

Taller Binacional Sobre Prevención y Gestión de Riesgos y Catástrofes (Chile – Perú) 2016



Metodología DFS-Orientado al análisis de riesgo

Innovación en análisis avanzado de riesgo

Nicolás Valenzuela Saavedra
Matías Valenzuela Saavedra

Fecha: 8 y 9 de Marzo 2016

Trabajos realizados en Chile sobre desastres de tranques de relaves



Disaster Flow Simulation

Innovación en análisis avanzado de riesgo

Aplicación:

- Avalancha de lodo
- Avalancha de nieve
- Deslizamiento de escombros
- Deslizamiento de relave



Herramienta DFS es: Un software que permite determinar el movimiento de flujos no controlados como:

1. Piroclastos
2. Inundaciones
3. Avalanchas de nieve
4. Deslizamientos de lodos / relaves

Se necesita un equipo multidisciplinario como:



Alcances de la herramienta



Aplicación a través de simulación 2D y 3D de fluidos para la estimación de la distancia peligrosa para tranques de relaves.

Cómo se divide esta presentación:

1. La importancia de estimar la distancia peligrosa de las posibles fallas de los tranques de relaves
2. Funcionamiento Herramienta DFS
3. Herramienta DFS complemento Modelo SERNAGEOMIN.

Casos históricos - 1

Los Frailes – 1998 (España)



Los frailes-1998
(España)



Casos históricos - 1

Los Frailes – 1998 (España)

