelado. Herramientas como [Seequent Central](#) ofrecen un entorno robusto para almacenar, actualizar y gestionar datos observacionales, asegurando transparencia, trazabilidad y control de versiones.



Modelos analíticos

Al conectarse sin interrupciones con [GeoStudio](#) y [PLAXIS](#), Leapfrog Works cierra la brecha entre la interpretación geológica y el análisis de ingeniería. Esto garantiza que los modelos analíticos estén basados en marcos geológicos precisos, tal como lo indican las directrices.

Entender el subsuelo con una solución geocientífica completa

El ecosistema de Seequent combina herramientas como [Leapfrog Works](#), [OpenGround](#), [GeoStudio](#), [PLAXIS](#) y [Central](#) para crear un flujo de trabajo geocientífico integrado. Estas herramientas permiten gestionar, analizar y compartir datos geológicos, geotécnicos y ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.

Cómo inspirar a la próxima generación de geocientíficos

Para inspirar y formar a la próxima generación de geocientíficos, Seequent desarrolló [Visible Geology](#), una aplicación gratuita basada en la web, 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.

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.

Para obtener más información, consulte [Visible Geology](#) →

+7400

clientes utilizan el software Seequent en más de 140 países

10/10

de las empresas de ingeniería civil más grandes del mundo usan Seequent

7/10

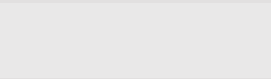
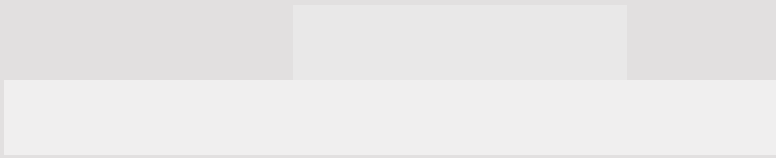
de las consultorías ambientales más grandes del mundo usan Seequent

+95%

de satisfacción con nuestros servicios de ayuda y asistencia de primera línea

Descubra el poder de Leapfrog Works hoy mismo

Visite seequent.com/leapfrog-works 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.



[seequent.com](https://www.seequent.com)

Seequent, The Bentley Subsurface Company