

Large-Scale Seismic Motion Analysis using 3D Ground Models: Application to Costa Verde Cliffs

Kohei Fujita, Julian Palacios
(Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

Presentación personal

- **Kohei Fujita**

- **Área de investigación:** Aplicación de computación de alto rendimiento para resolver problemas de ingeniería sísmica a gran escala.



2014: Dr. en Ingeniería, Dpto. de Ingeniería Civil, UTokyo



2014-2017: Posdoctorado en RIKEN (Japón)



2017-actualidad: Earthquake Research Institute, UTokyo

- **Julian Palacios**

- Estudiante de doctorado en la Universidad de Tokio (becario MEXT); egresado de la UNI

- **Objetivo colaborativo:** incorporar capacidades de computación de alto rendimiento en aplicaciones de ingeniería sísmica



Motivación: Peligro Sísmico en la Infraestructura Costera de Lima

- Riesgo de falla de taludes
 - Acantilados costeros empinados, vía rápida al pie del talud y desarrollo urbano denso en la parte superior
 - Existen varios estudios de observación de campo y análisis sobre falla de taludes
- Objetivo de este estudio
 - Usar modelos 3D para incorporar la geometría tridimensional y la heterogeneidad de materiales en la evaluación del peligro



Parte del acantilado de la Costa Verde, Lima



Ejemplo de observaciones de campo (IGP)

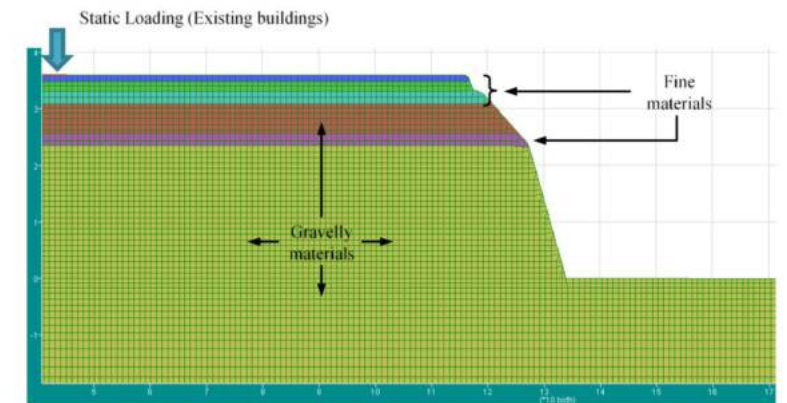
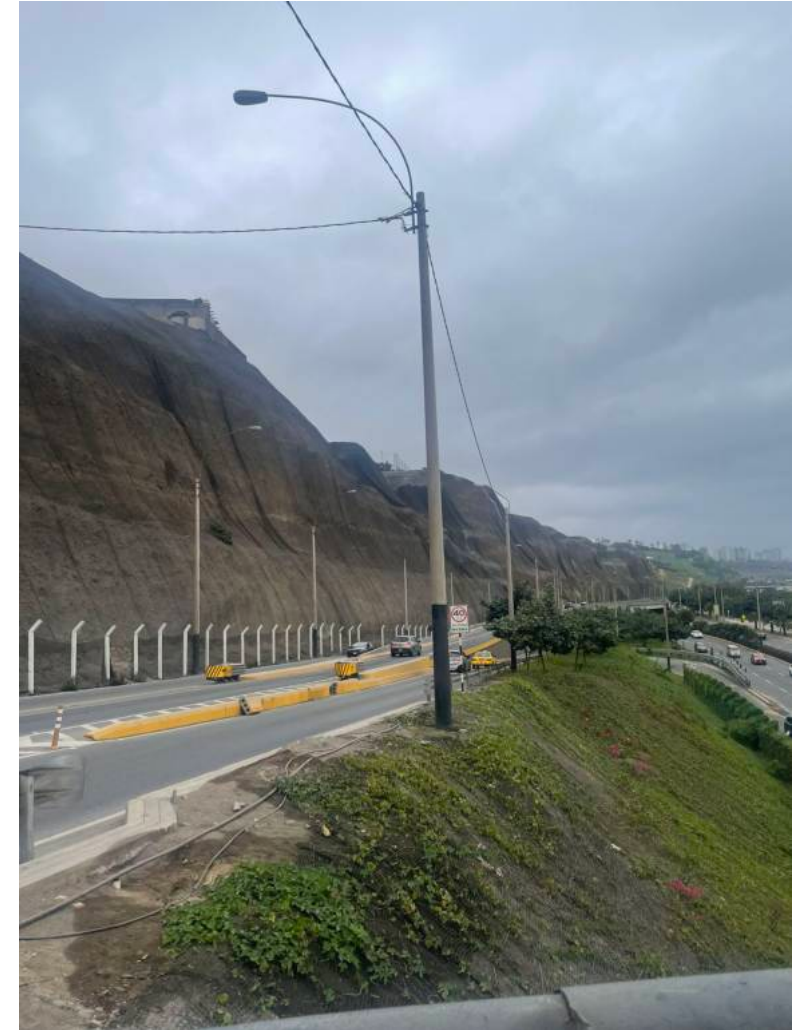


Fig. 3- Costa Verde Cliff Model (FLAC).

