

Secuencias óptimas de extracción usando modelos matemáticos y HPC

Jorge Amaya, CMM
Pierre Nancel-Penard, CMM
Nelson Morales, DELPHOS-AMTC
Universidad de Chile

5to. Seminario Acercamiento Tecnológico
Calama, 3-4 junio, 2010





Este es un trabajo financiado por CONICYT

Fondef
FONDO DE FOMENTO AL DESARROLLO
CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO

Trabajo de colaboración de 4 entidades

Universidad Adolfo Ibáñez



Universidad de Chile

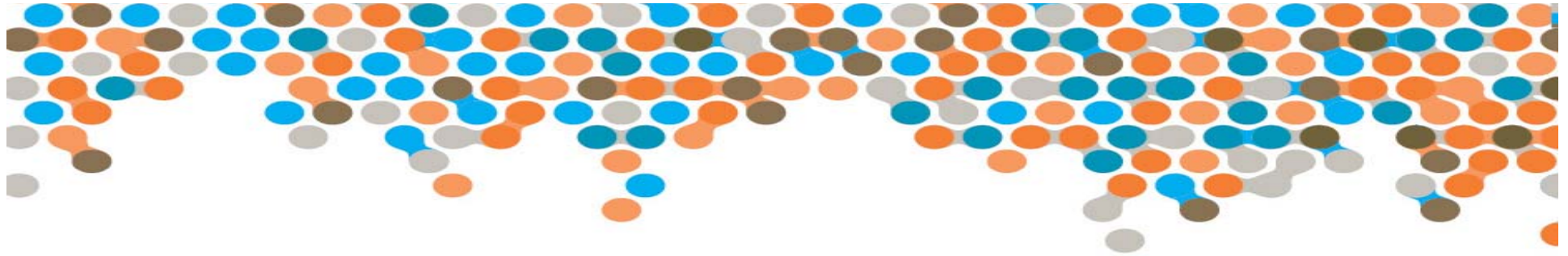


Universidad de la Frontera



IM2-Codelco





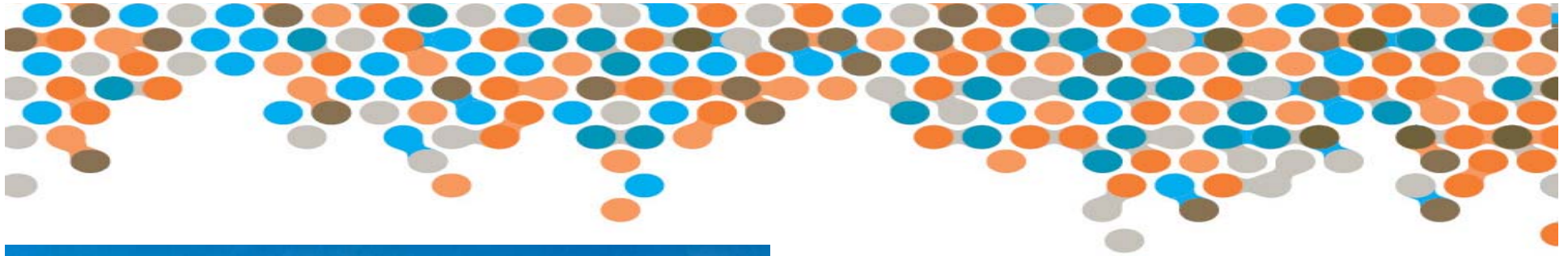
Contenidos

1. Cuál es el problema?
2. Objetivos
3. Esquema de planificación
4. El modelamiento matemático
5. Esquema de algoritmos y software
6. Cuál es servicio?

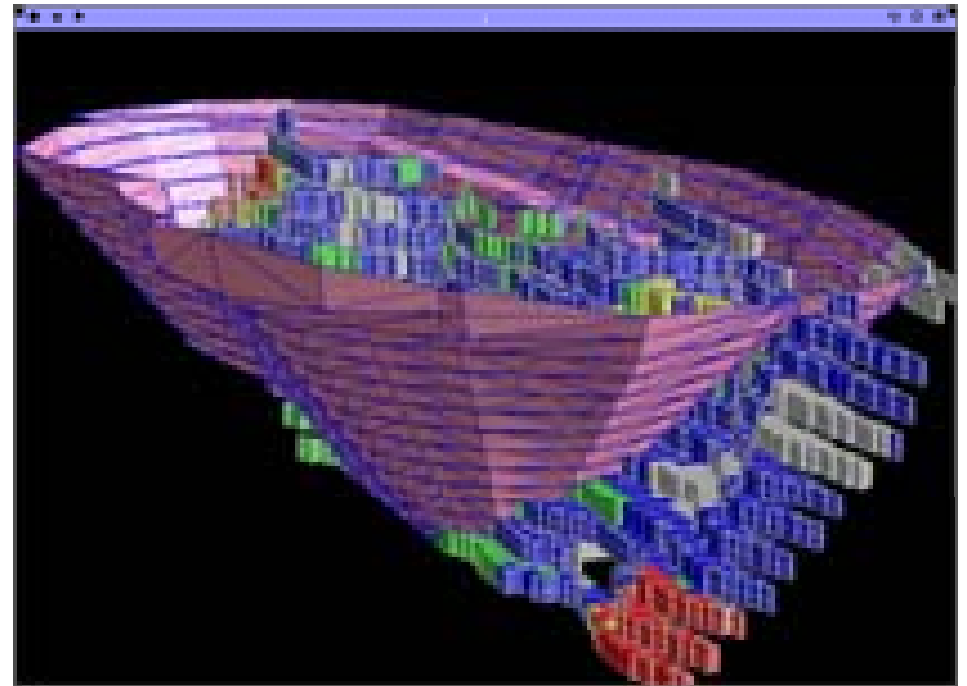
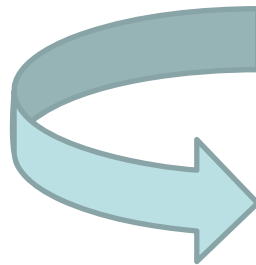


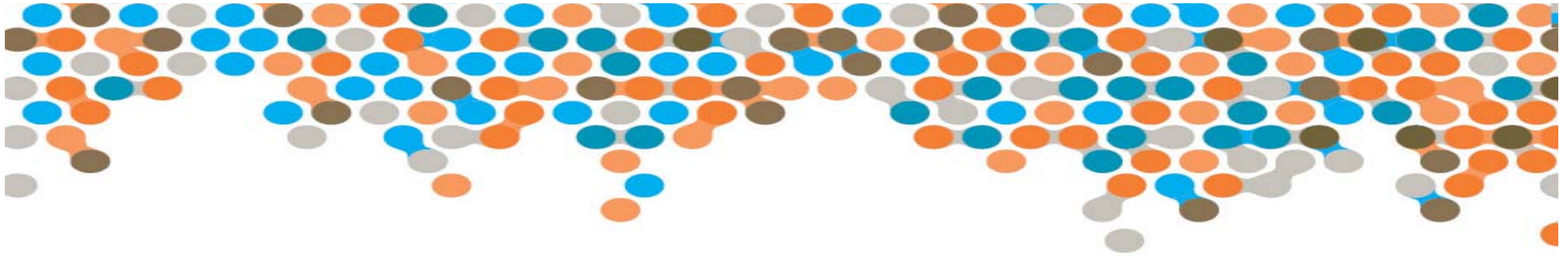
Cuál es el problema?

- La planificación juega un rol muy importante en el negocio minero, pues el valor de la reserva determina el valor económico aguas abajo del proceso y los flujos futuros.
- En particular, los conceptos de robustez no siempre son bien evaluados (riesgos asociados a la calidad de la información, a las variaciones de precios...).
- Encontrar el orden óptimo (**secuenciamiento**) en que deben ser habilitadas las áreas de una mina para su explotación es un problema de cálculo muy difícil, lo que impide analizar múltiples escenarios.
- Es muy relevante entonces disponer de una herramienta que permita encontrar planes de mayor valor económico, robustos ante cambios de escenario.



Modelo de bloques
Imagen idealizada





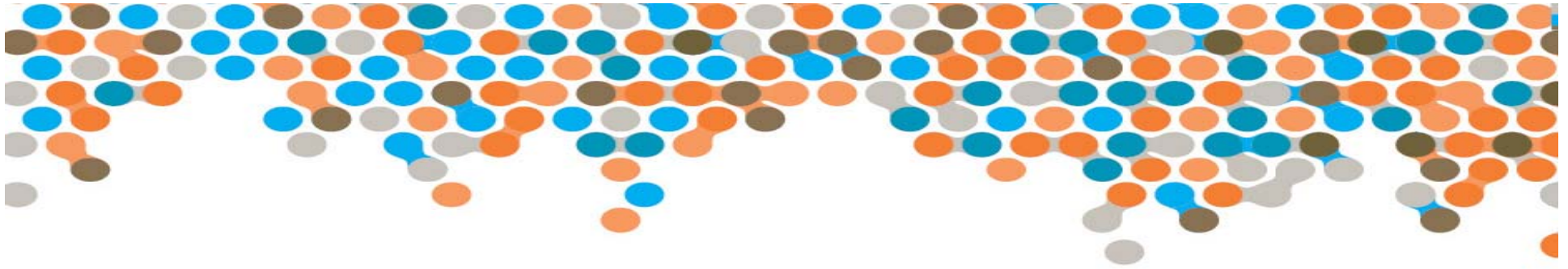
Objetivo: la planificación minera

Este problema puede ser esencialmente formulado como sigue: dada una estimación de la distribución del valor (leyes) in-situ, el planificador debe elegir una **secuencia espacio/temporal de extracción de los bloques**.

El objetivo es **maximizar el valor del negocio a largo plazo**, respetando entre otras las restricciones de:

- Capacidad de extracción
- Capacidad de planta
- Ángulos de talud
- Relación lastre/mineral
- Destinos

Esto origina problemas matemáticos de **Optimización de gran tamaño**.



Esquema de planificación

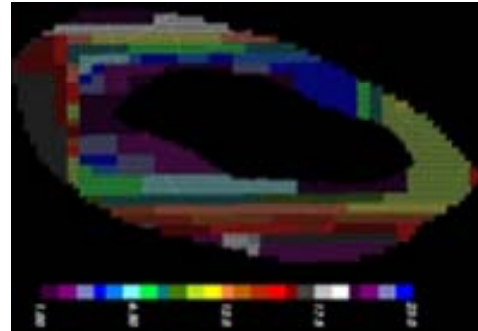
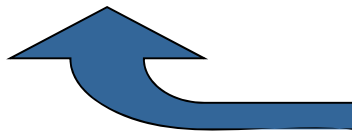
- **Bloqueo/Rebloqueo :**
Se agrupan los bloques en *macrobloques* o *macrounidades* correspondientes a sectores
- **Secuencia Optimizada:**
Con el anterior rebloqueo se utiliza un algoritmo optimizador que, considerando las restricciones específicas de rajo, encuentra la secuencia de mejor VAN
- **Validación:**
Como resultado del algoritmo se obtiene una secuencia de explotación.
 - Volver a la etapa de rebloqueo con nueva información
 - Seguir con la fase de operativización
- **Operativización:**
En esta fase la secuencia final se ve convertida en un plan minero completo



Esquema de planificación

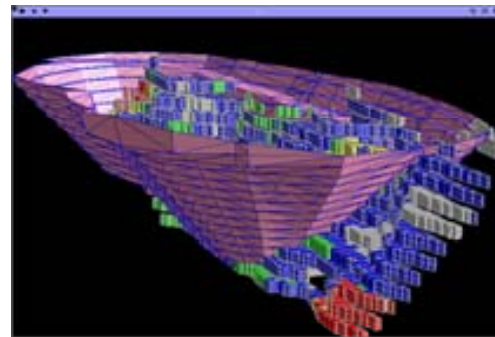


Operativización

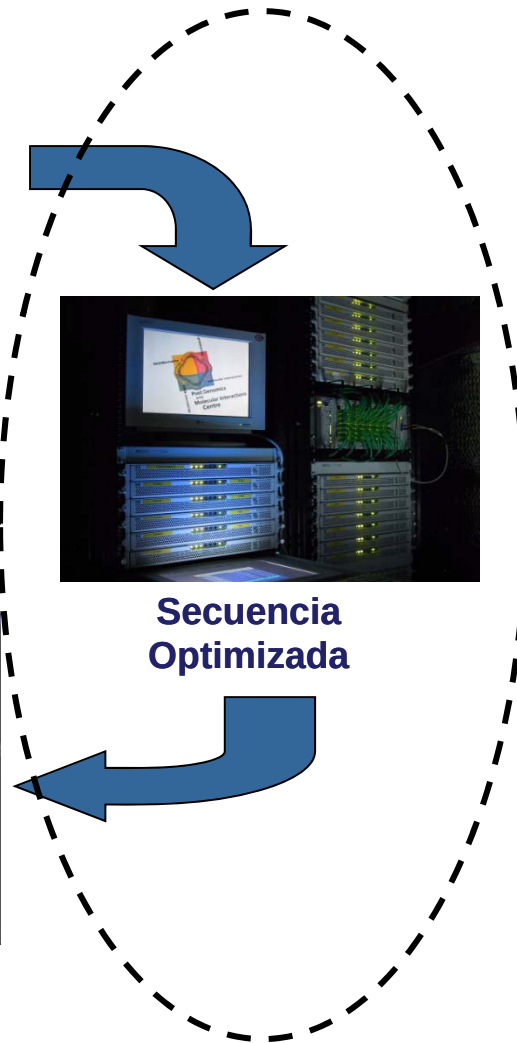


Bloqueo/Rebloqueo

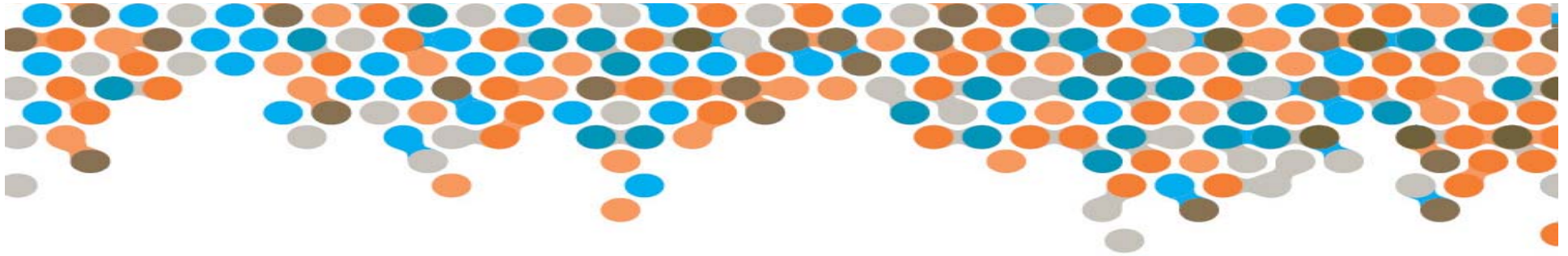
*Plan Minero
Propuesto*



Validación



Secuencia
Optimizada

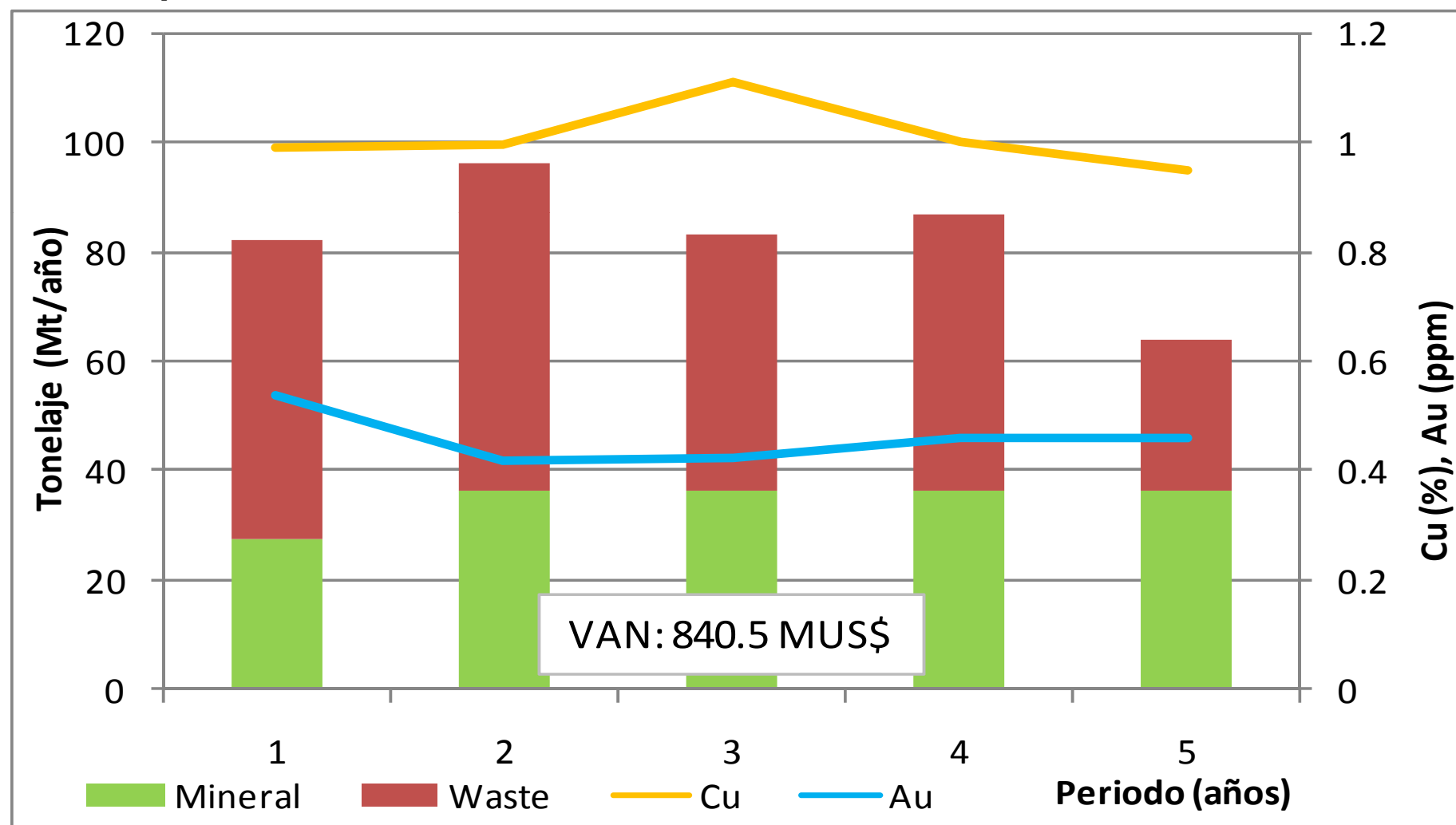


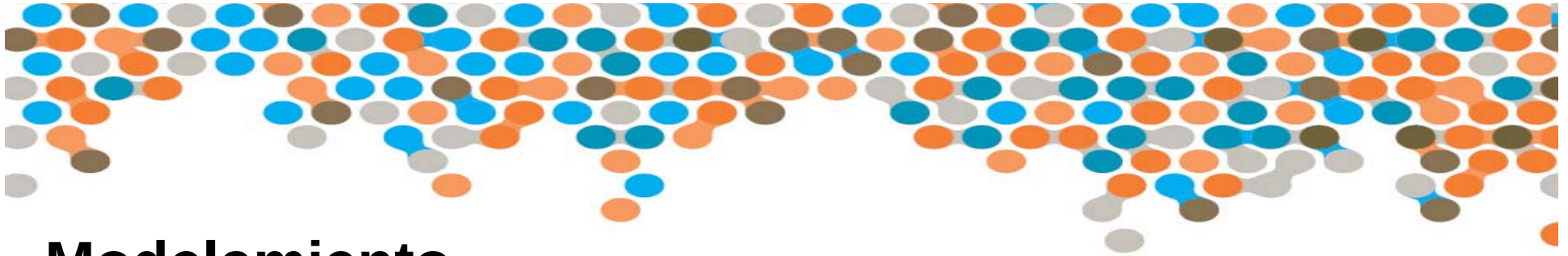
Resultados

- Desarrollo de modelos matemáticos de optimización para la planificación de minería a rajo
- Software HPC para la resolución de grandes problemas de planificación minera
- Servicio de búsqueda de secuencias óptimas con herramientas de computación paralela