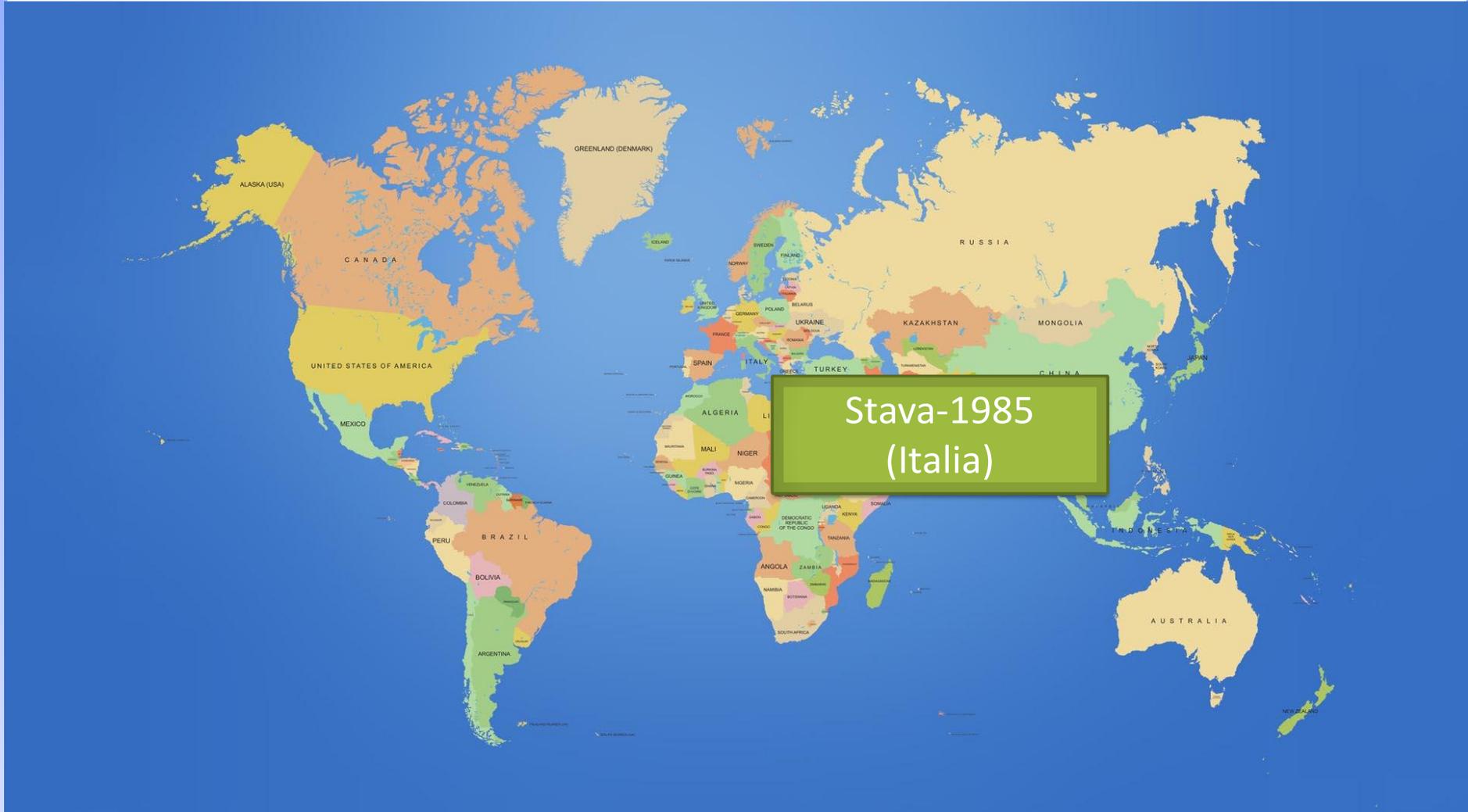


PAIS	ESPAÑA
Lugar	Los Frailes
Año	1998
Tipo de Tranque	Cobre y Zinc
Causa	Falla de la Fundación
Distancia	24 Km
Volumen	4.000.000 m ³
Principales Consecuencias	Contaminación Ambiental



Casos históricos - 2

Stava – 1985 (Italia)



Casos históricos - 2

Stava – 1985 (Italia)



PAIS	ITALIA
Lugar	Stava
Año	1985
Tipo de Tranque	Fluorita
Causa	Mala operación (licuación)
Distancia	3,5 Km
Volumen	200.000 m ³
Principales Consecuencias	Contaminación ambiental y 300 Muertos



Casos históricos - 3

Bafokeng – 1974 (Sudáfrica)



Bafokeng-1974
(Sudáfrica)

Casos históricos - 3

Bafokeng – 1974 (Sudáfrica)



PAIS	SUDÁFRICA
Lugar	Bafokeng
Año	1974
Tipo de Tranque	Plata
Causa	Falla de Diseño
Distancia	ND
Volumen	3.000.000 m ³
Principales Consecuencias	Contaminación Ambiental, Daño en Instalaciones y 13 Muertos



Casos históricos - 4

Mochikoshi – 1978 (Japón)



Mochikoshi-1978
(Japón)

Casos históricos - 4

Mochikoshi – 1978 (Japón)



PAIS	JAPÓN
Lugar	Mochikoshi
Año	1978
Tipo de Tranque	Oro
Causa	Licuação por sismo 7.0 Mercalli
Distancia	
Volumen	80.000 m ³
Principales Consecuencias	Contaminación Ambiental



Casos históricos - 5

La Ligua – 1965 (Chile)



La ligua-1965
(Chile)

Casos históricos - 5

La Ligua – 1965 (Chile)



PAIS	CHILE
Lugar	La Ligua
Año	1965
Tipo de Tranque	Cobre
Causa	Licuación por sismo entre 6-9 Mercalli
Distancia	12 Km
Volumen	2.300.000 m ³
Principales Consecuencias	Contaminación Ambiental , destrucción de la Población y más de 350 Muertos



Impacto

Estos desastres repercuten en:



Para el diseño y operación se debe calcular la distancia peligrosa que se establece en el artículo 14, letra q del D.S. 248