Ejemplo de análisis numéricos (Pretell y Aguilar, 2016)

Motivación: Peligro Sísmico en la Infraestructura Costera de Lima

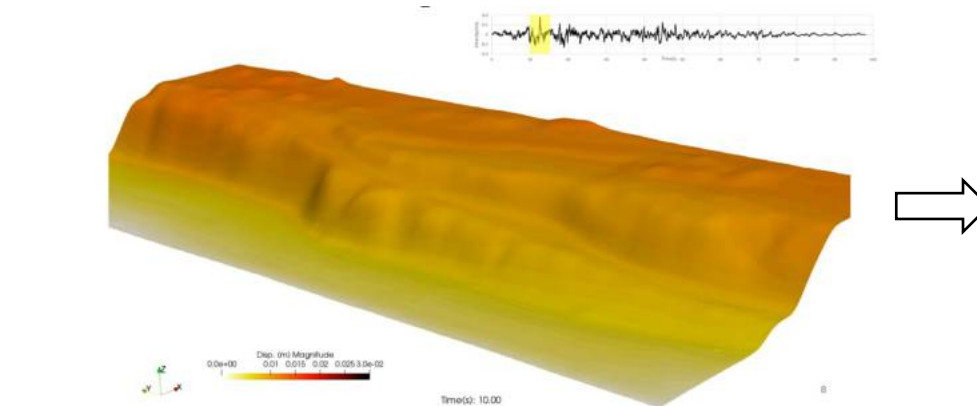


Enfoque integrado: De la Amplificación de Ondas al Riesgo Geotécnico

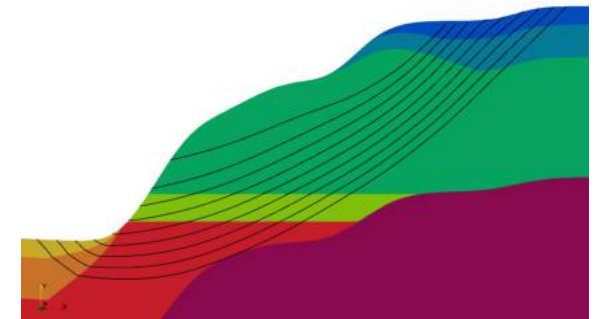
- Evaluar el riesgo sísmico combinando análisis de propagación de ondas 3D y el análisis de estabilidad de taludes
 - Estamos realizando una colaboración entre Japón y Perú iniciada por el Prof. Carlos Zavala y el Prof. Koichi Kusunoki, actualmente en el marco del proyecto ProCIENCIA (Prof. Miguel Díaz)
- Presentamos nuestro avance actual en dos partes
 - **Parte 1 (Esta Presentación):** Simulación 3D del movimiento del terreno para evaluar el campo de ondas dinámico que actúa sobre el acantilado
 - **Part 2 (Presentación de Julian Palacios):** Visualización y evaluación de estabilidad de taludes en modelos 3D