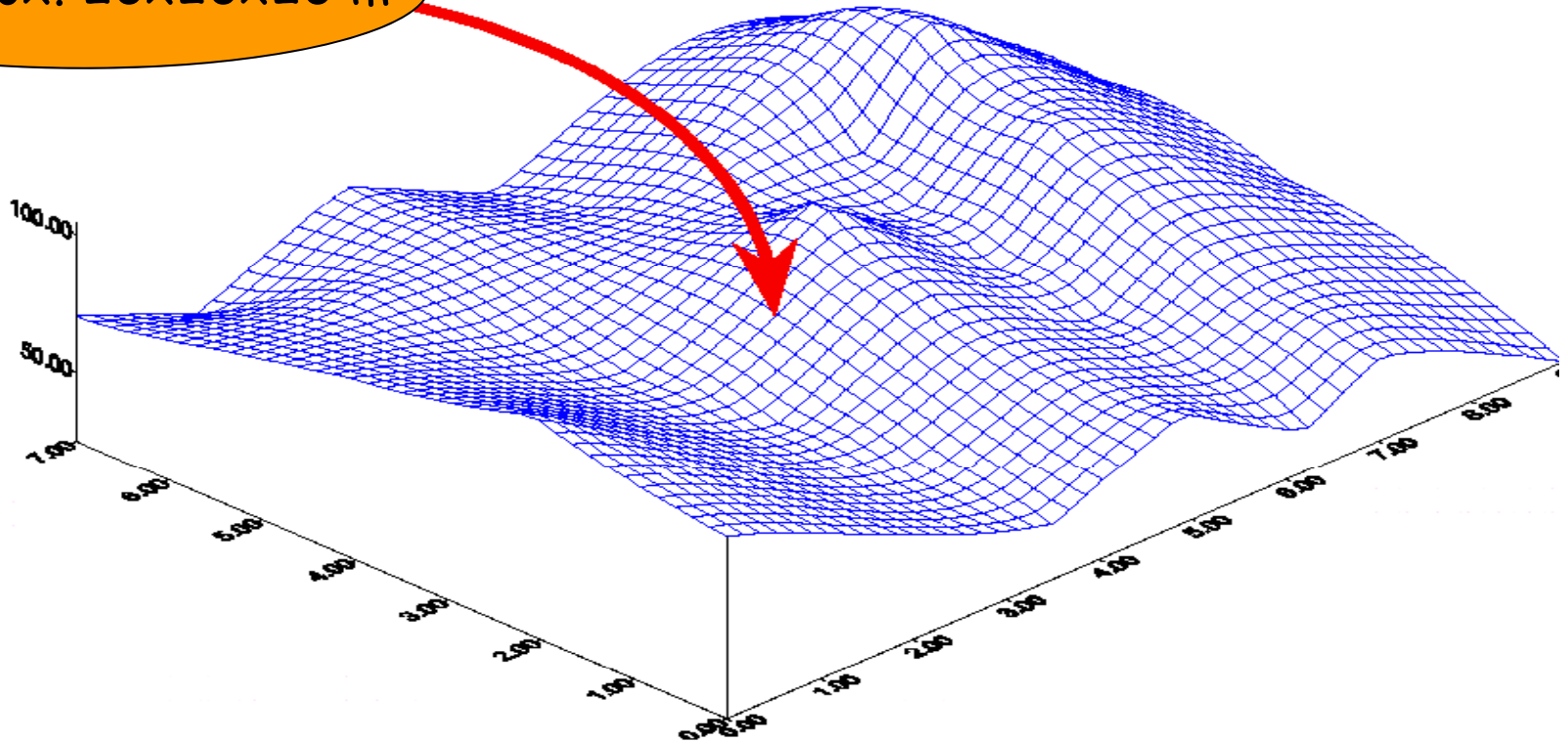
Plan de producción

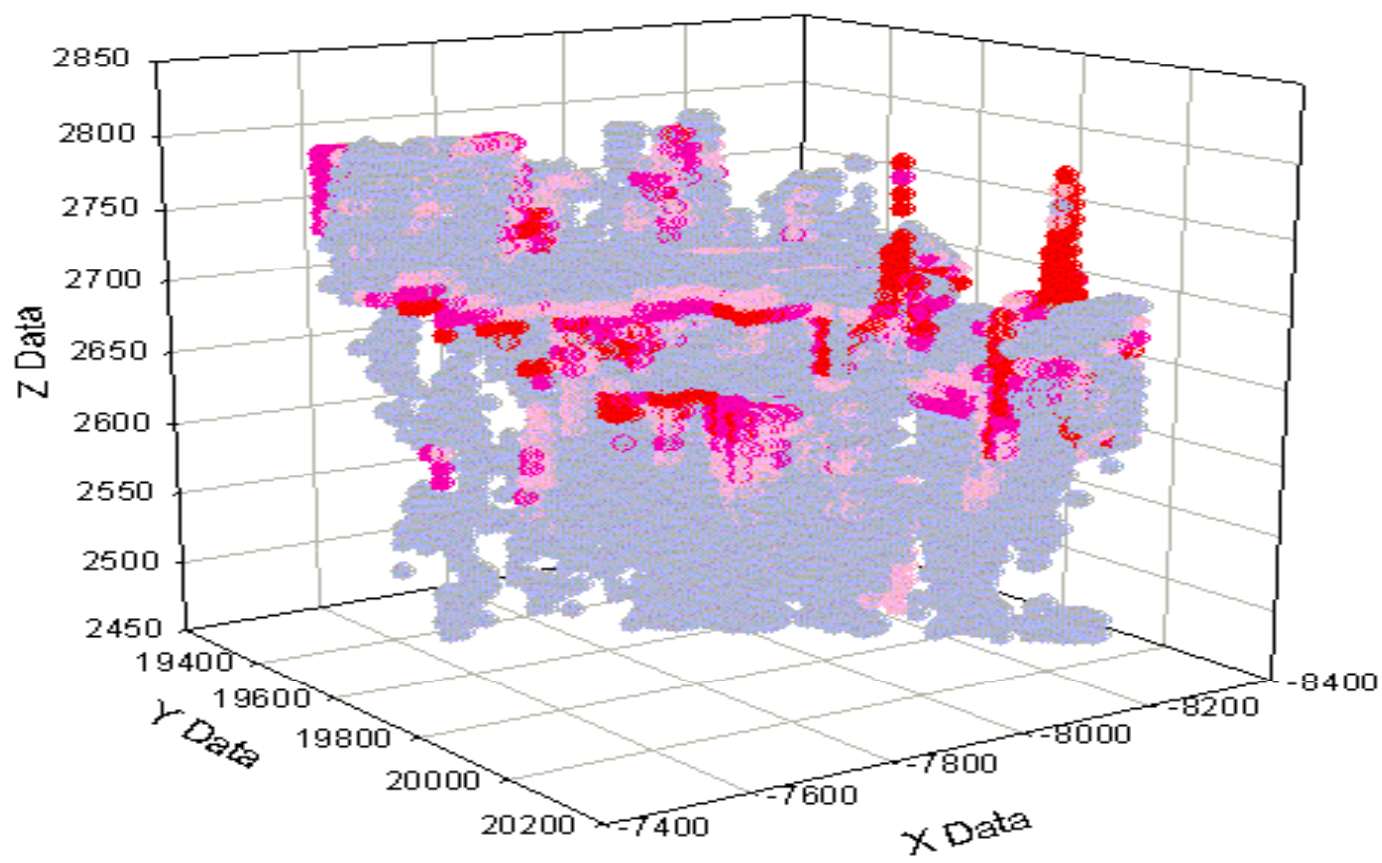
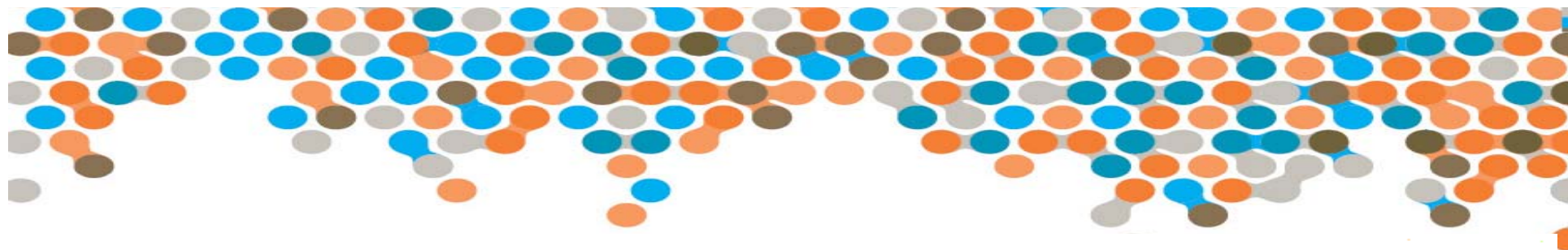


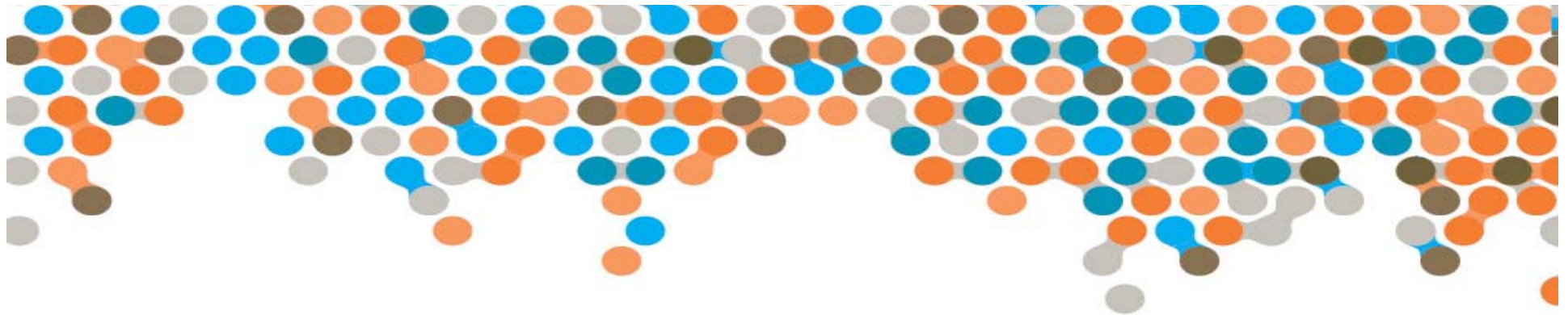


Modelamiento

Cubos aprox. $20 \times 20 \times 20 \text{ m}^3$

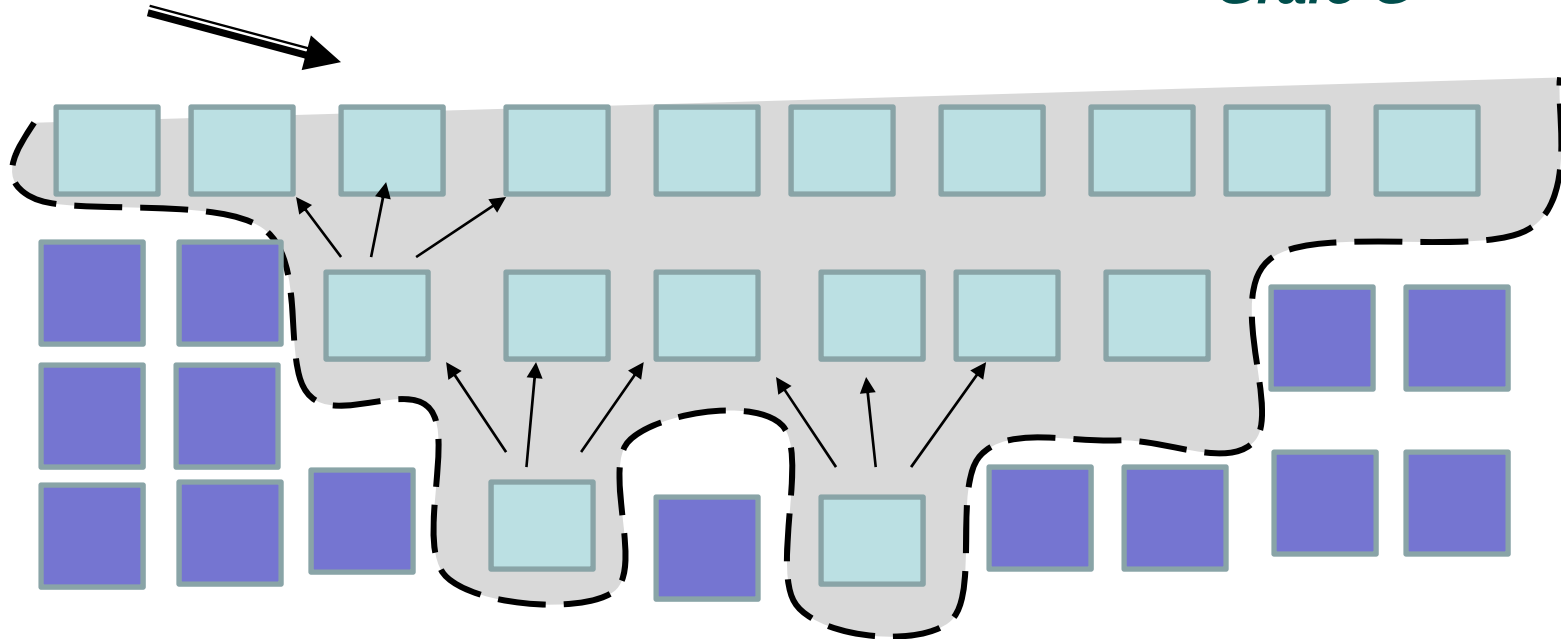






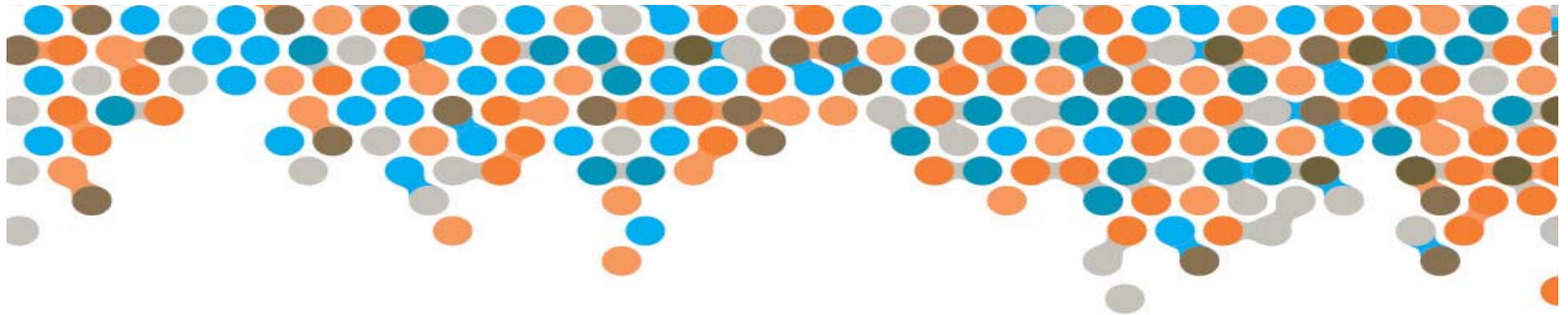
Sub-Grafo G'

Grafo G



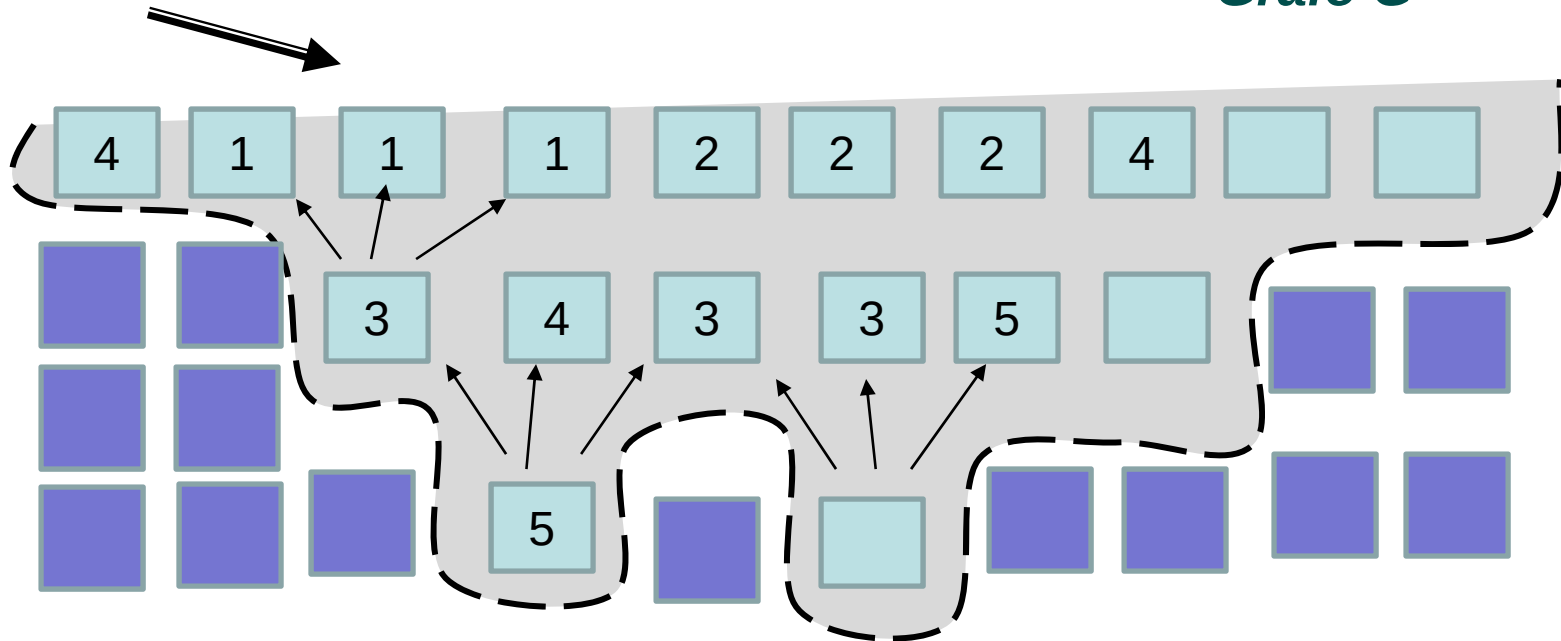
PIT FINAL → CLAUSURA MÁXIMA

encontrar un sub-grafo que conserve las precedencias y que tenga beneficio máximo



Sub-Grafo G'

Grafo G



SECUENCIAMIENTO →

encontrar una enumeración de los bloques, que indique el orden de extracción y que tenga el mayor valor de Van posible, respetando las restricciones operacionales.