Sociedad



Medio Ambiente



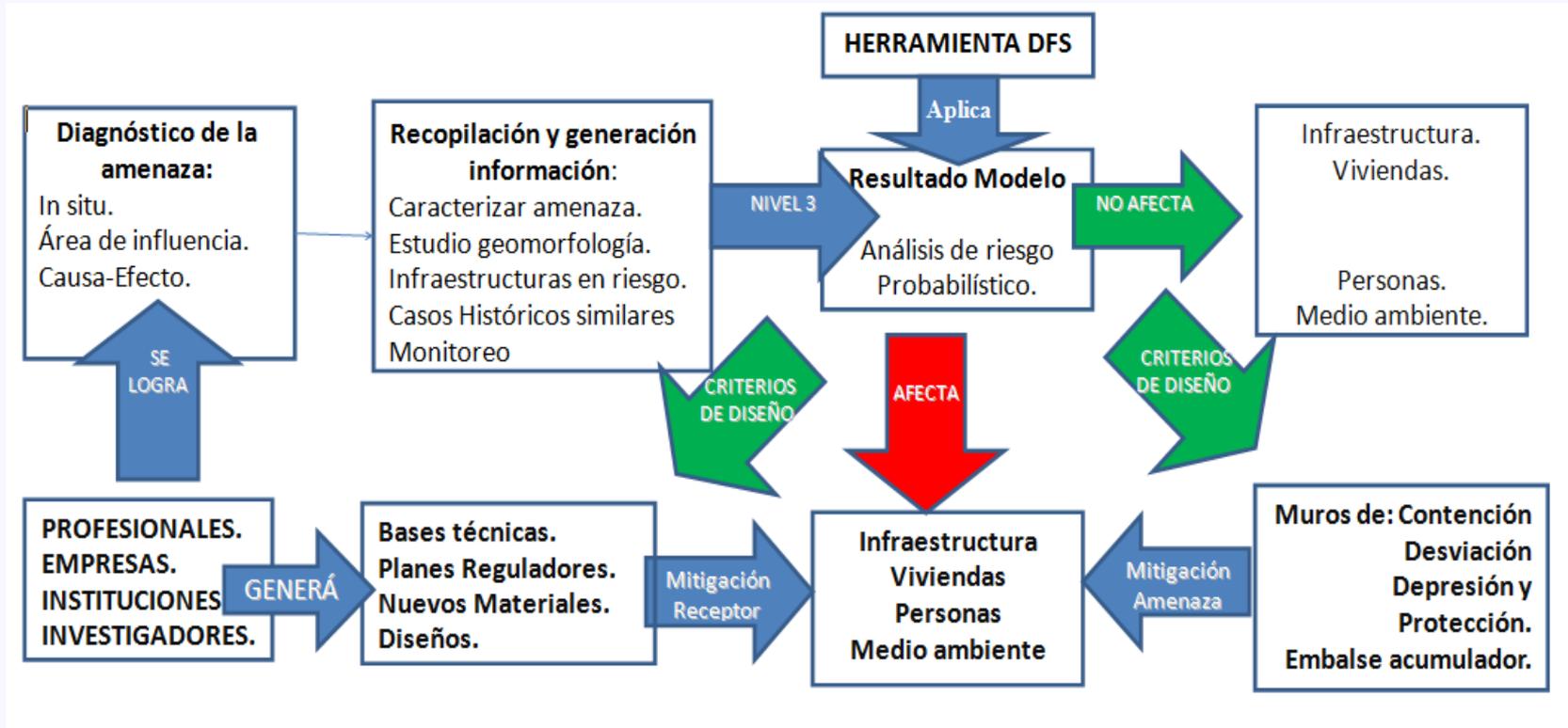
Economía

Metodología – Herramienta DFS



METODOLOGIA ORIENTADA AL ANALISIS DE RIESGO

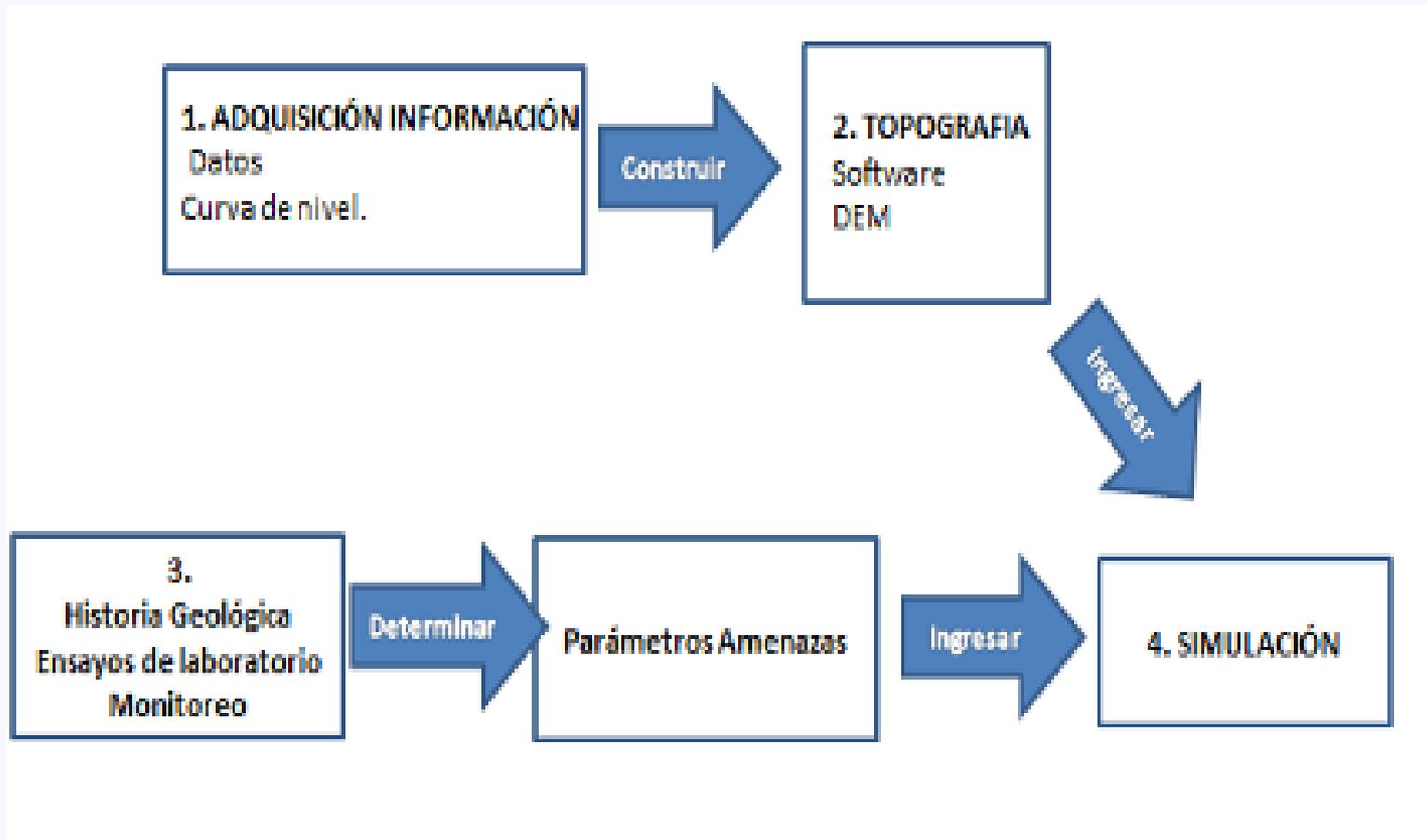
TRANQUE



VIVIENDAS



Metodología del software



VIVIENDAS



Modelos de simulación



Modelo de Rico, M

Este modelo recoge la información disponible sobre las fallas de represas de relaves históricos con la propósito de establecer correlaciones simples entre los parámetros geométricos de los tranques de relave y las características hidráulicas de inundaciones resultantes de liberado de relaves.

$$D_{\max} = 1,612 \times (H \times V_F)^{0,655} \quad r^2 = 0,57$$

$$V_F = 0,354 \times V_T^{1,008} \quad r^2 = 0,86$$

Dónde:

Dmax: Distancia máxima recorrido por el fluido.

H: Altura del tranque de relave.

VF: Volumen derramado.

VT: Volumen del tranque antes de colapsar.

r^2 : Factor de Confiabilidad

Modelos de simulación



Modelos de Lucia y Duncan

Paso 1 → se deben evaluar distintos valores de pendiente de reposo final de relaves, es decir $1^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ (con $\alpha \neq \beta$).

$$H_T = \frac{N_o * S_u}{\delta}$$

Paso 2 → se deben trazar los valores obtenidos de “HT” frente a los correspondientes valores de “ α ”, formando una “Curva de resistencia”.
Paralelamente, se debe estimar el volumen licuable de relaves (“Vt”).
En general se considera licuable un sexto del volumen total del depósito