Área de estudio



Simulación 3D del movimiento del terreno

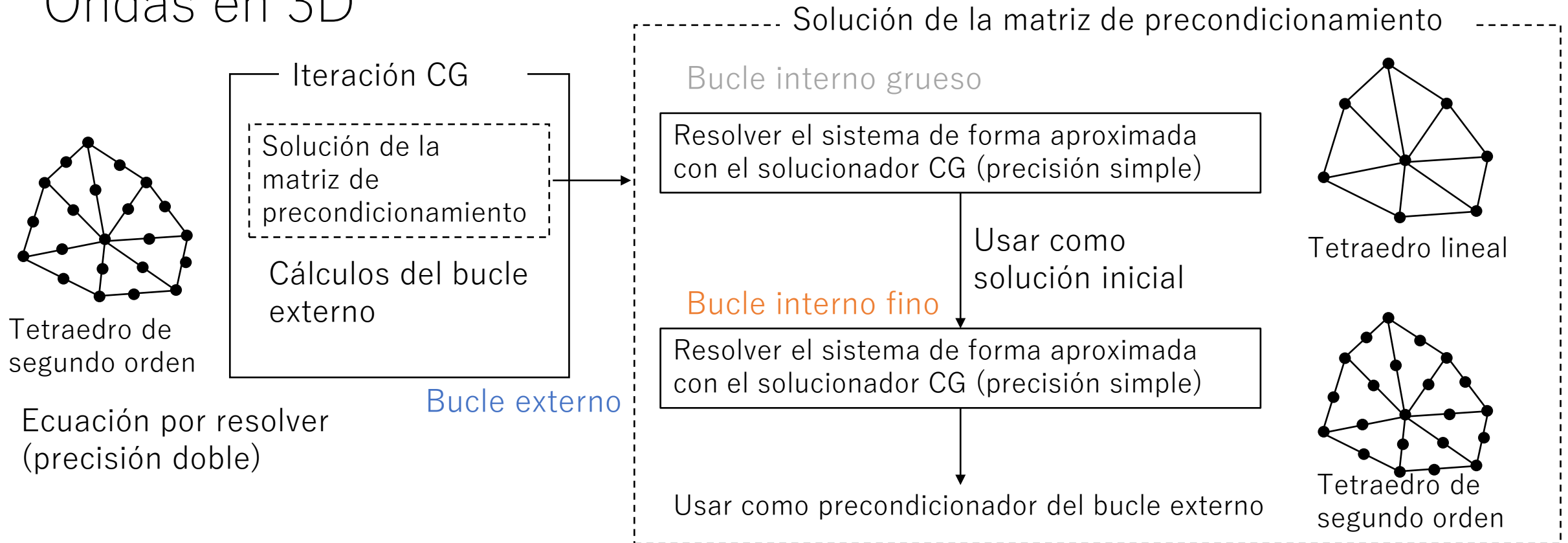


Análisis de estabilidad de taludes

Solver basado en la Física para la Propagación de Ondas en 3D

- Problema objetivo
 - Geometría compleja, heterogeneidad/no linealidad del material
 - Se requieren soluciones numéricamente convergentes para lograr simulaciones confiables.
- Uso del MEF no estructurado con integración temporal implícita para resolver la ecuación de ondas en 3D
 - Resulta en la resolución de la siguiente ecuación lineal para cada uno de los 10^4 pasos de tiempo, con un gran número de incógnitas:
$$\left(\frac{4}{dt^2} \mathbf{M} + \frac{2}{dt^2} \mathbf{C}^n + \mathbf{K}^n \right) \delta \mathbf{u}^n = \mathbf{f}^n - \mathbf{q}^{n-1} + \mathbf{C}^n \mathbf{v}^{n-1} + \mathbf{M} \left(\mathbf{a}^{n-1} + \frac{4}{dt} \mathbf{v}^{n-1} \right)$$
- Diseño de un Solver rápido y escalable, capaz de utilizar sistemas de cómputo CPU/GPU
 - Permite un uso eficiente en una amplia variedad de sistemas (Workstation, clústeres de cómputo, supercomputadoras)

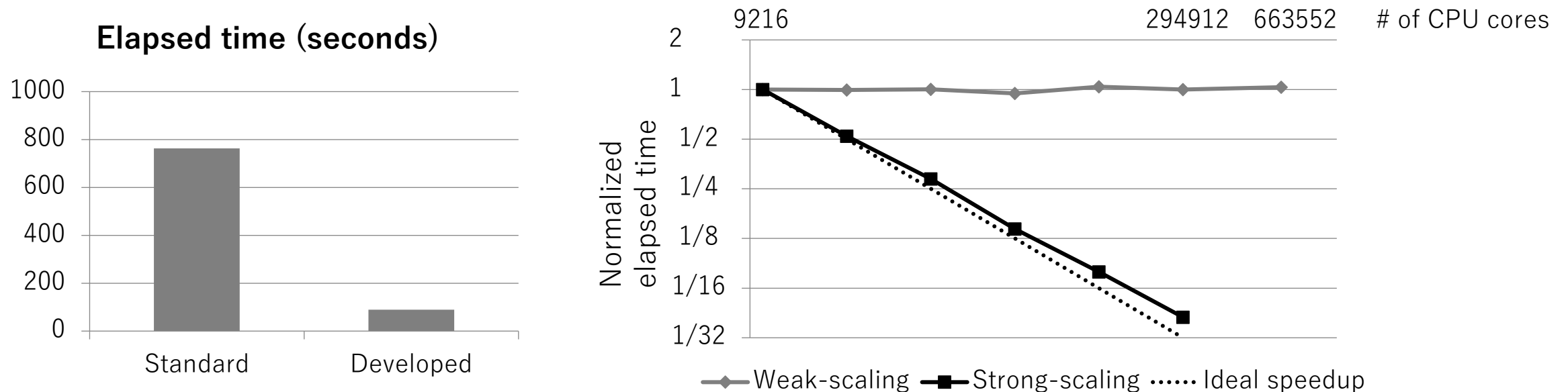
Ejemplo de un Solver rápido y escalable para propagación de Ondas en 3D



- Resolver la matriz de preconditionamiento de forma aproximada para reducir el número de iteraciones CG
 - Usar el método multigrilla geométrico para reducir el costo del preconditionador
 - Usar precisión simple en el preconditionador para reducir el cómputo y la comunicación