La formulación matemática

$$\max \sum_{t=1}^T \frac{\sum_{i \in B} X_{i,t} \cdot b_i}{(1+r)^t} \quad (\text{VAN})$$

$$\sum_{i \in B} X_{i,t} w_i^k \leq C^k \quad \forall t \in 1 \dots T, \forall k \in 1 \dots K \quad (\text{CAP})$$

$$\sum_{i \in B} X_{i,t} w_i^k \geq R^k \quad \forall t \in 1 \dots T, \forall k \in 1 \dots K \quad (\text{REQ})$$

$$\sum_{s=1}^t X_{j,s} \geq X_{i,t} \quad \forall j \in B_i, \quad \forall t \in 1 \dots T \quad (\text{PRE})$$

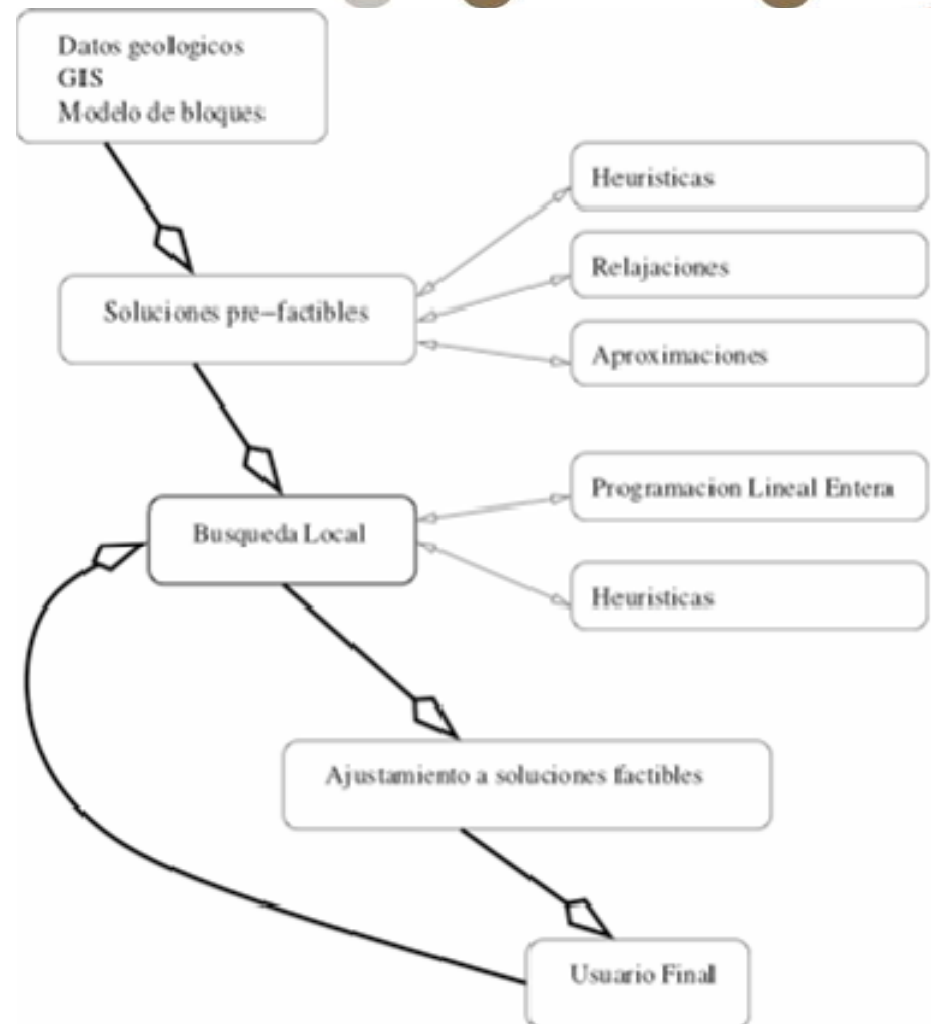
$$\sum_{t=1}^T X_{i,t} \leq 1 \quad \forall i \in B$$

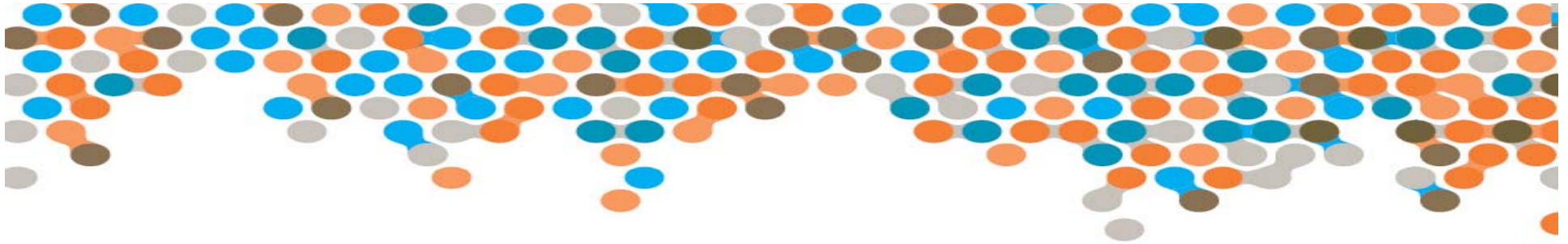
- a. Función objetivo (van)
- b. Talud
- c. Capacidades
- d. Destinos
- e. Demandas



Multi-estrategia basada en High Performance Computing

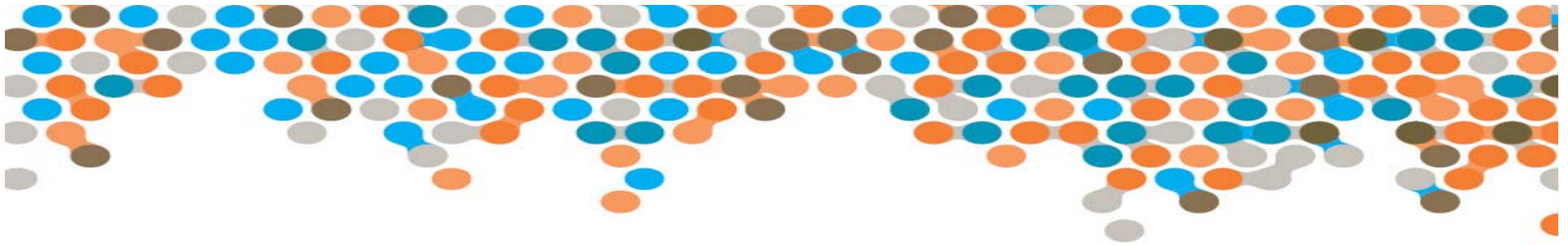
- Aproximación multidisciplinaria (matemáticas, minería, HPC)
- Cálculo con la base de datos de modelo de bloques valorizado
- Sistema de solución integrado en **cluster** computacional
- Sistema modular de cálculos y análisis
- Sistema compatible con estándares de mercado.



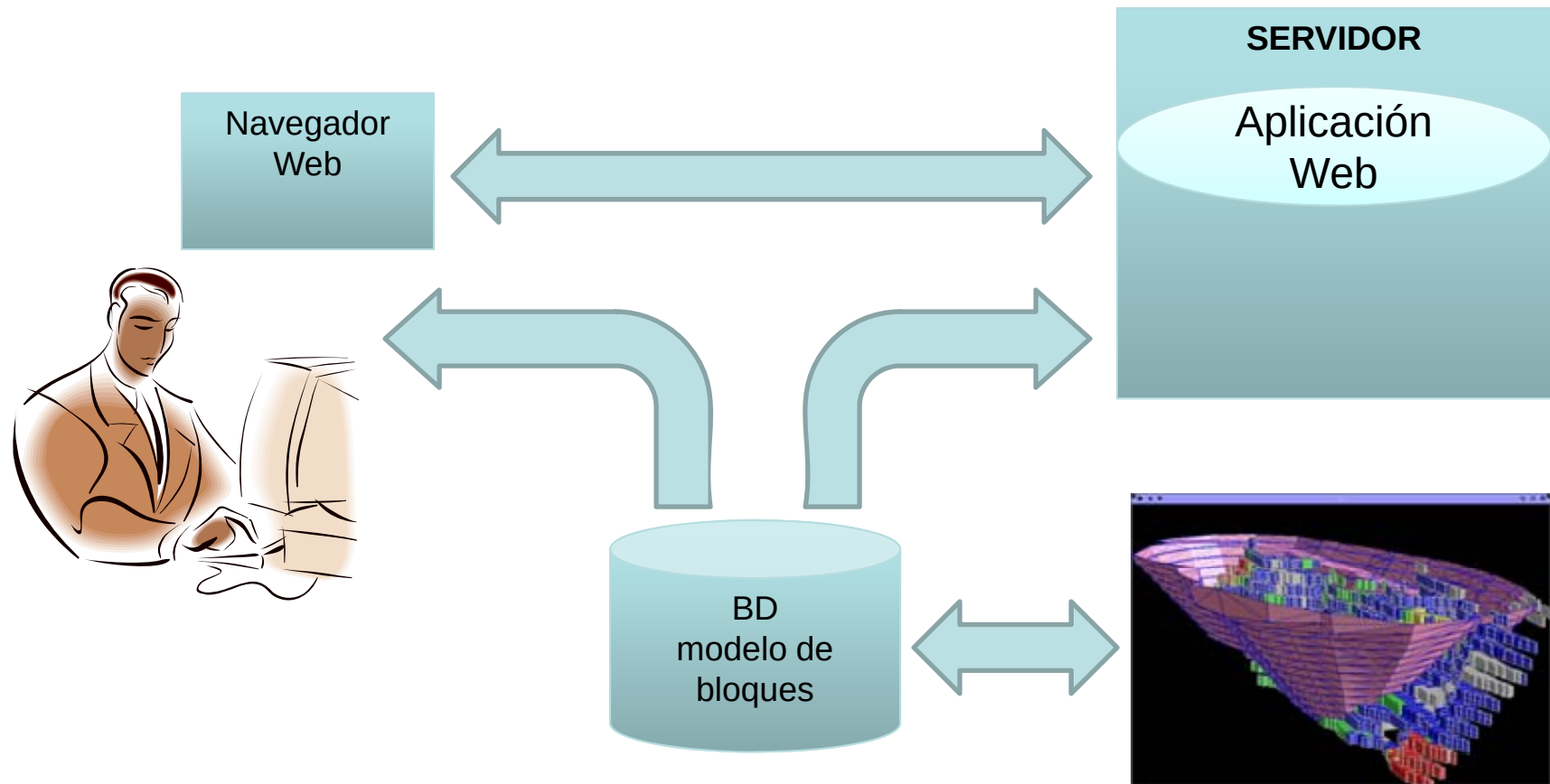


Modelo matemático: resolución

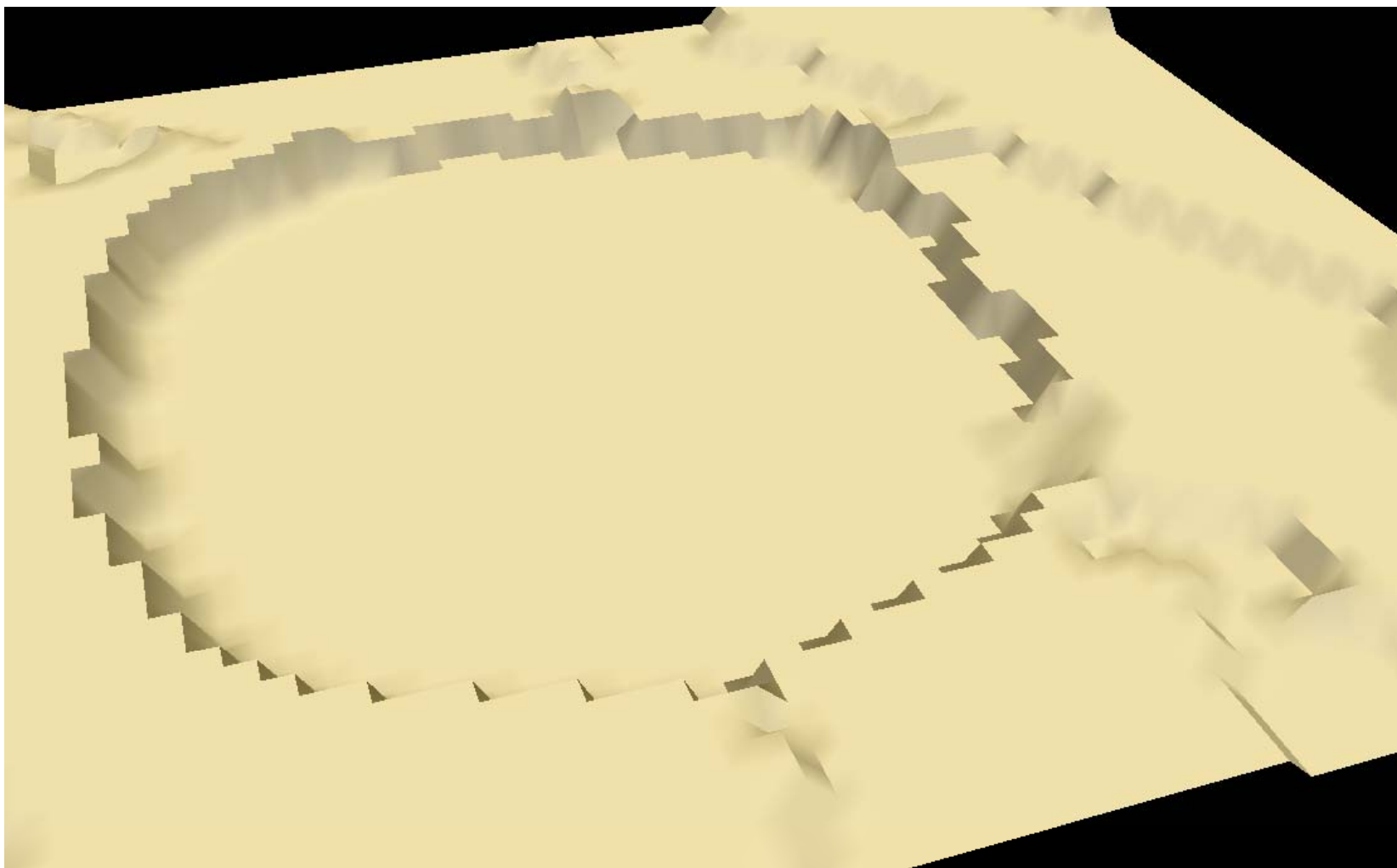
- a. Programación Lineal
- b. Branch and Bound
- c. Heurísticas: Greedy, Local search, Relajación y determinación del periodo esperado de extracción
- d. Pre-procesos: eliminación de variables redundantes (vía pit final), determinación del primer periodo posible de extracción