Paso 3 →

$$H_T = \sqrt{A_1^2 * H_c^2 + A_2 * V_T} - A_3 * H_c$$

$$A_1 = \left(\frac{\tan \alpha}{\tan \alpha - \tan \beta} \right)^2$$

$$A_2 = \frac{2 * \tan^2 \alpha}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

Los valores de “HT” frente a sus correspondientes valores de “ α ”, definen una nueva curva, denominada “Curva de volumen”

$$A_3 = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha - \tan \beta}$$

$$H_c = \frac{4 * S_u}{\gamma}$$

Paso 4 → Los valores de “ α ” y “HT” en el punto de intersección, satisfacen a su vez las condiciones de estabilidad límite.

$$L = \frac{H_T - H_c}{\tan \alpha}$$

Modelos de simulación



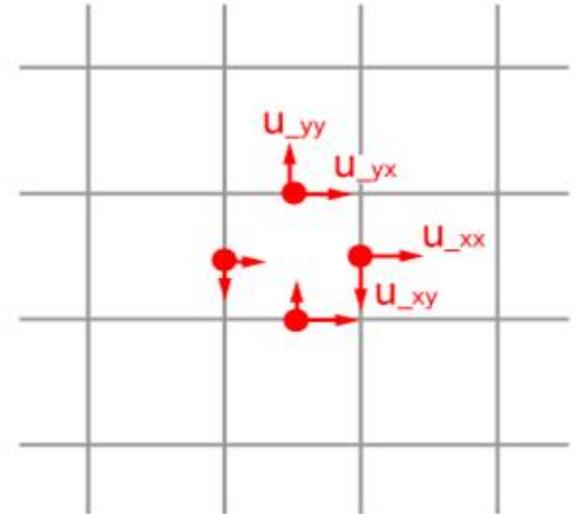
Modelos DFS

Este modelo de flujo, que se basa sobre el promedio vertical de ecuaciones de conservación de la masa y la cantidad de movimiento.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu_x) + \frac{\partial}{\partial y}(hu_y) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu_x) + \frac{\partial}{\partial x}(hu_x^2) + \frac{\partial}{\partial y}(hu_xu_y) = gh \sin \alpha_x - \frac{1}{2} k_{actpass} \frac{\partial}{\partial x}(gh^2 \cos \alpha) + \frac{T_x}{\rho}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu_y) + \frac{\partial}{\partial x}(hu_y^2) + \frac{\partial}{\partial y}(hu_yu_x) = gh \sin \alpha_y - \frac{1}{2} k_{actpass} \frac{\partial}{\partial y}(gh^2 \cos \alpha) + \frac{T_y}{\rho}$$