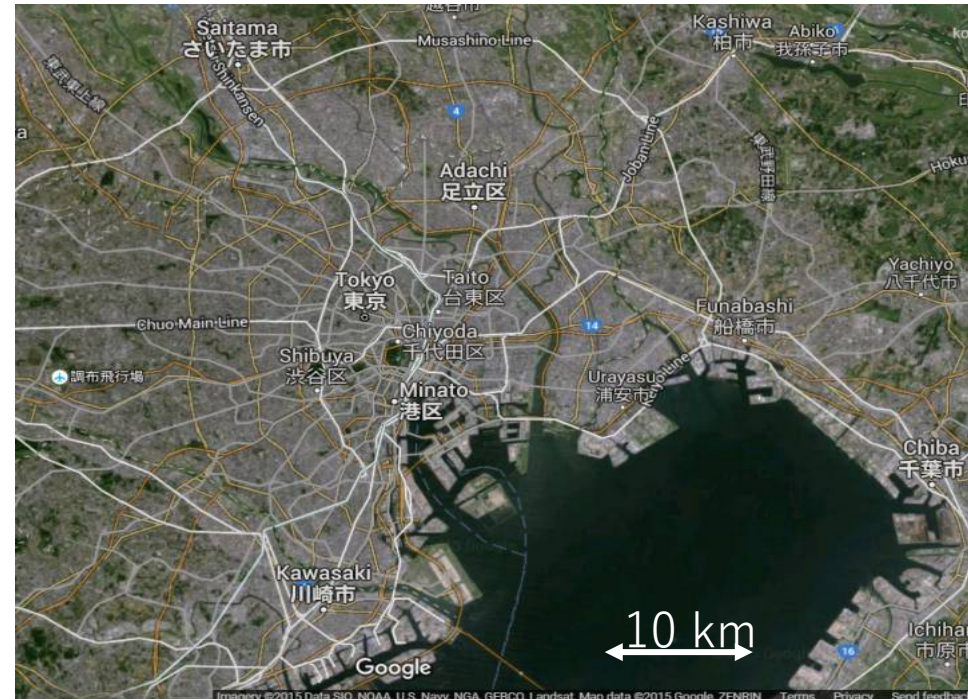
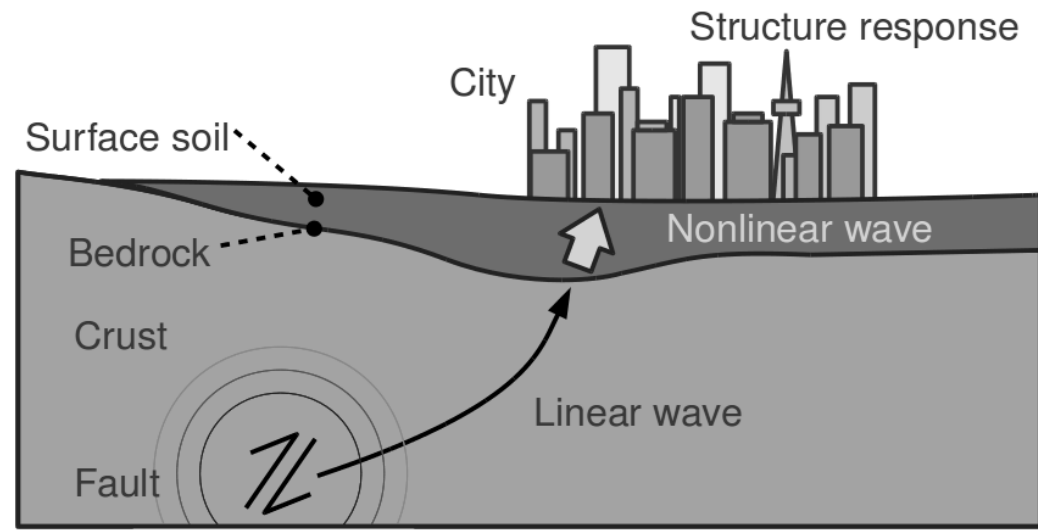
Rendimiento del Solver Desarrollado:

- 8.6 veces más rápido que el solver convencional
- Escalable a un gran número de núcleos de CPU
- Permite análisis rápido en diversos entornos de cómputo



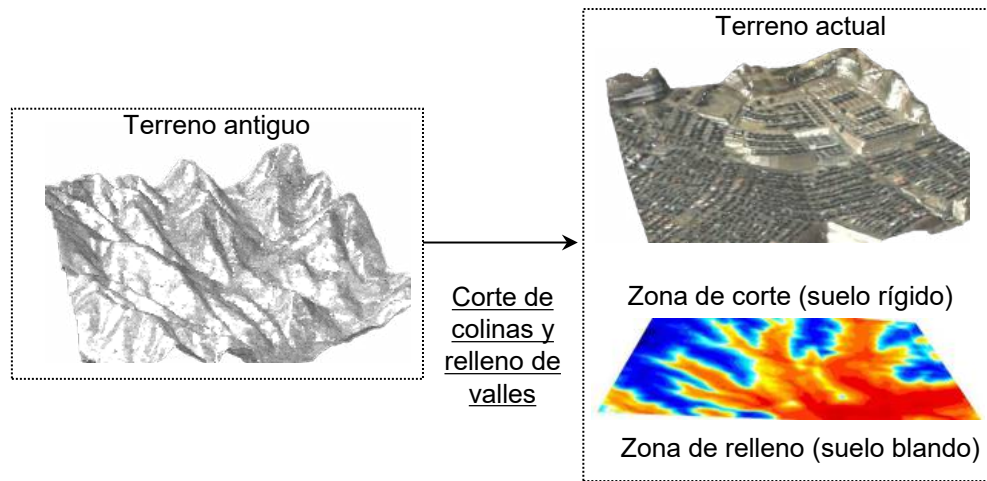
Demostración: Dinámica de ondas en 3D a gran escala (Tokio)

- Caso de uso en supercomputadora para la simulación de escenarios hipotéticos.