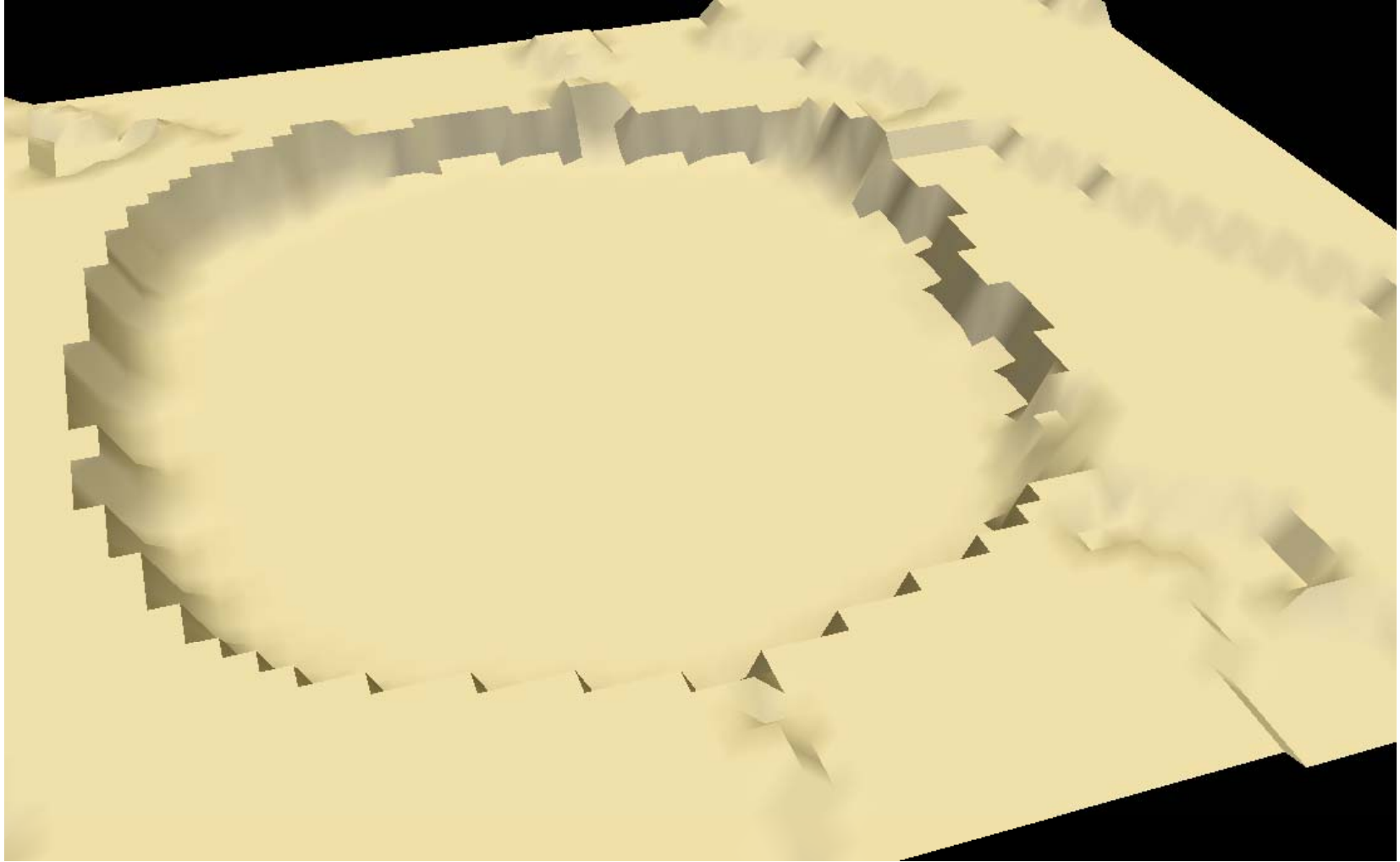


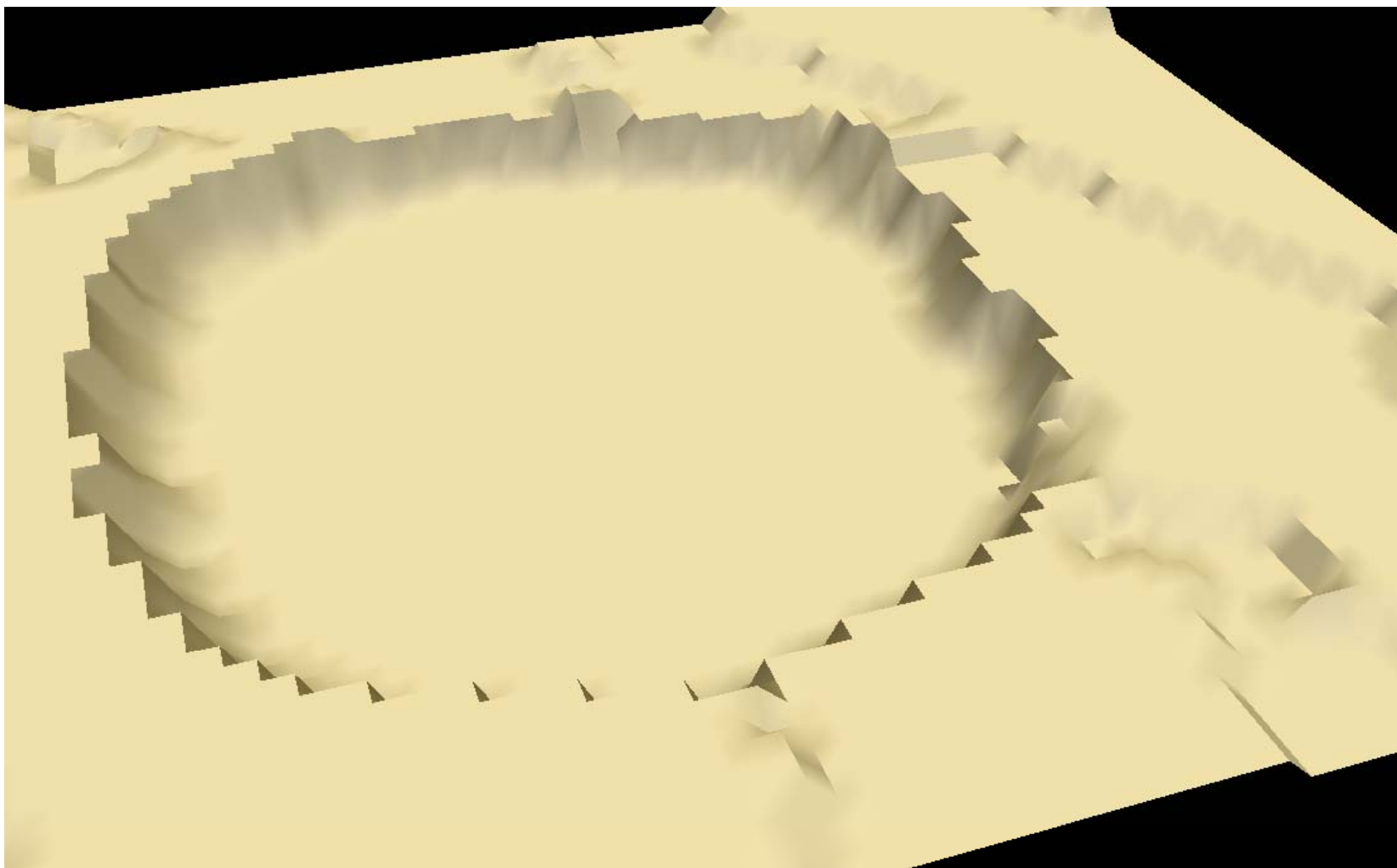
Cuál es el servicio?