El modelo ya fue probado:

Con soluciones analíticas exactas (Mangeney et al. 2000)

Experiencias de laboratorio (Savage and Hutter, 1991; Pouliquen and Forterre, 2002; et Gray et al. 2003)

h: Altura del Fluido

u: Velocidad del Fluido

g: Gravedad

T: Resistencia de roce del Fluido

P: Densidad

Comparación de Modelos



Ventajas del Modelo DFS

Características	Rico, M.1, Benito2, G., Díez- Herrero, A	LUCIA, P.C., DUNCA, J.M., AND SEED, H.B. (1981)	Modelo DFS
Se puede visualizar el comportamiento del fluido sobre topografía	No	No	Si
Genera múltiples salidas graficas para presentar el resultado	No	No	Si
Velocidad de procesamiento	Alta	Alta	Variable
Se puede analizar el comportamiento del fluido considerando medidas de contención	No	No	Si
Precisión en el comportamiento del fluido	Baja	Media	Alta
Se puede visualizar el comportamiento en fallas puntuales de los tranques de relaves	No	No	Si
Variables que se consideran en el calculo	Considera 2	Considera 5	Considera al menos 8

Comparación de Datos

Datos y respuestas de modelos



Floods from tailings dam failures Rico, M.1, Benito2, G., Díez-Herrero, A	LUCIA, P.C., DUNCA, J.M., AND SEED, H.B. (1981) "Summary of research on case histories of flow failures of mine tailings impoundments"	Modelo DFS	← Modelos
			Parámetros
Volumen derramado	Volumen derramado	Volumen derramado	Ingreso de datos
Volumen tranque	Altura tranque estable	Angulo de fricción interna y basal	
Altura tranque	Densidad	Densidad	
	Párametros residual de resistencia al corte	Cohesión	
	Angulo de reposo	Coefficiente estrés turbulento o colisional	
		Viscosidad	
		Aceleración	
		Topografía	
		Partida del flujo	
Distancia	Distancia	Tiempo	Respuesta
		Velocidad máxima Promedio	
		Espesor	
		Distancia y área de inundación	
		Imágenes 2 y 3 D	
		Videos 2 Y 3 D	