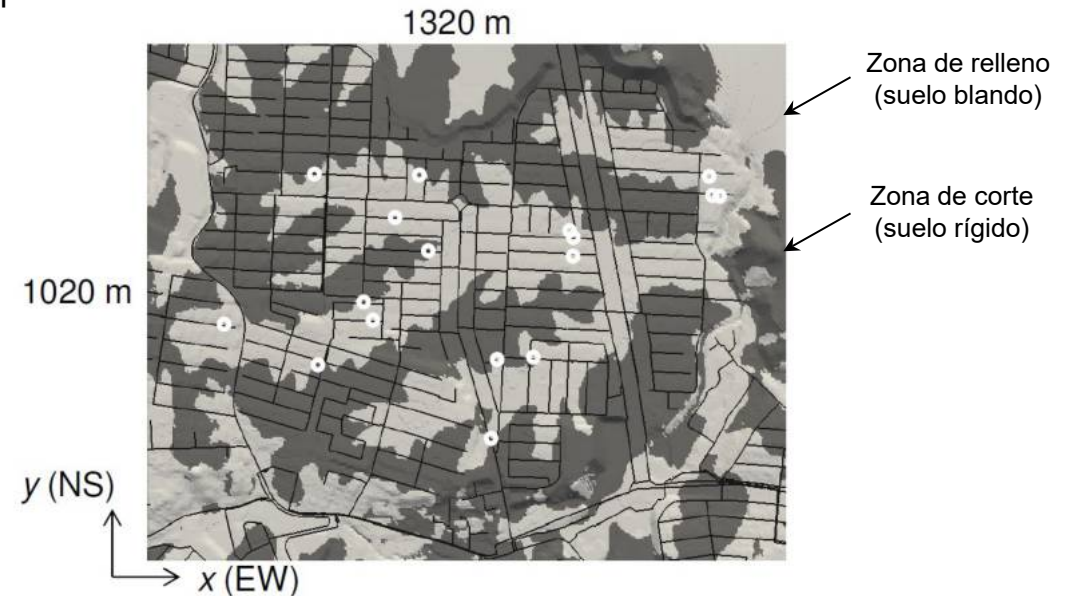


Caso de uso en el distrito de Sendai (Terremoto de Tohoku de 2011)

- Muchas tuberías enterradas resultaron dañadas en una zona residencial de corte y relleno
 - El alto contraste en las propiedades del material provoca la concentración de deformación unitaria en el suelo.
- La concentración de ondas depende de la estructura 3D del suelo
 - Aplicación del método de simulación desarrollado para la detección de daños en tuberías de distribución de agua