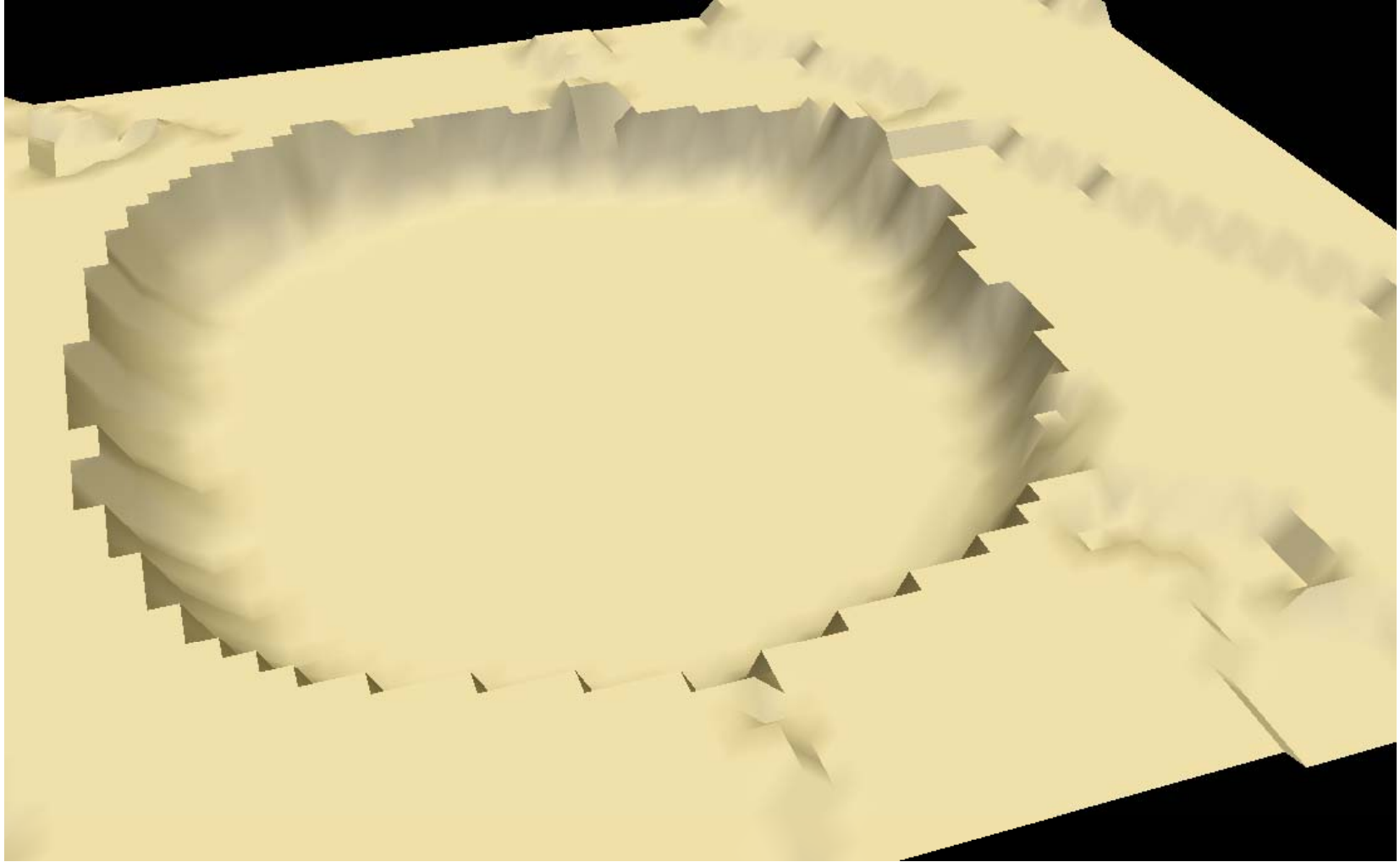


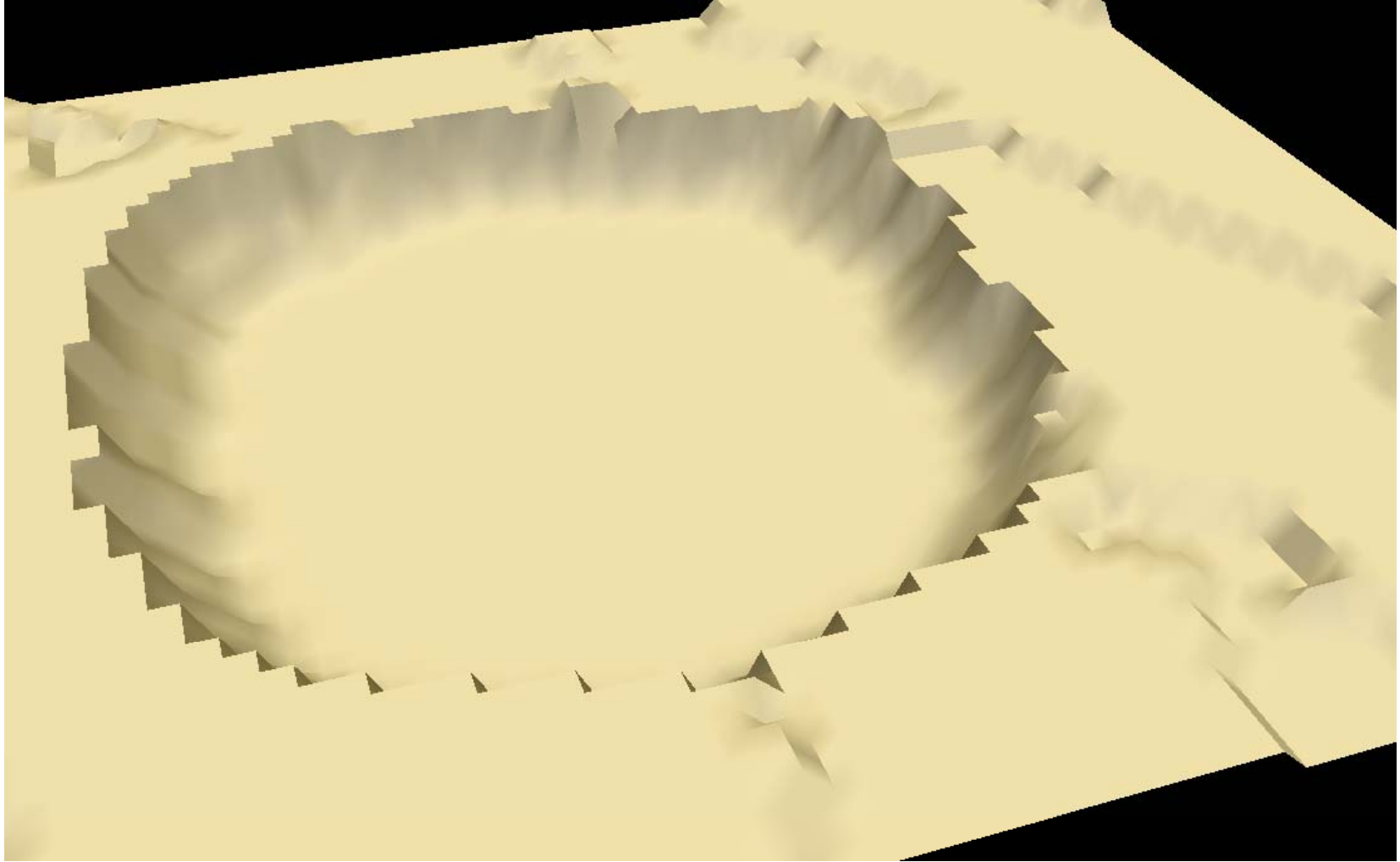


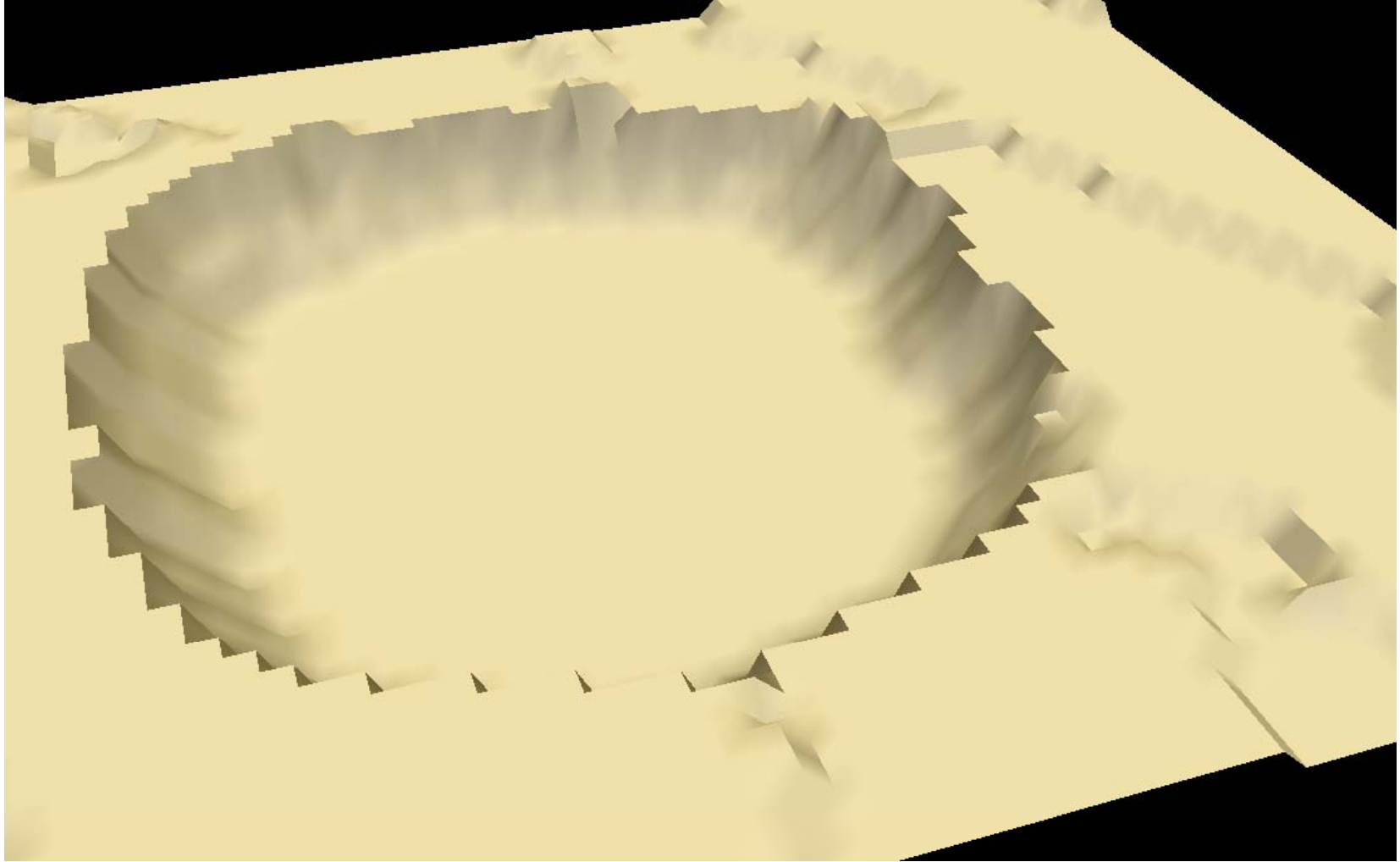


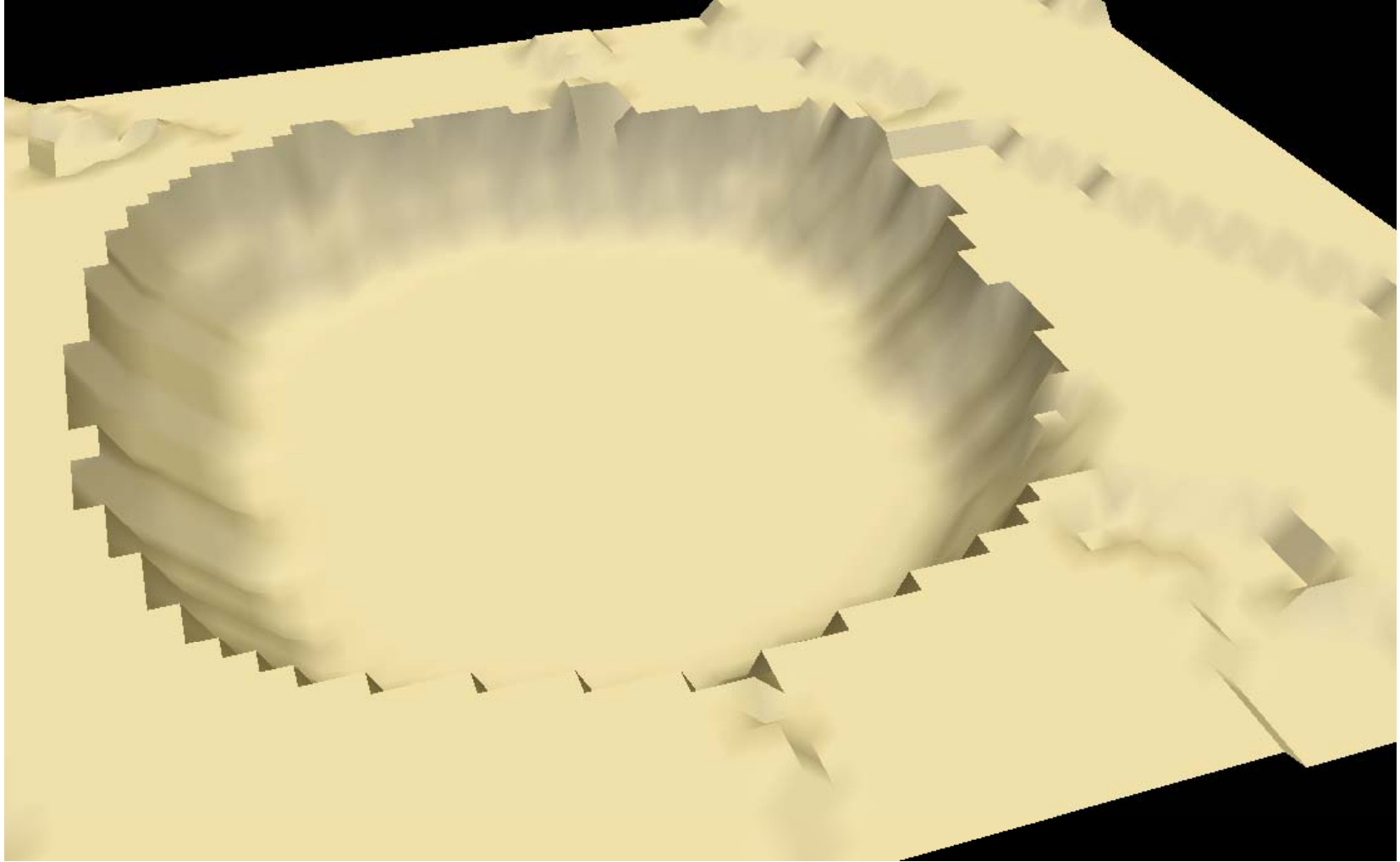


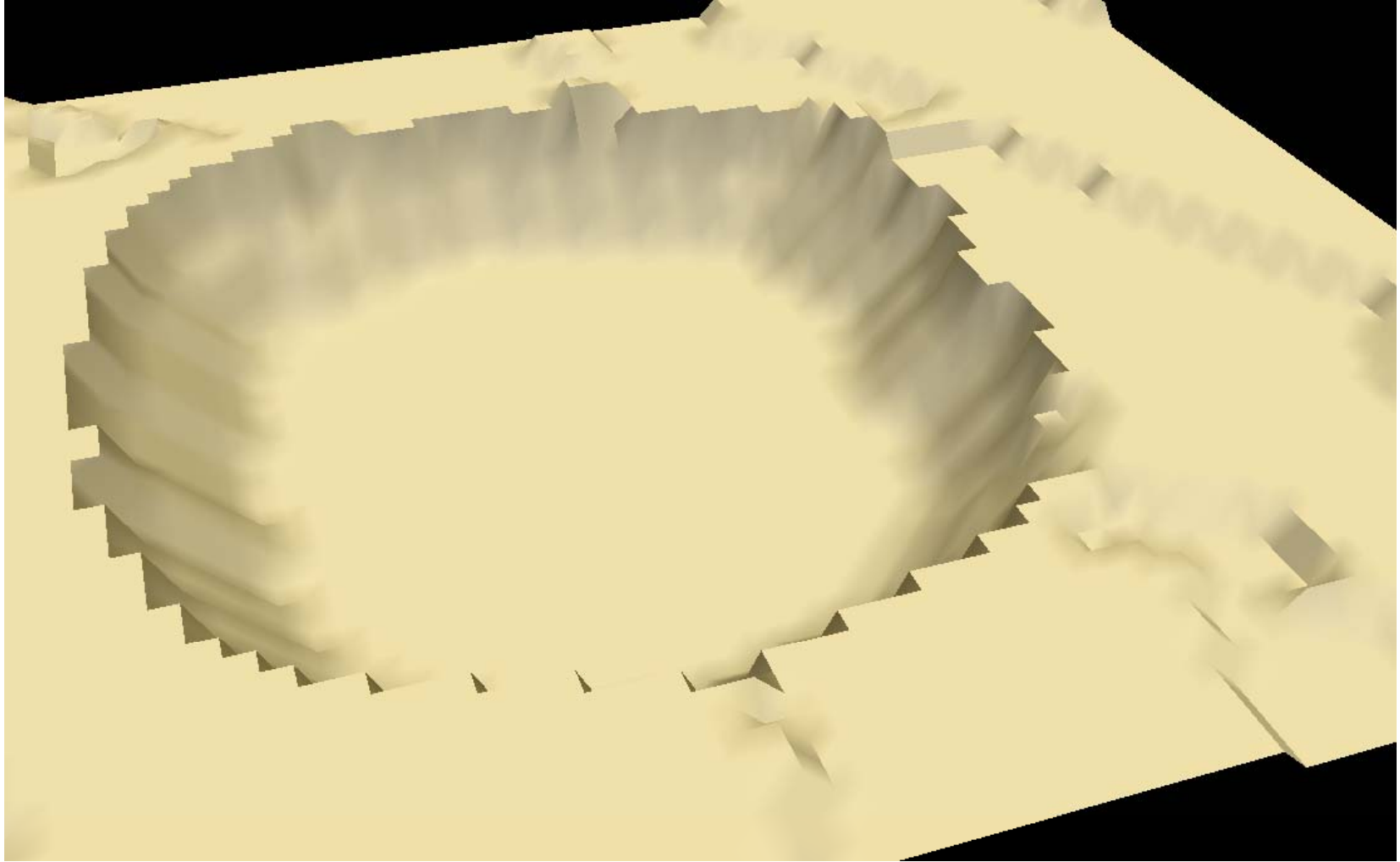


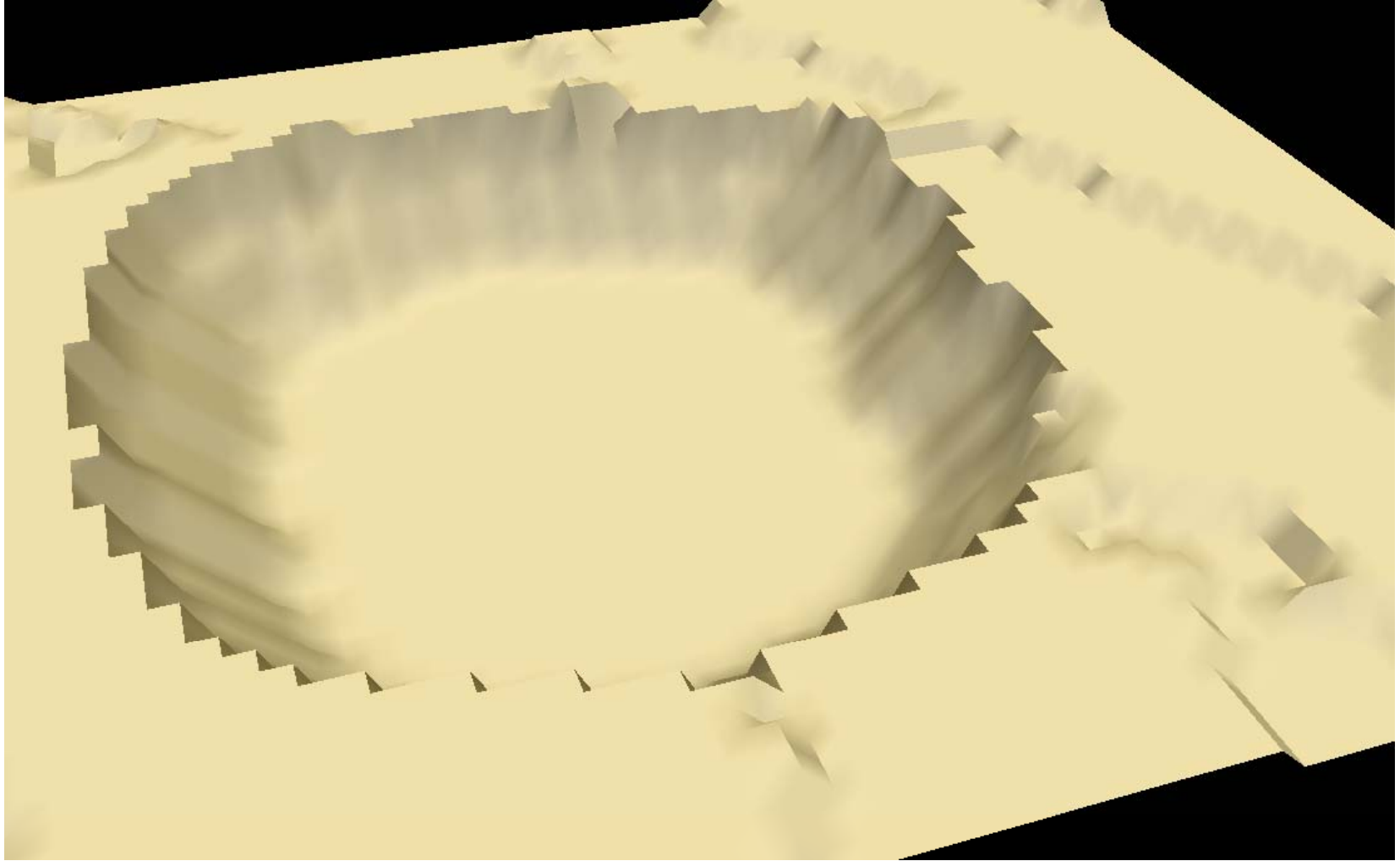


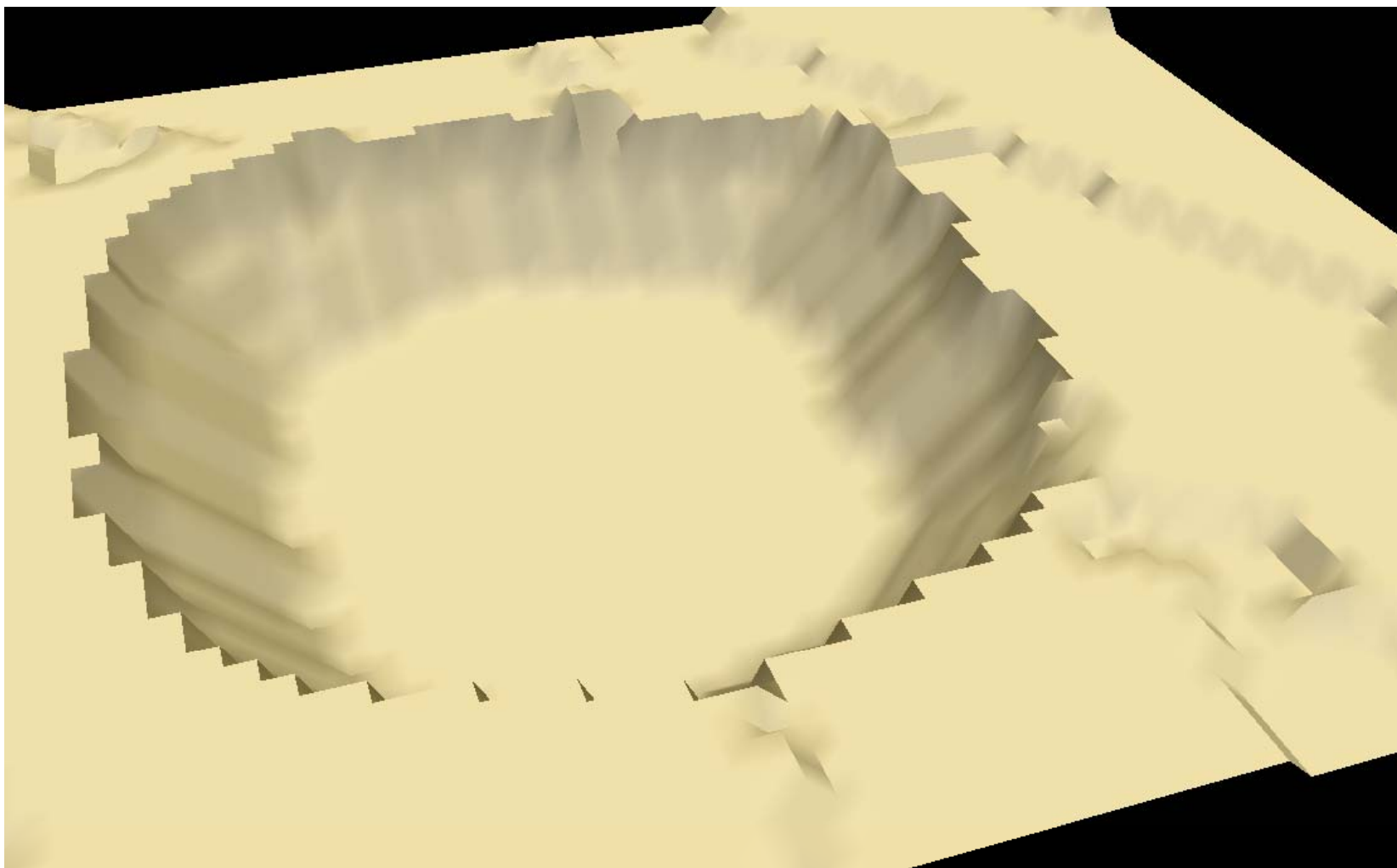