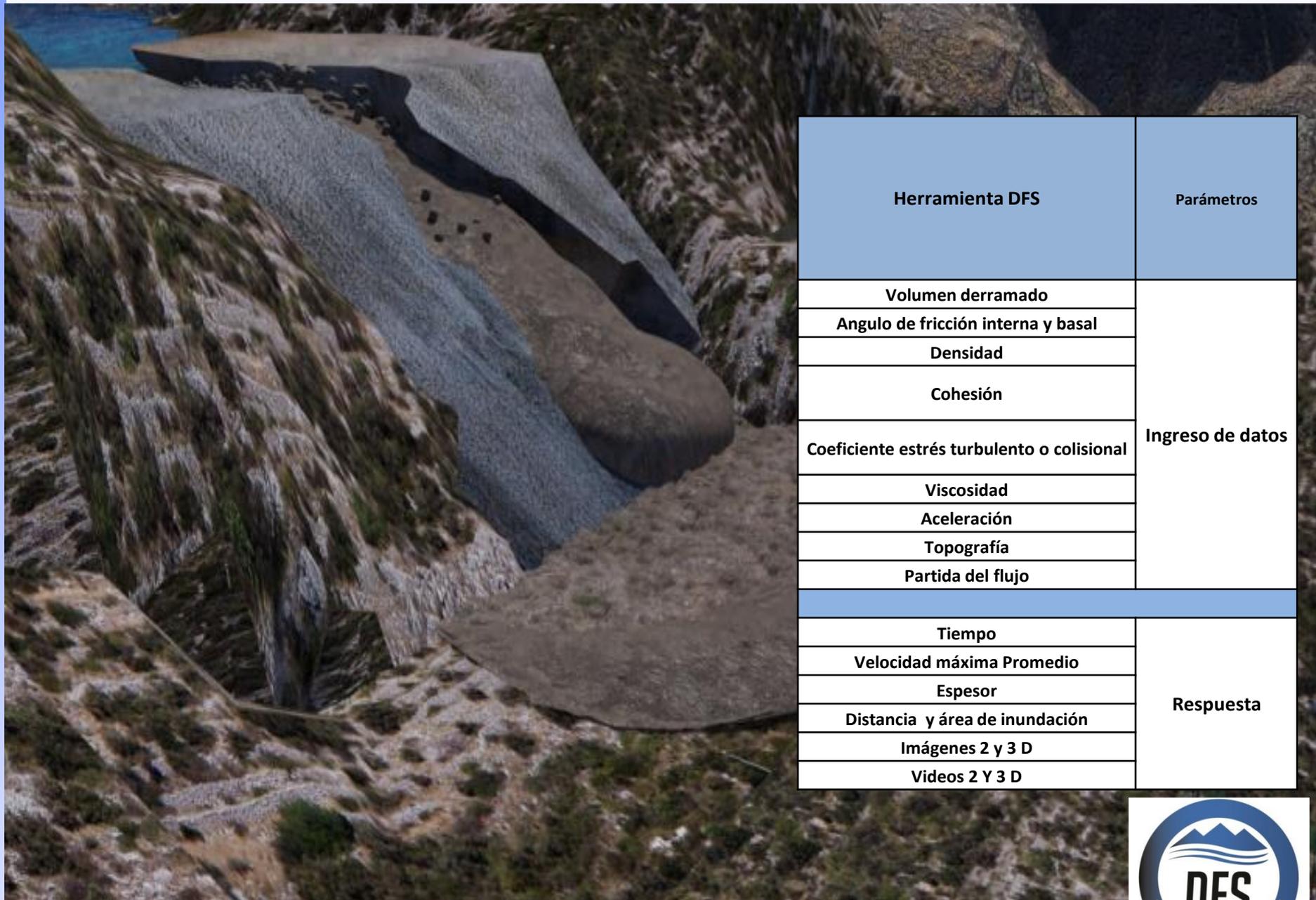
Ejemplos de simulación

Simulación de nuestros modelos





Rotura del tranque.



Herramienta DFS	Parámetros
Volumen derramado	Ingreso de datos
Angulo de fricción interna y basal	
Densidad	
Cohesión	
Coefficiente estrés turbulento o colisional	
Viscosidad	
Aceleración	
Topografía	
Partida del flujo	
Tiempo	Respuesta
Velocidad máxima Promedio	
Espesor	
Distancia y área de inundación	
Imágenes 2 y 3 D	
Videos 2 Y 3 D	



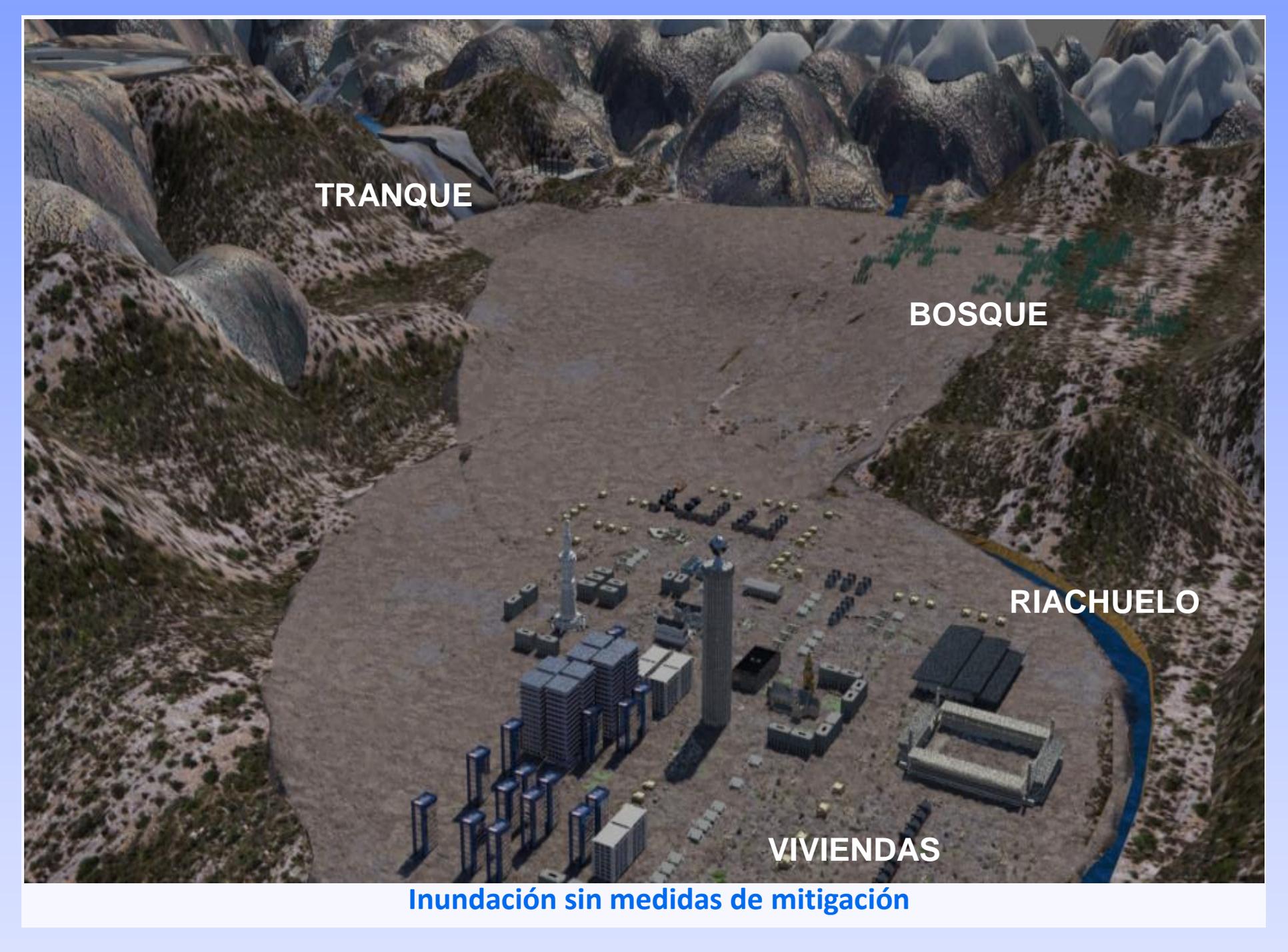
Rotura del tranque.