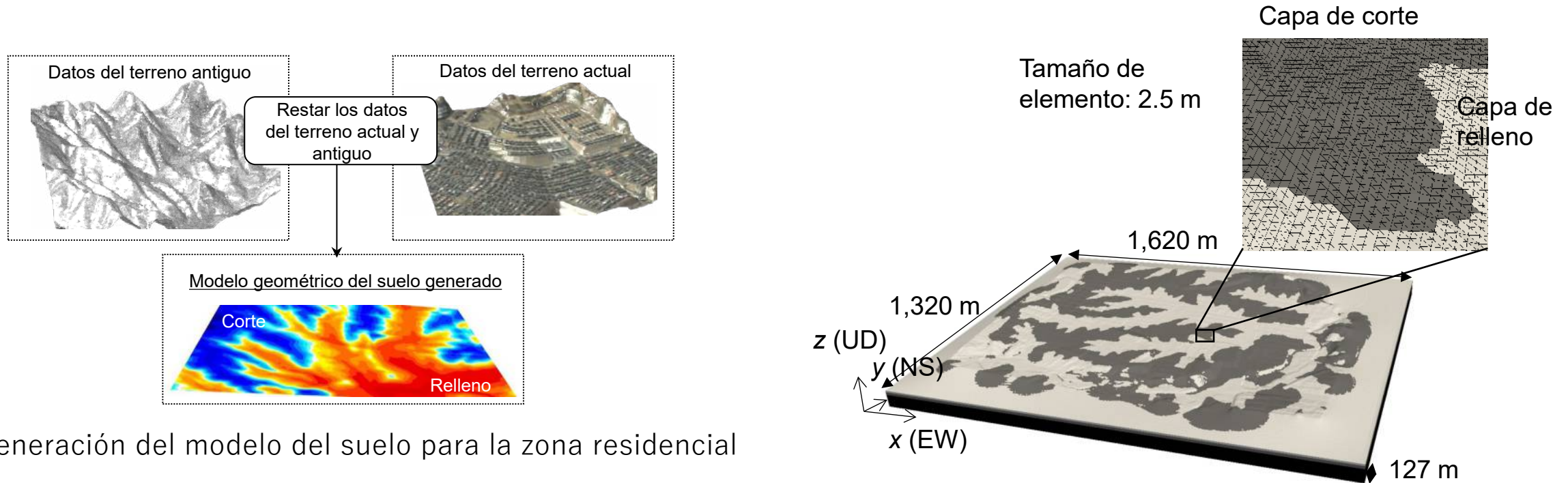
Zona residencial de corte y relleno



Daños durante el terremoto de Tohoku de 2011 (círculos blancos)

Caso de uso en el distrito de Sendai (Terremoto de Tohoku de 2011)

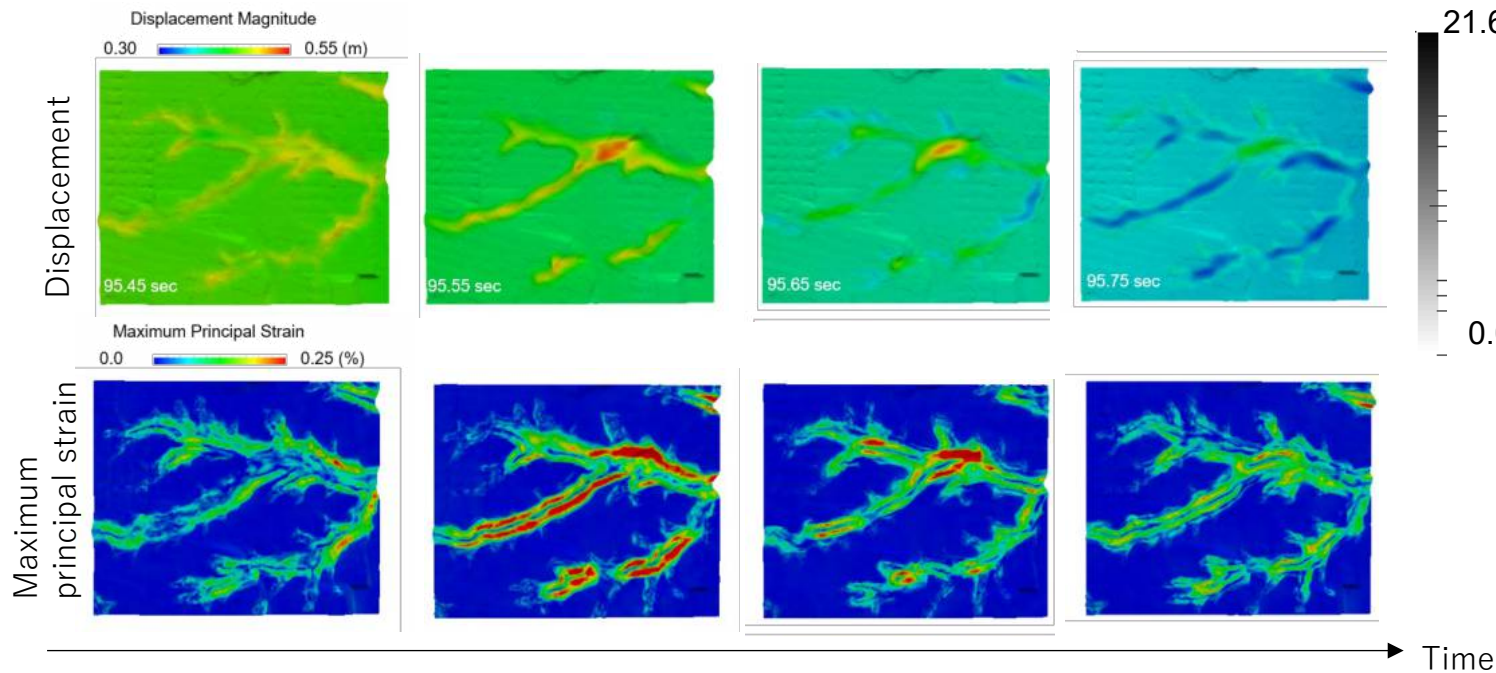
- El modelo alcanza 85,143,240 grados de libertad, pero el método de análisis rápido permite calcularlo en un clúster de cómputo pequeño