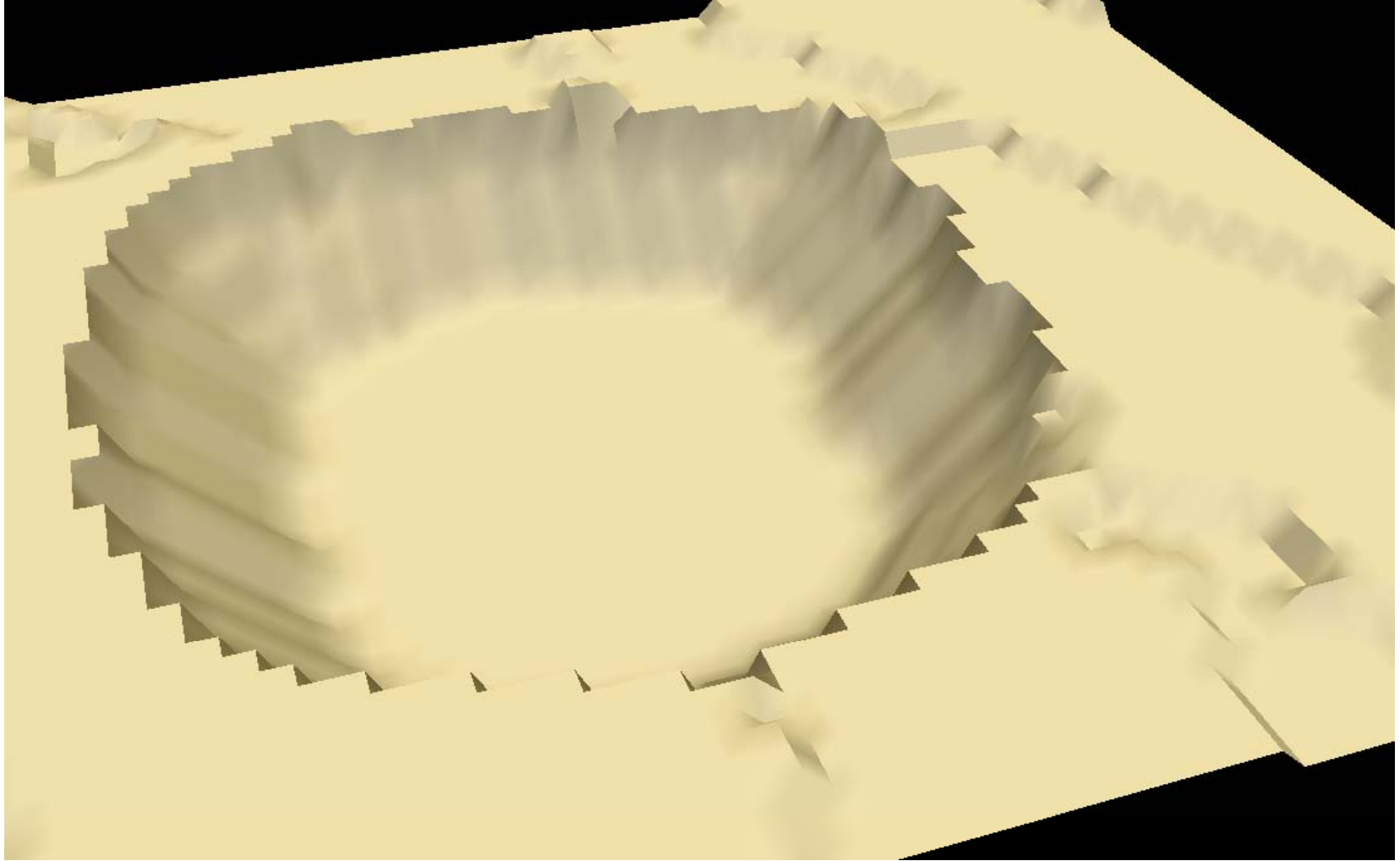


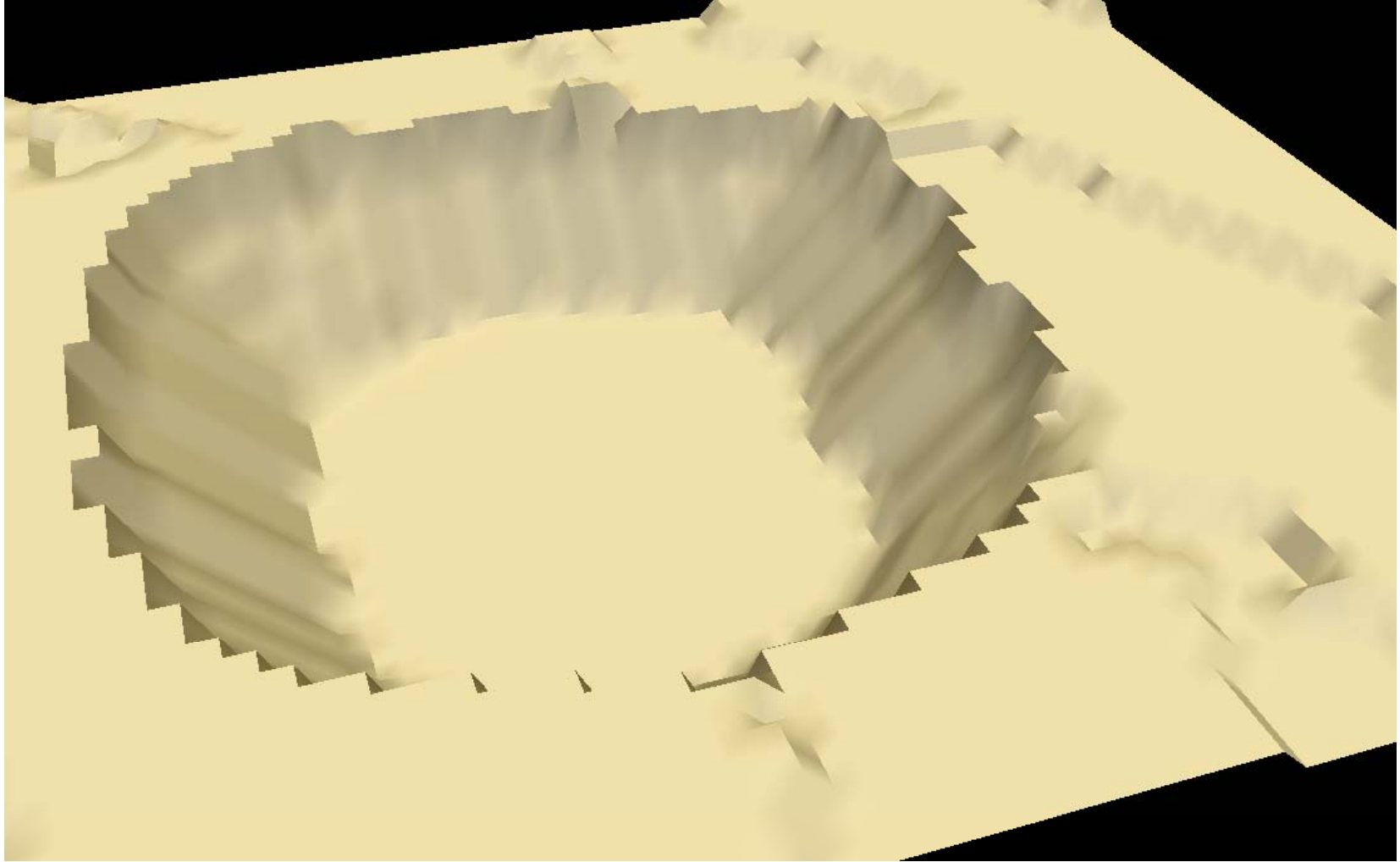


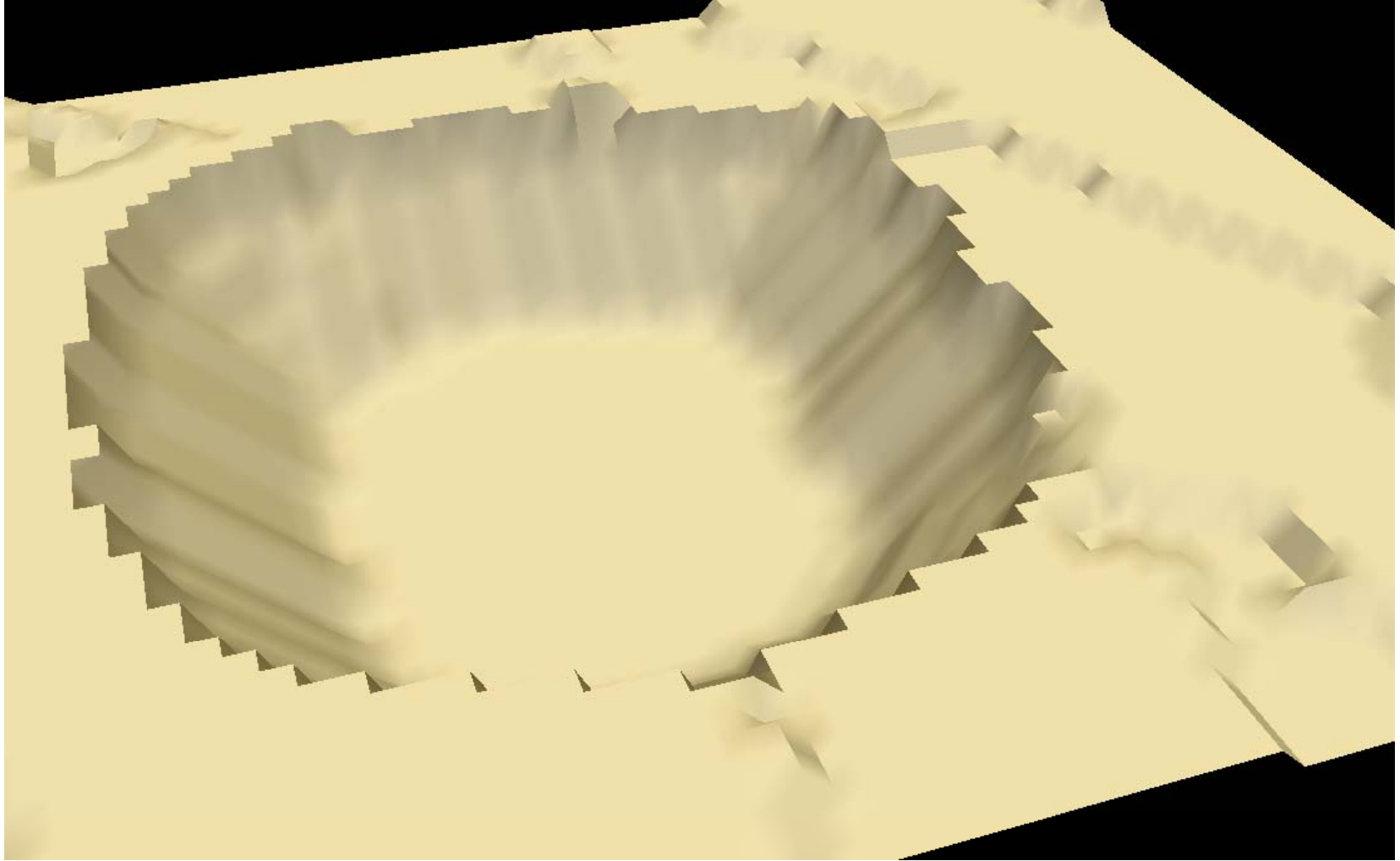


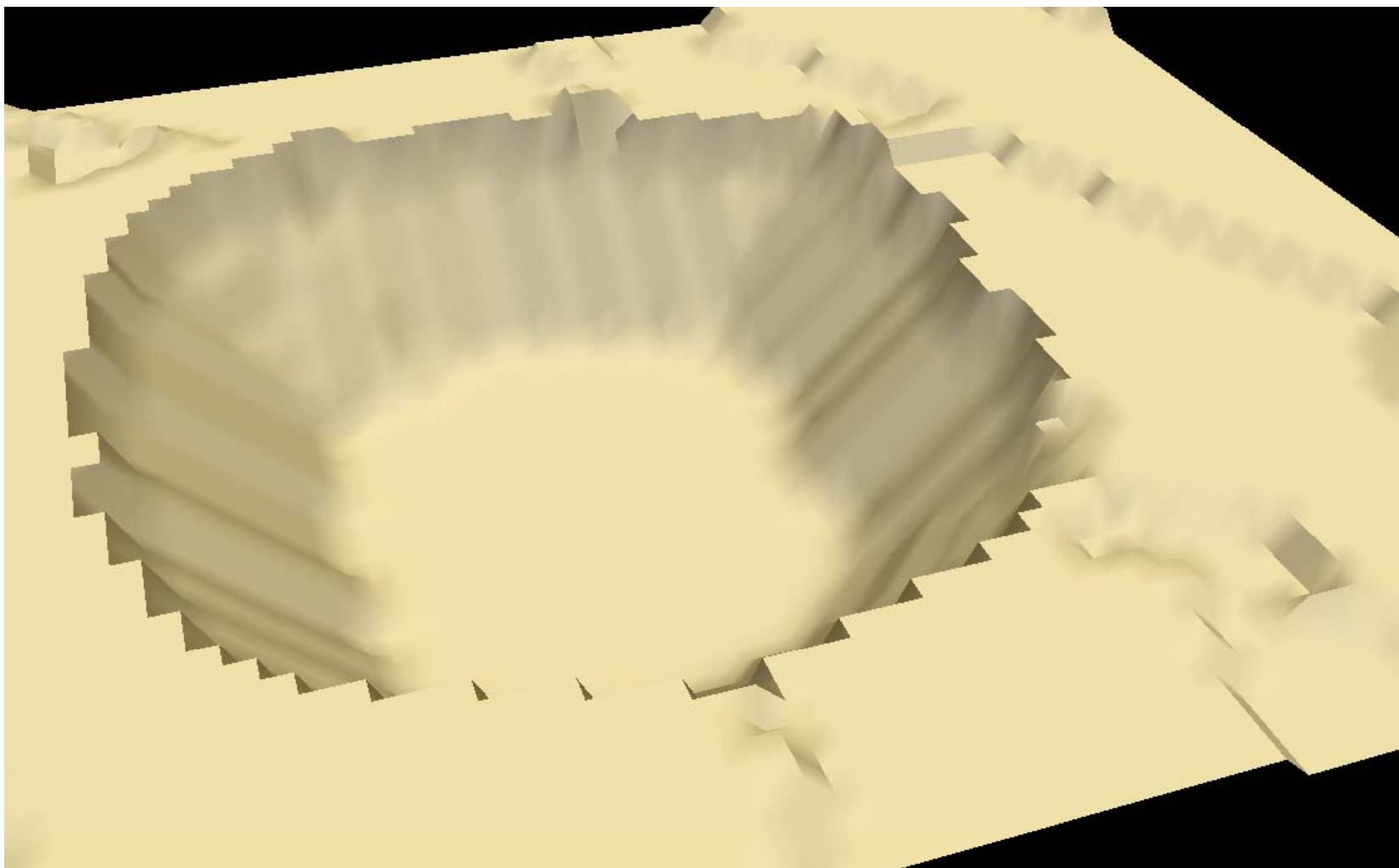


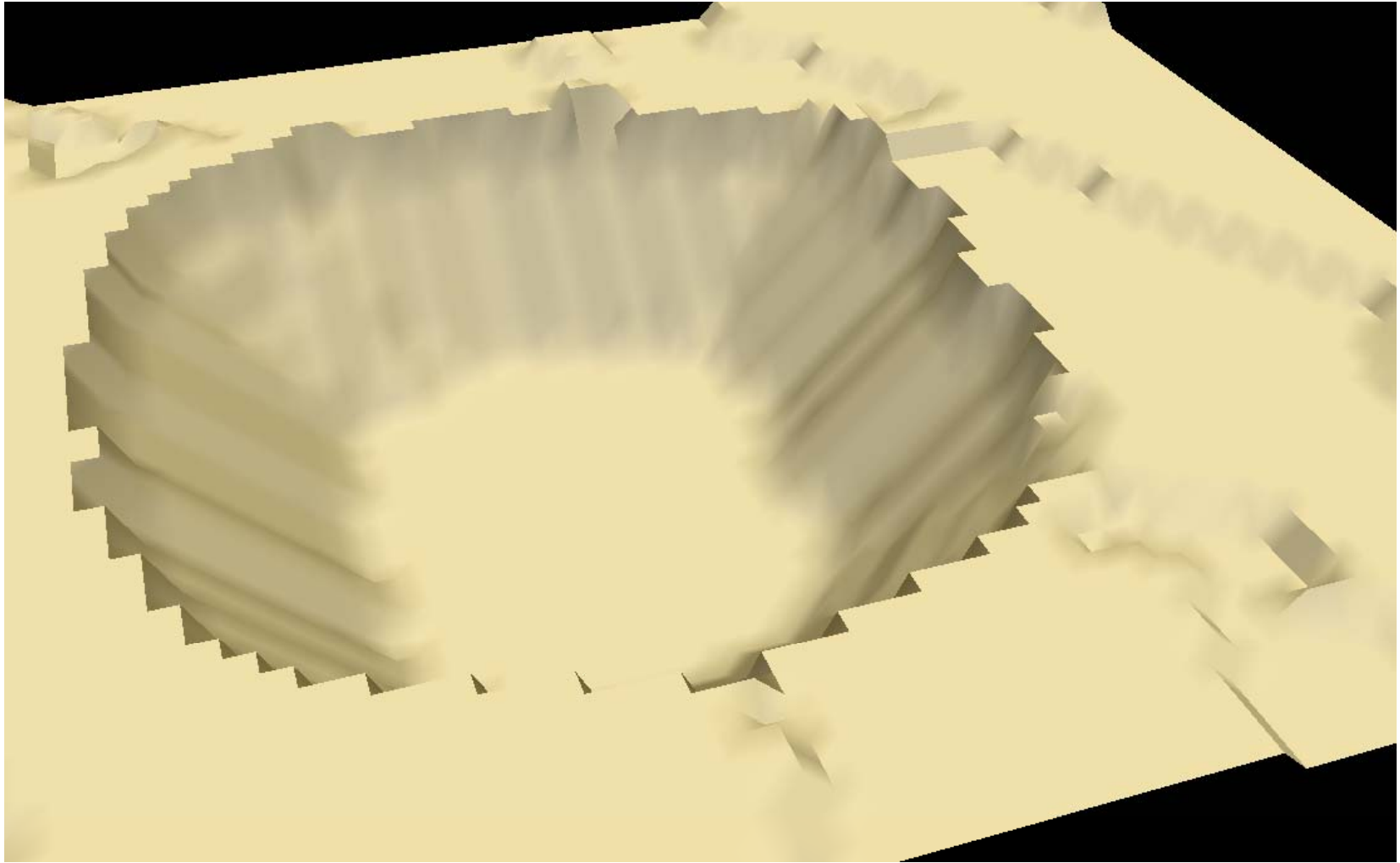


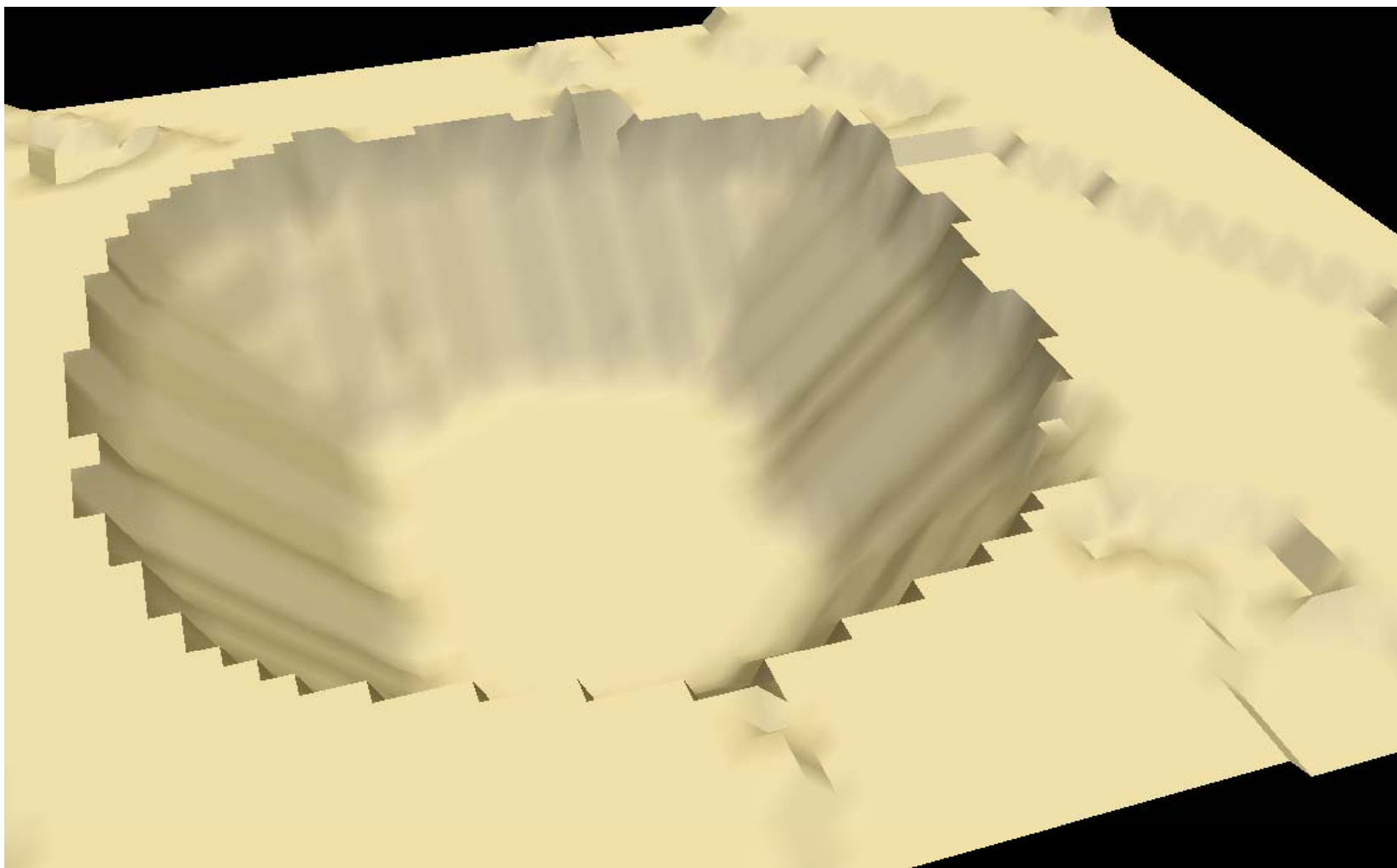


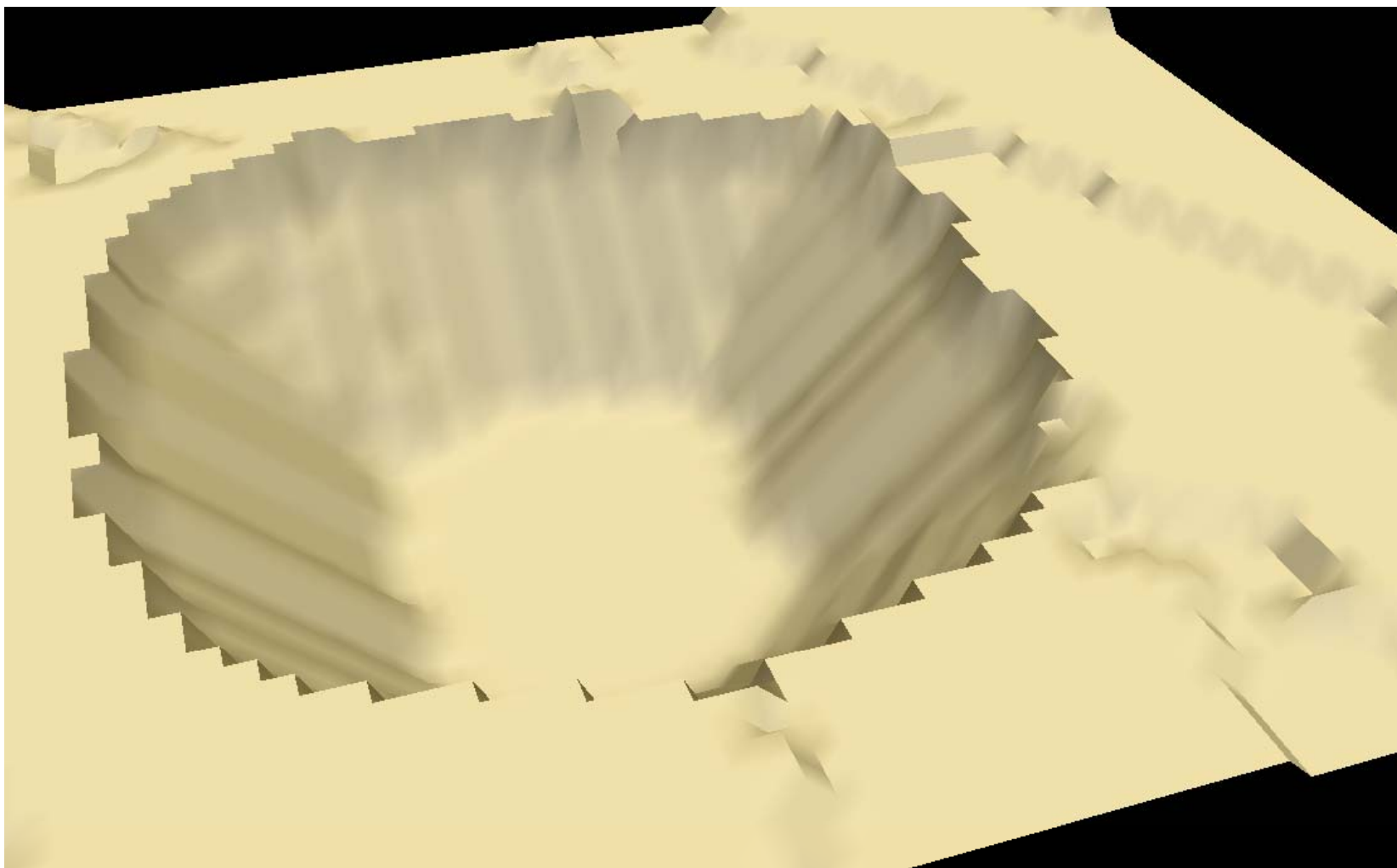