Características	Herramienta DFS
SE PUEDE VISUALIZAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO SOBRE TOPOGRAFÍA	Si
GENERA MÚLTIPLES SALIDAS GRAFICAS PARA PRESENTAR EL RESULTADO	Si
RÁPIDA VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO	Variable
SE PUEDE ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO CONSIDERANDO MEDIDAS DE CONTENCIÓN	Si
PRECISIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO	Alta
SE PUEDE VISUALIZAR EL COMPORTAMIENTO EN FALLAS PUNTUALES DE LOS TRANQUES DE RELAVES	Si
VARIABLES QUE SE CONSIDERAN EN EL CALCULO	Considera al menos 8

Rotura del tranque.



An aerial view of a flooded urban area in a mountainous region. The scene shows a large, brown, muddy floodwater covering a significant portion of the landscape. In the foreground, there is a cluster of buildings, including several tall, blue, rectangular structures and a few smaller, grey buildings. A road or path is visible, partially submerged. The surrounding terrain is rugged and rocky, with some sparse vegetation. The sky is overcast, and the overall atmosphere is somber and desolate.

TRANQUE

BOSQUE

RIACHUELO

VIVIENDAS

Inundación sin medidas de mitigación

An aerial 3D rendering of a city built in a valley. A blue river flows through the valley, winding around the city. The city is composed of various buildings, including several tall skyscrapers and a large, rectangular building. The surrounding landscape is rugged with brown and grey mountains and sparse green vegetation. Several yellow lines are drawn on the slopes of the mountains, possibly indicating paths or boundaries. The sky is a pale, hazy blue.

TRANQUE

BOSQUE

RIACHUELO

VIVIENDAS

Ciudad antes del colapso del tranque.