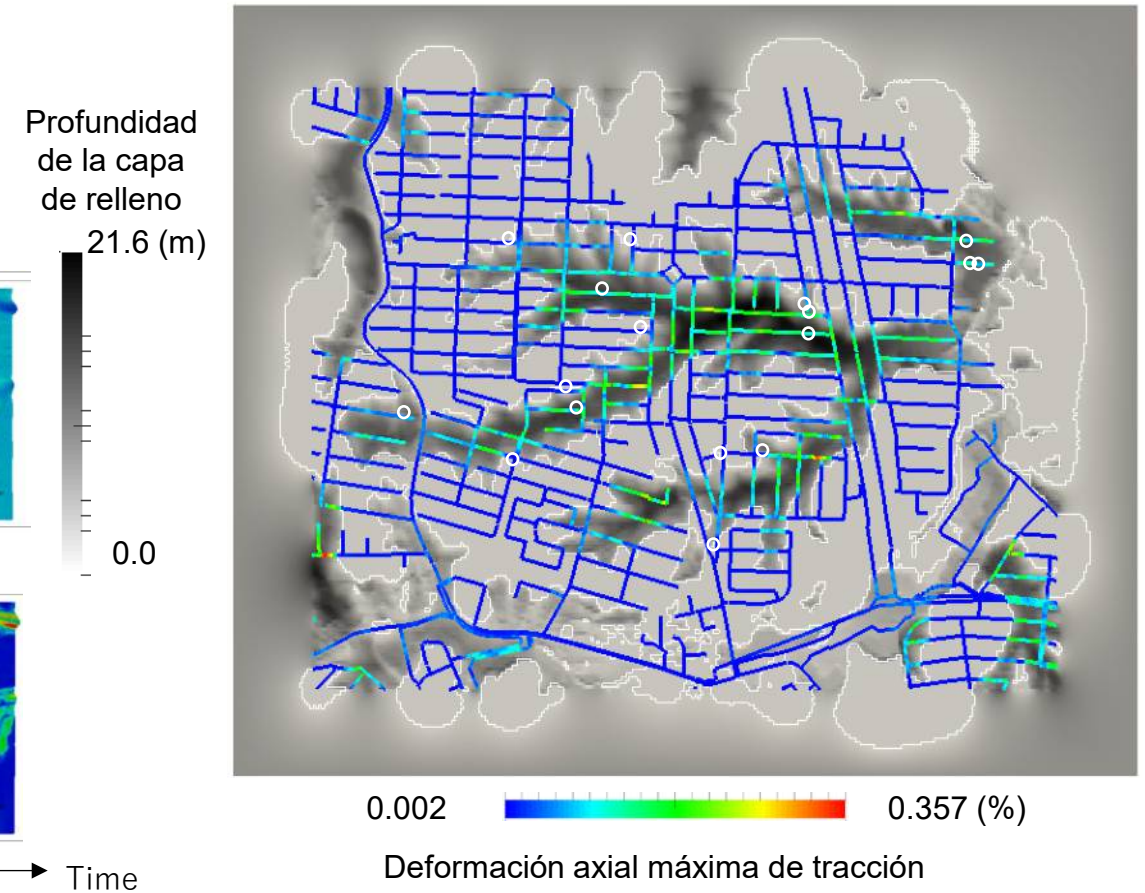
Generación del modelo del suelo para la zona residencial

Caso de uso en el distrito de Sendai (Terremoto de Tohoku de 2011)

- La deformación unitaria del suelo en la ubicación de la tubería es útil para la detección del daño sísmico



Tiempo-historia de la respuesta: Desplazamientos considerables en la zona de relleno provocan concentraciones de deformación unitaria en la interfaz de corte y relleno.



Deformación unitaria calculada en la ubicación de la tubería y comparación con datos reales de daño

Aplicación a Lima: Elaboración del Modelo 3D de Costa Verde

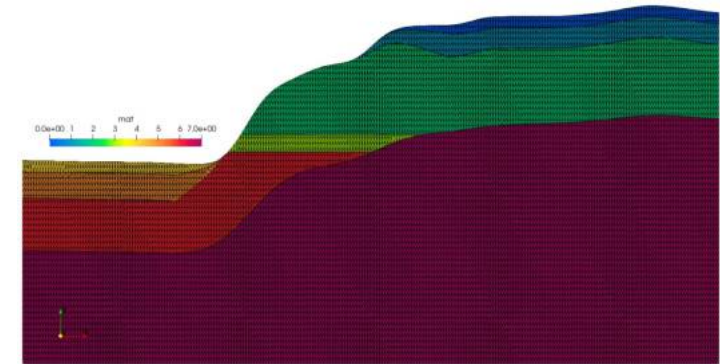
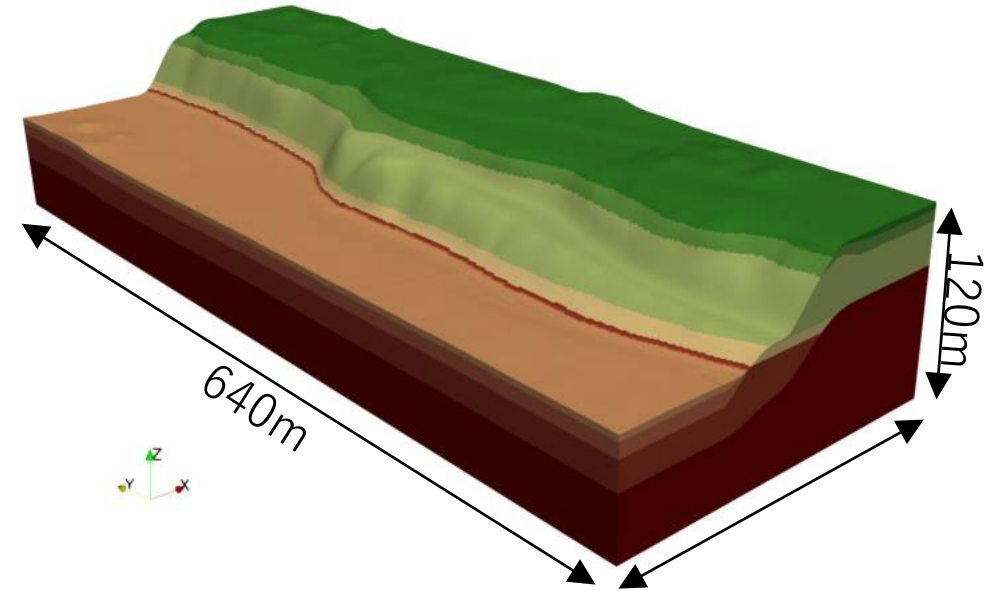
- Área de estudio
 - Distrito de Magdalena del Mar en la Costa Verde, Lima
- Análisis de la propagación de ondas 3D en esta zona para evaluar el peligro de falla de taludes