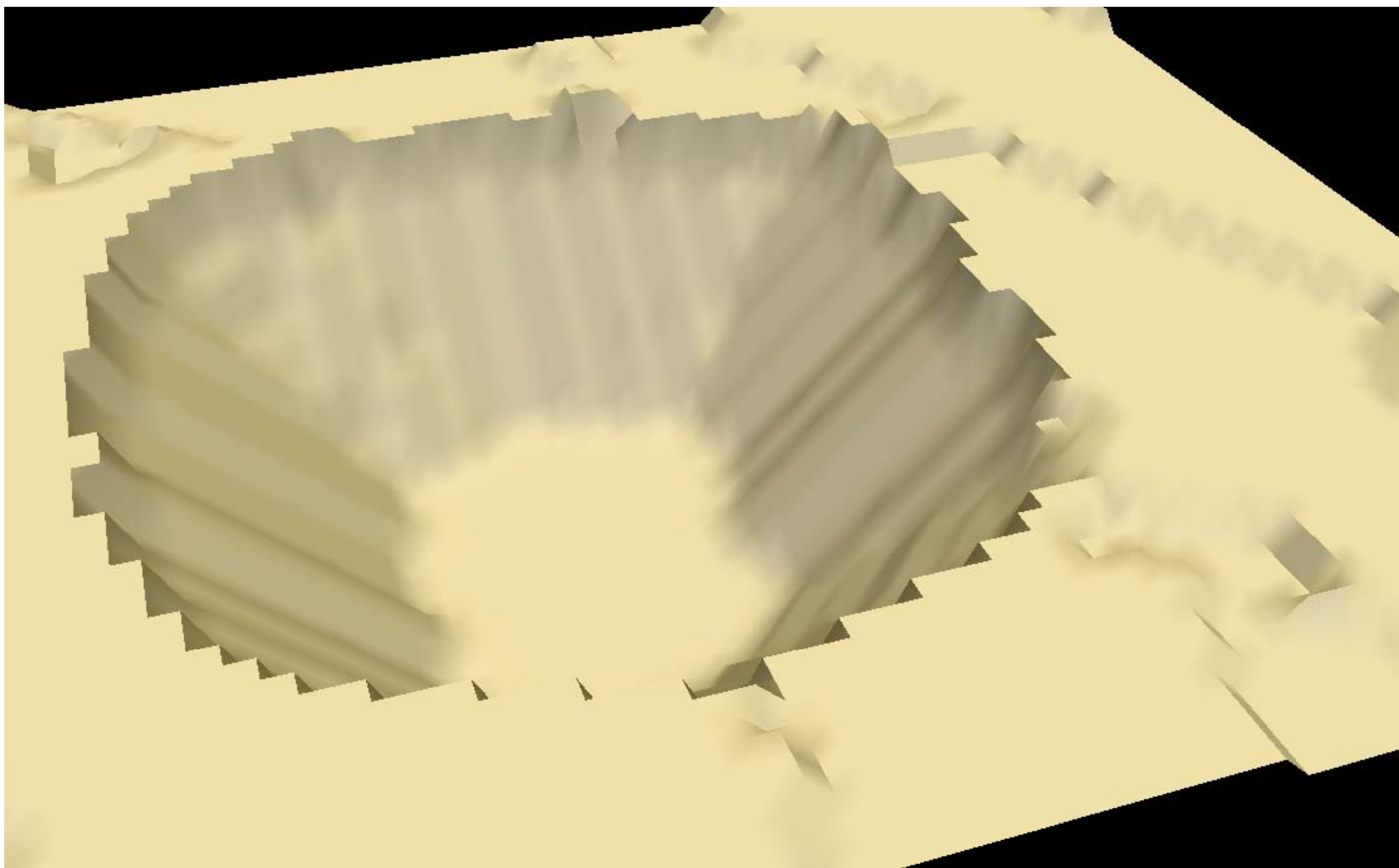


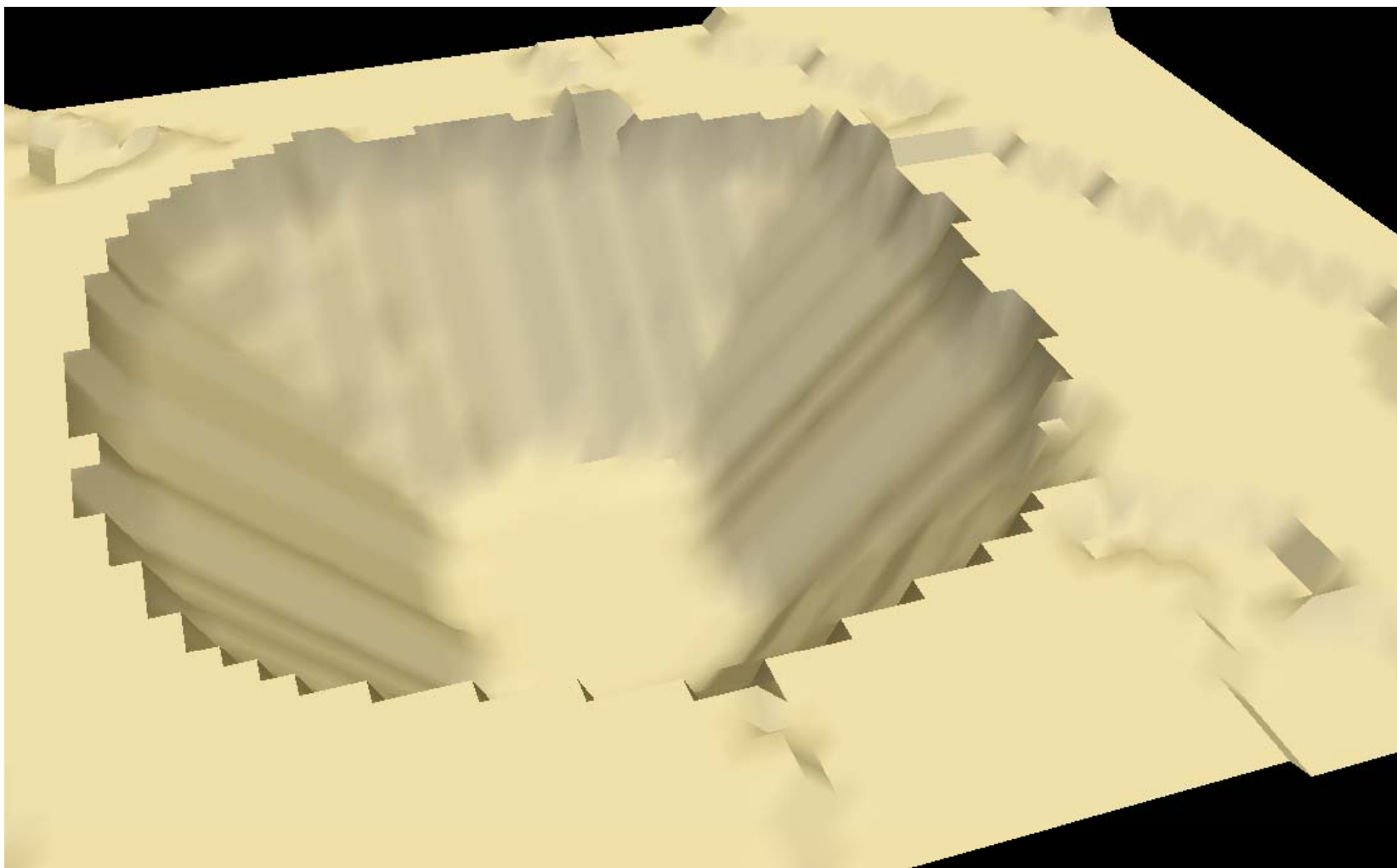


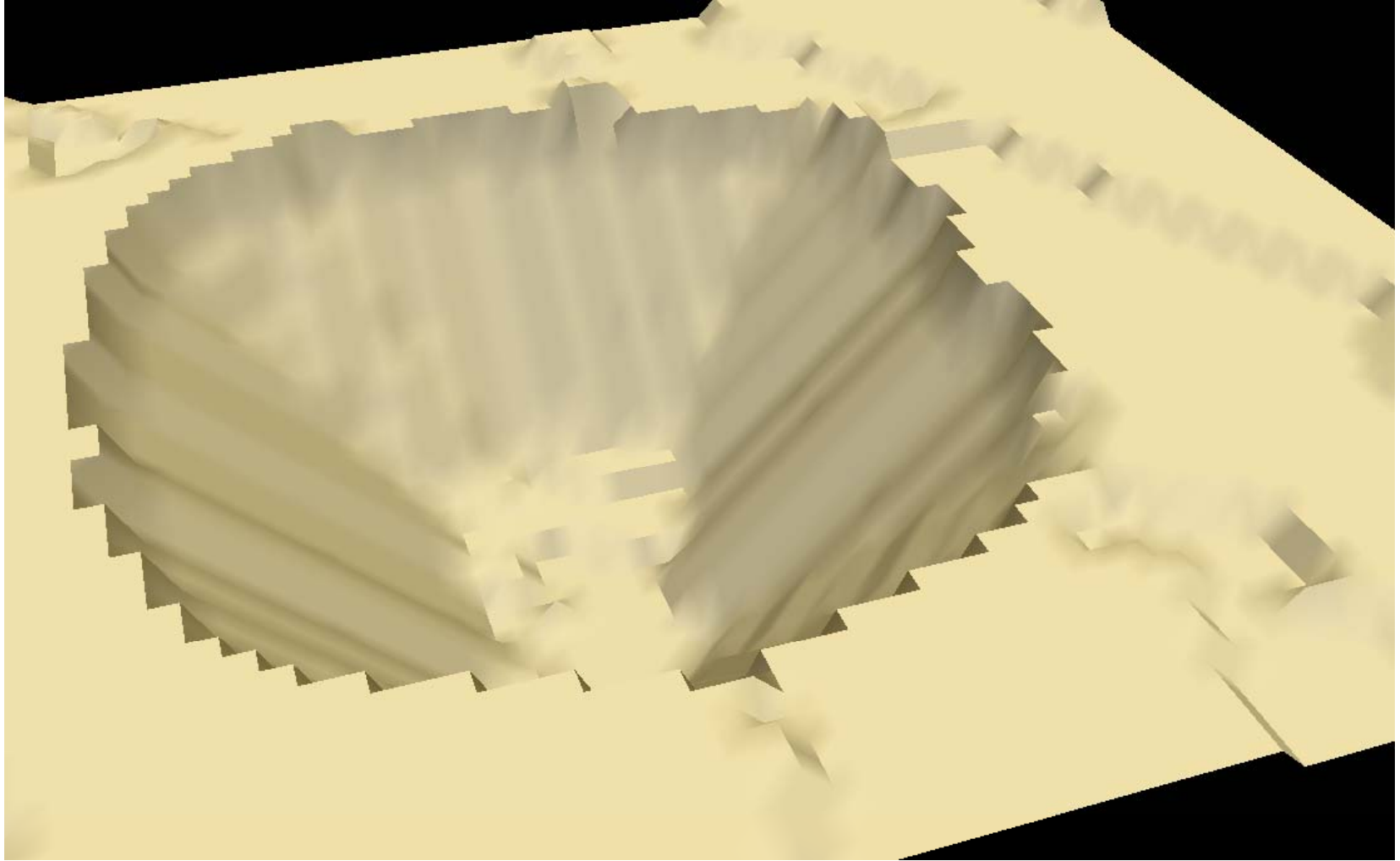




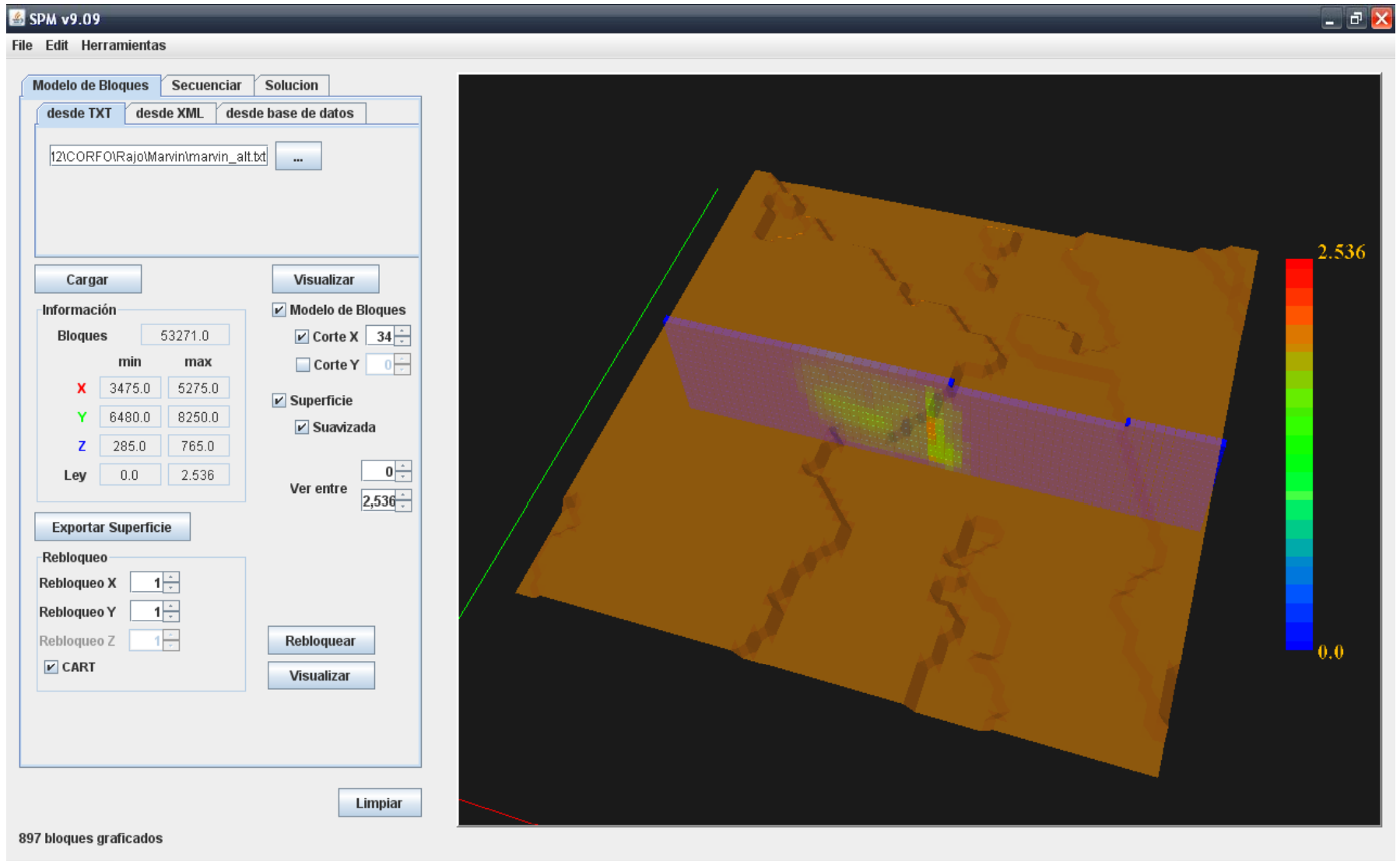




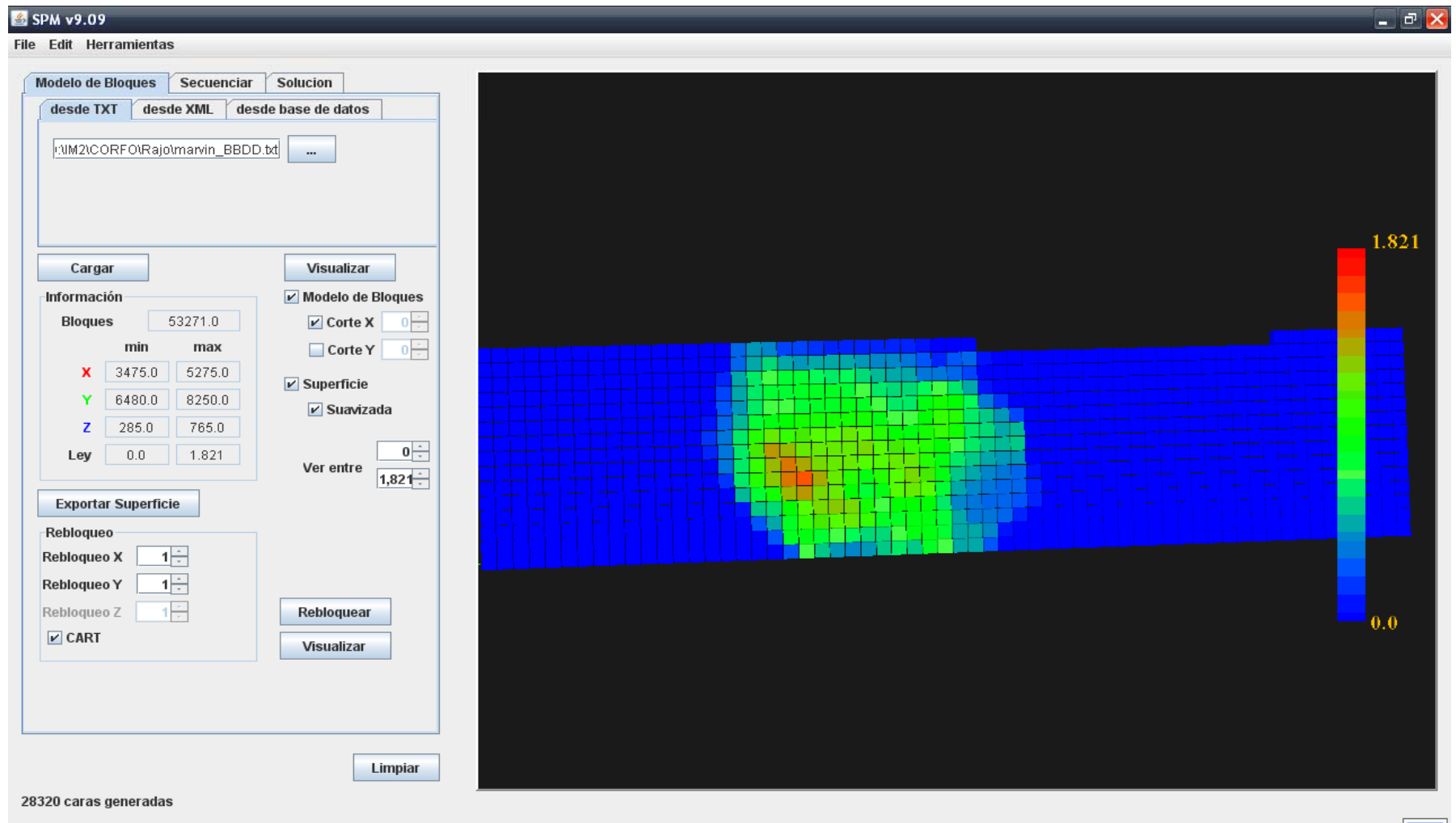




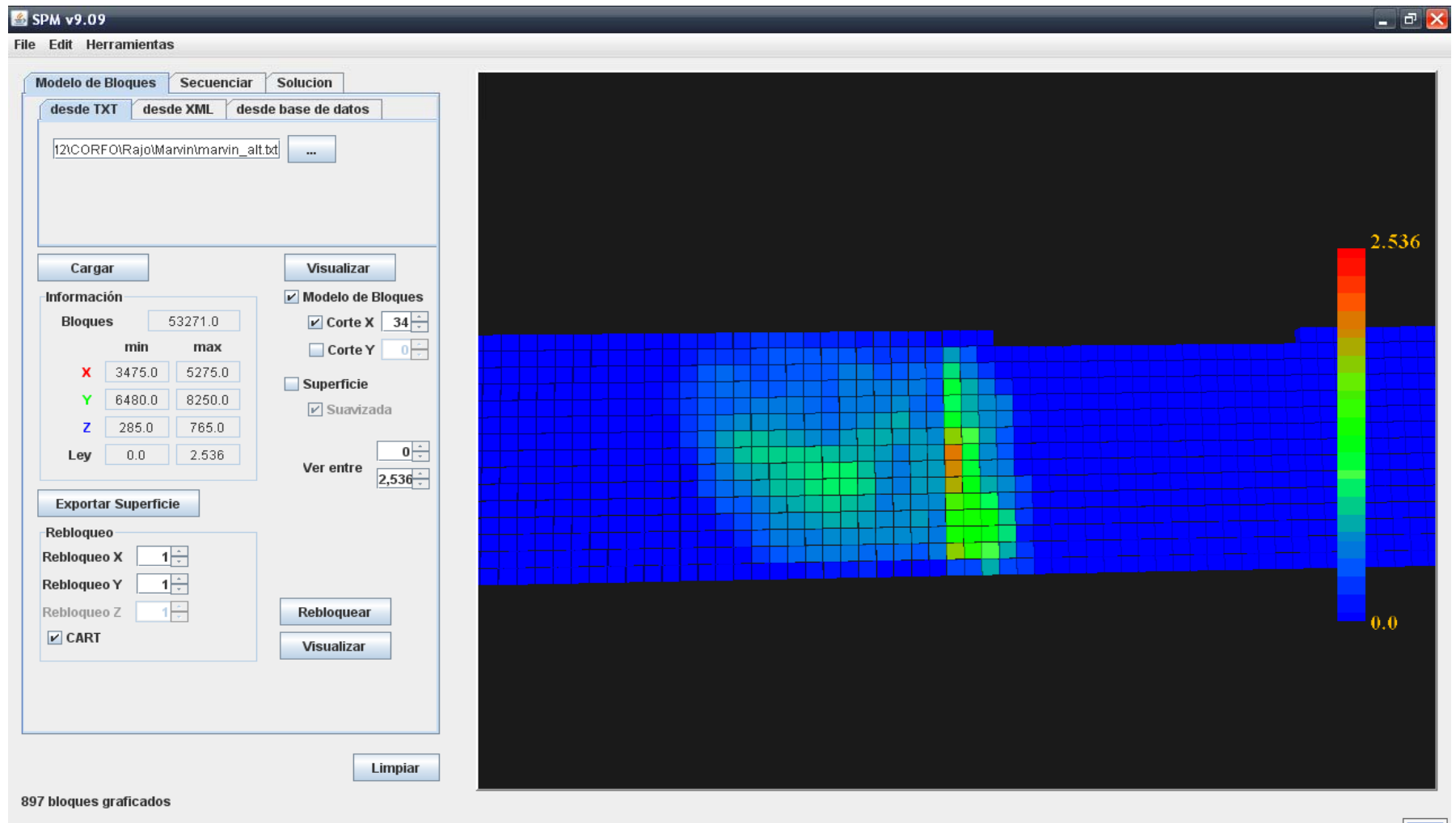
Generación Plan de Producción con GSO Rajo