TRANQUE

**MURO
GAVIONES**

BOSQUE

Medidas de mitigación

MURO GAVIONES

RIACHUELO

VIVIENDAS

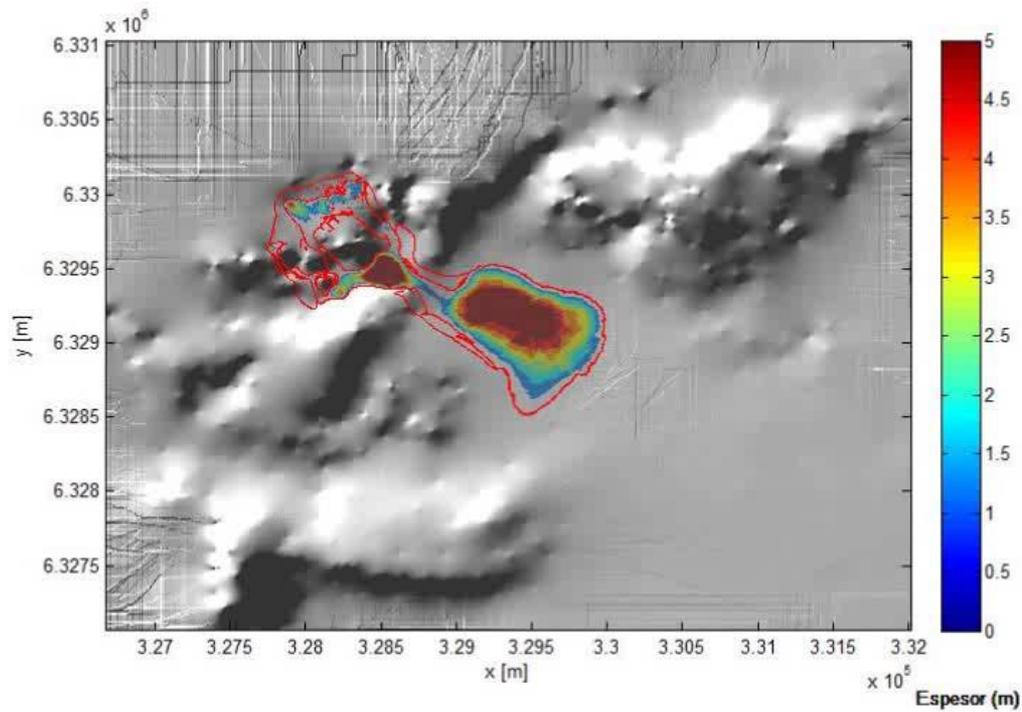
Inundación con medidas de mitigación

Resultados

Conclusiones de la simulación

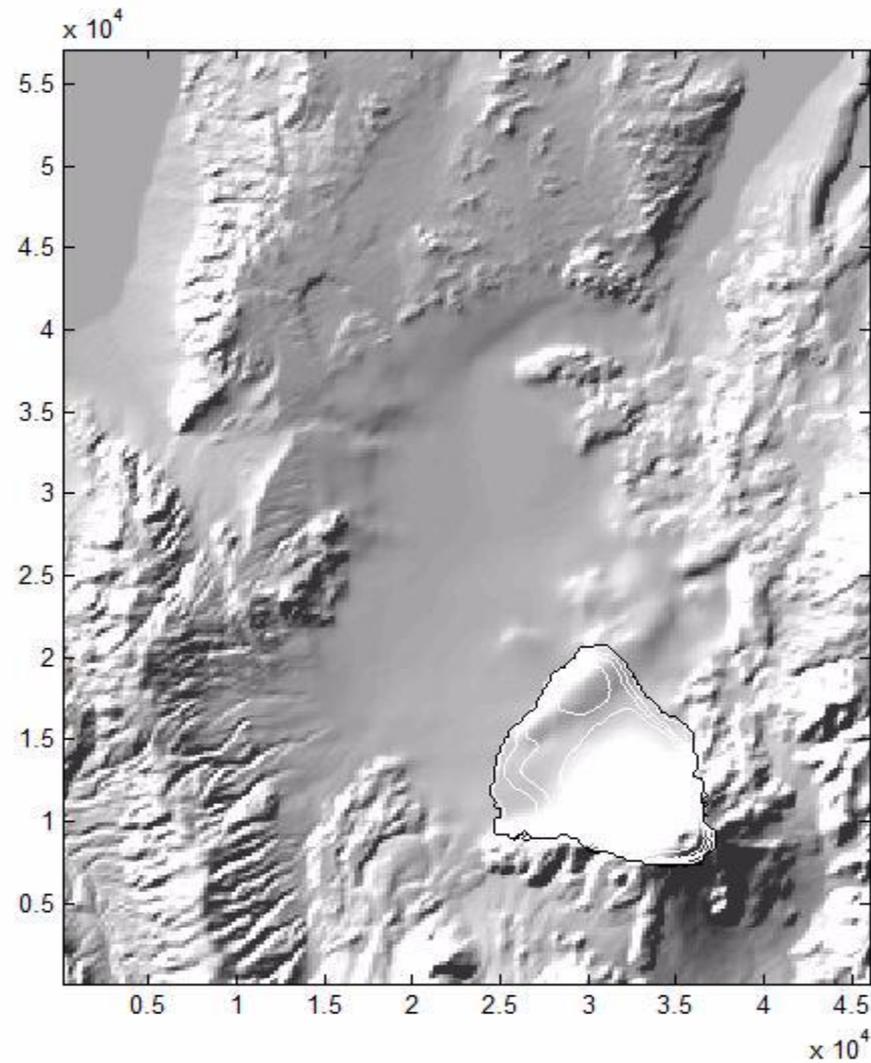


La simulación propone conocer el área de inundación y posteriormente poder tomar decisiones para construir medidas de mitigación como muros de contención, de desviación, depresores de energía, refuerzos en las infraestructuras, entre otras.



Ver video de simulación, en el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=UWxLfcTm6lM>



Ver video de simulación, en el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=XZhgHwfkCog&feature=youtu.be>



Ver video explicativo, en el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=ObPiikbuchY#action=share>