Zona urbana de alta densidad en la parte superior del acantilado



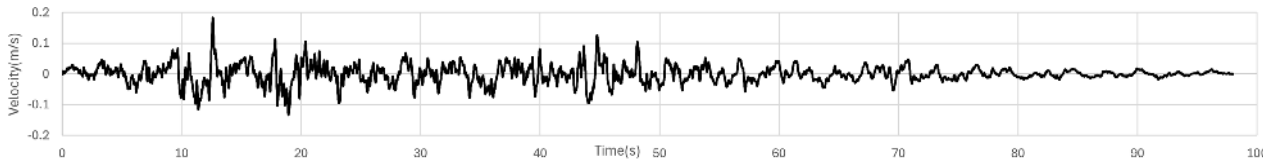
Vía rápida al pie y a media ladera del acantilado



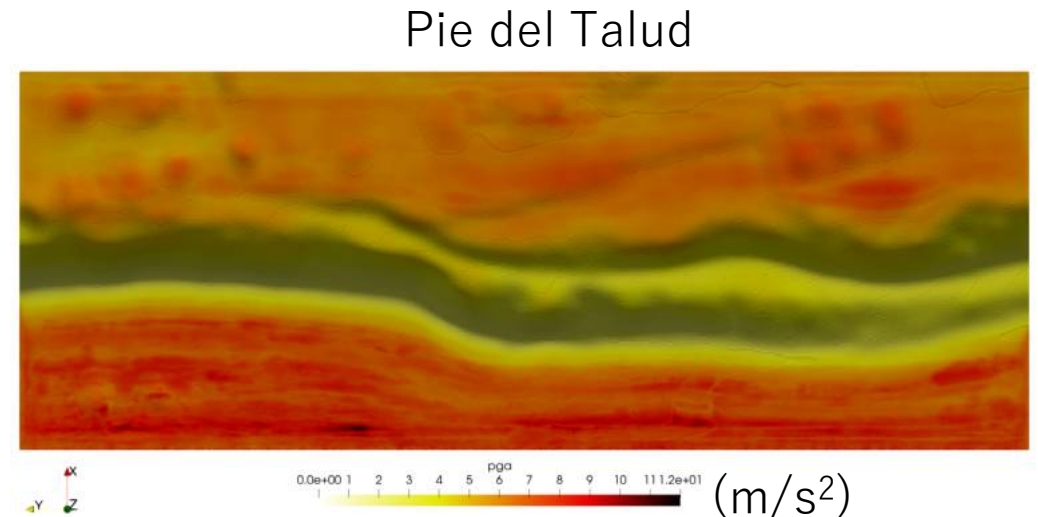
Modelo 3D generado y ejemplo de sección transversal

Aplicación a Lima: Modelo 3D de Costa Verde

- Calcular la respuesta al terremoto de Lima de 1974, escalado según el espectro de peligro uniforme de la base de datos de SENCICO.
- Gran volumen de datos espacio-temporales generados; ¿cómo aprovecharlos para la evaluación del peligro?



Tiempo-historia del Desplazamiento



Aceleración máxima en superficie

Resumen

- Estamos desarrollando una investigación colaborativa entre ERI/UTokyo y CISMID/UNI en el marco del proyecto ProCIENCIA
- El análisis 3D del movimiento del terreno potenciado con Computación de Alto Rendimiento proporciona datos de respuesta de ondas de alta fidelidad, necesarios para evaluar el peligro sísmico en geometrías complejas de acantilados
- El volumen de datos generado es grande; se requiere un trabajo adicional para usarlo en la evaluación del peligro sísmico
 - La presentación de la tarde de Julian Palacios se centrará en la visualización y la evaluación de falla de taludes