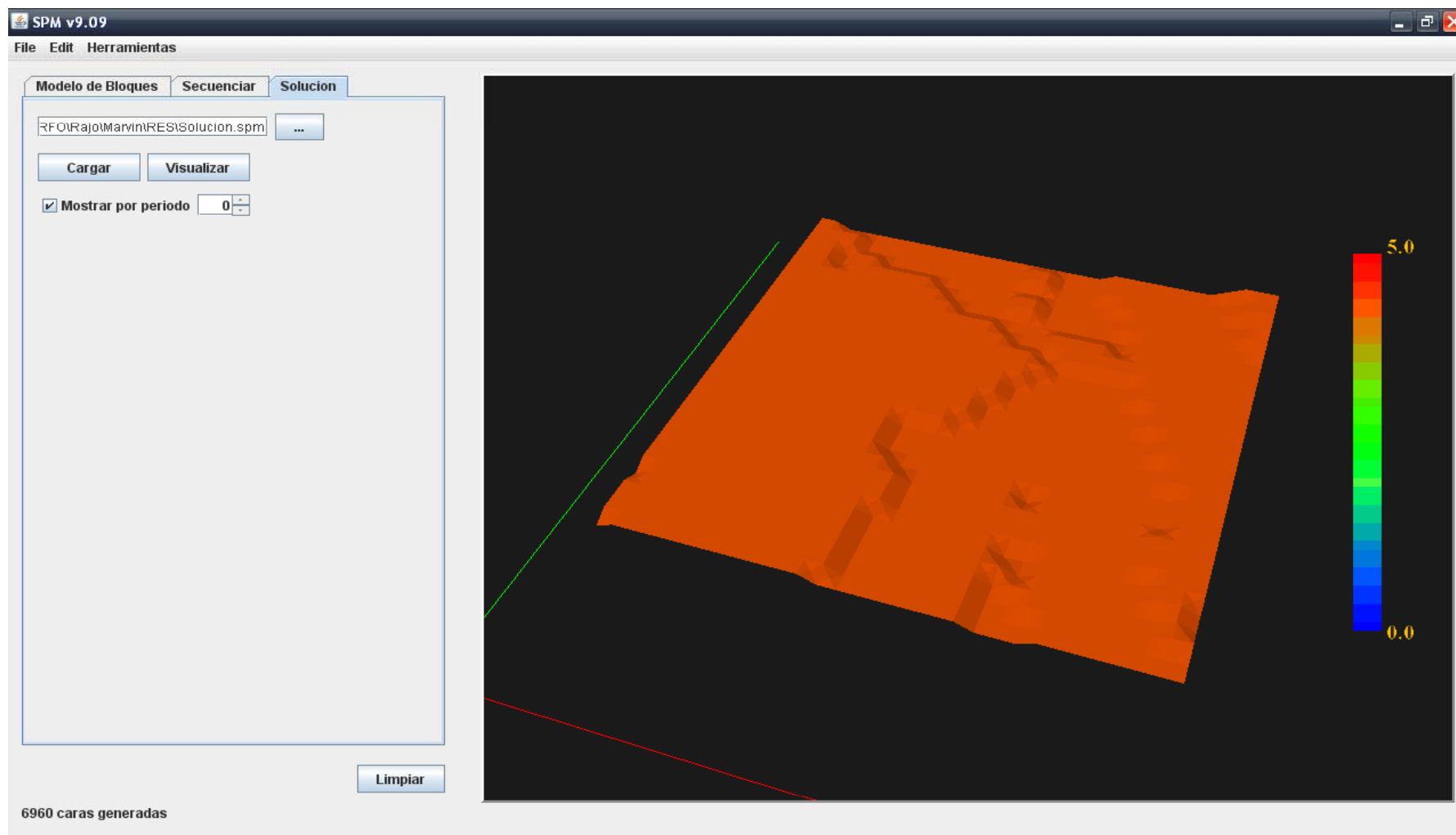
Solución con datos originales



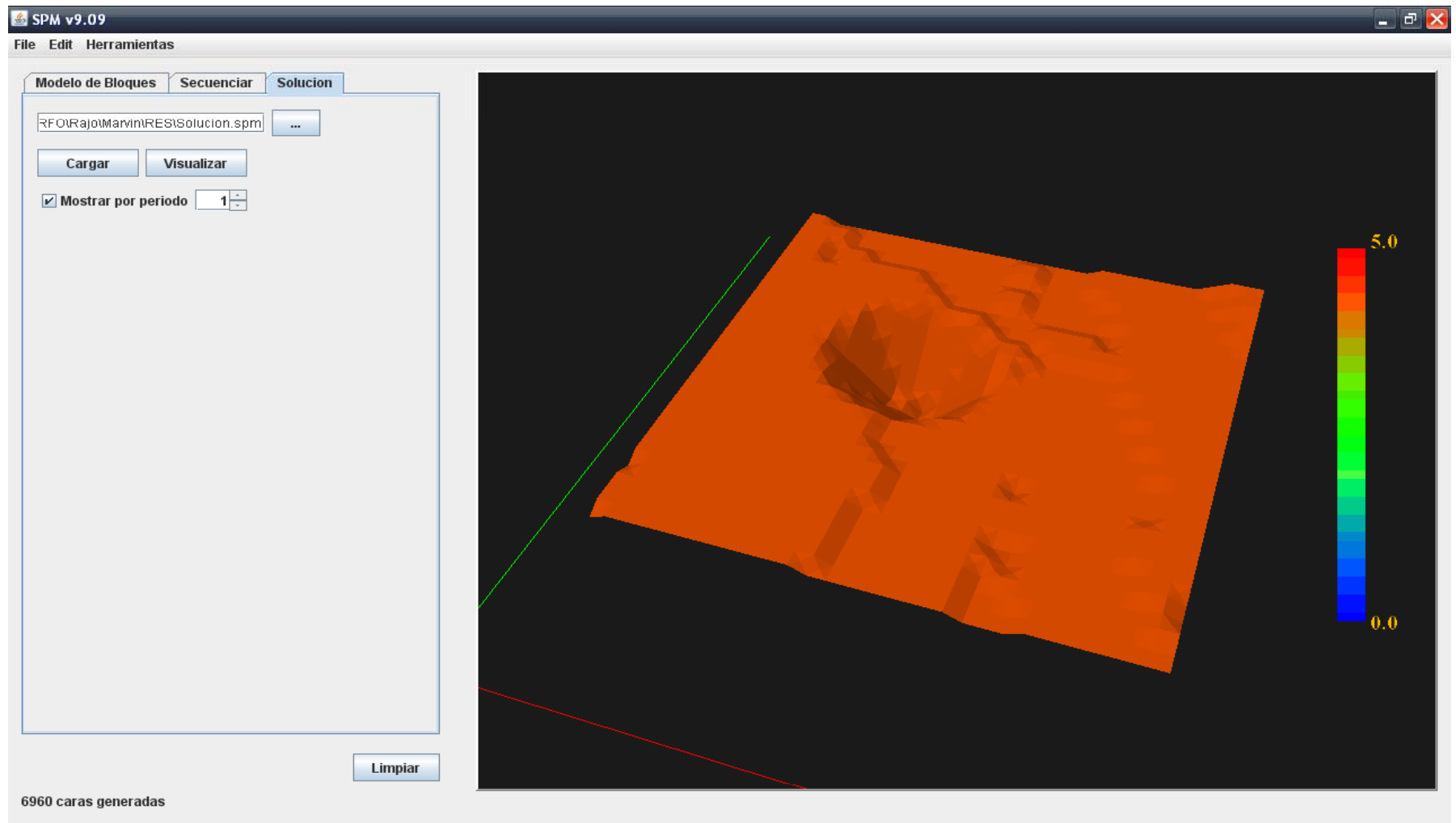
Solución con datos modificados



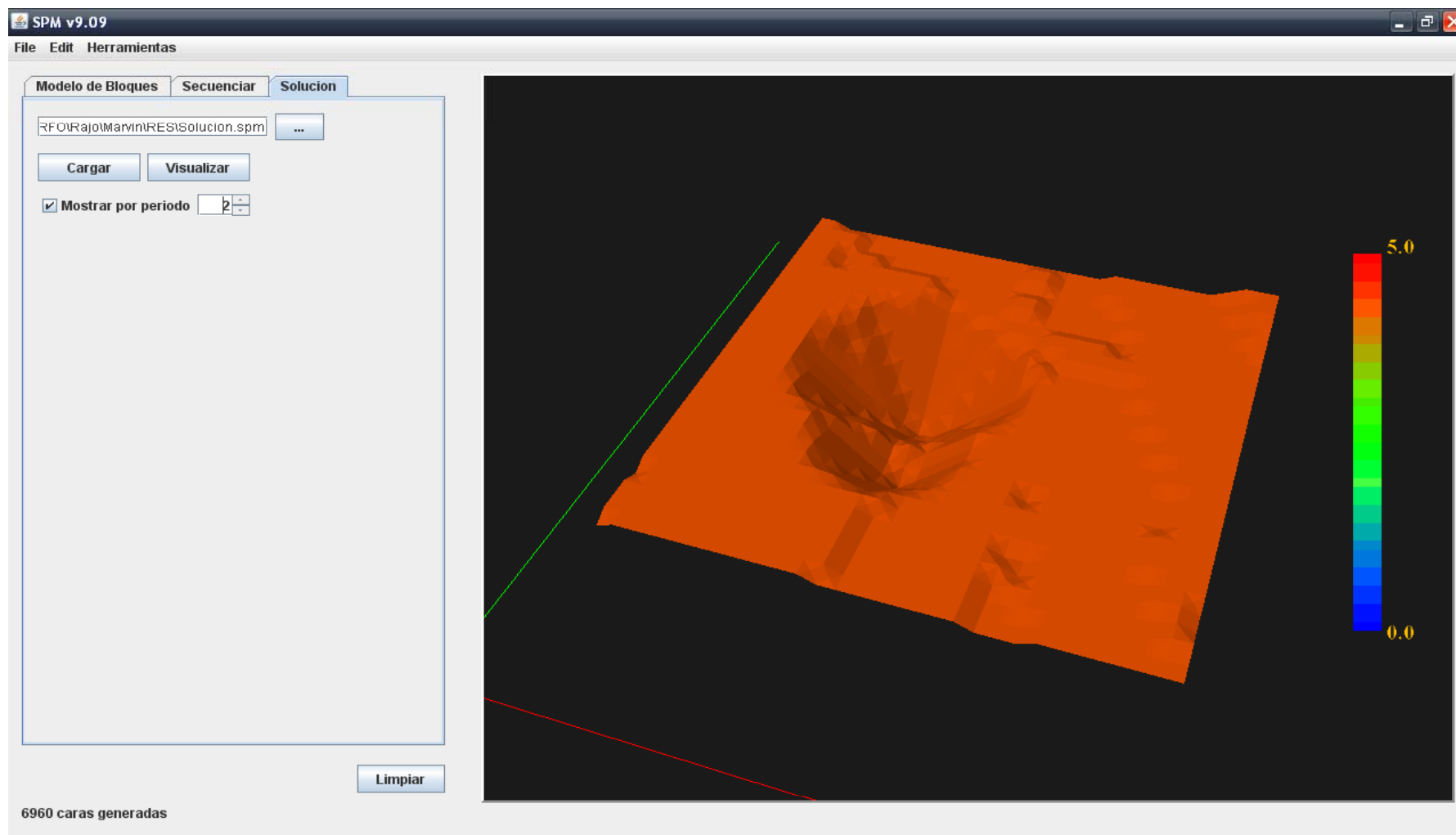
Solución con datos originales



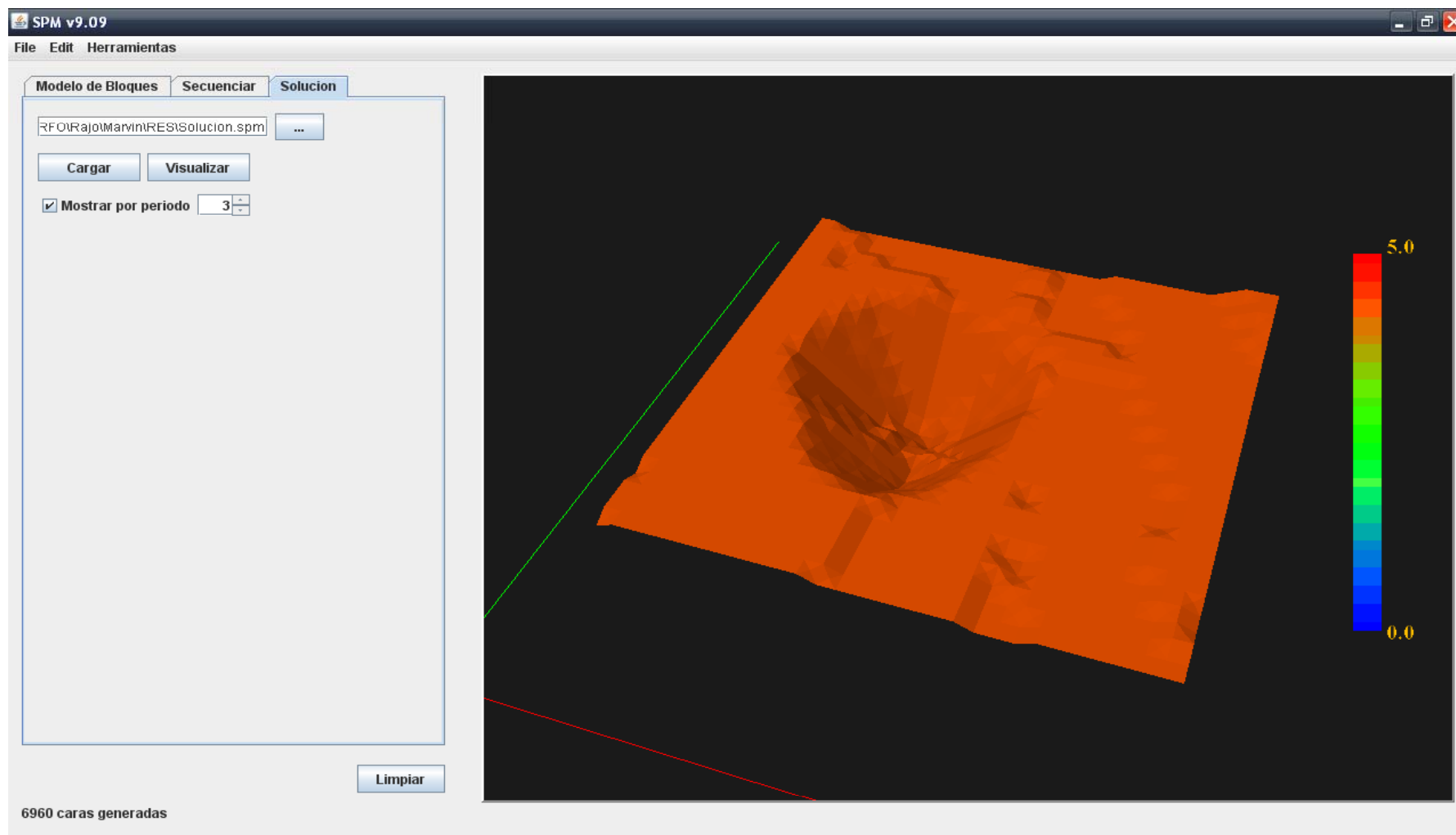
Solución con datos originales



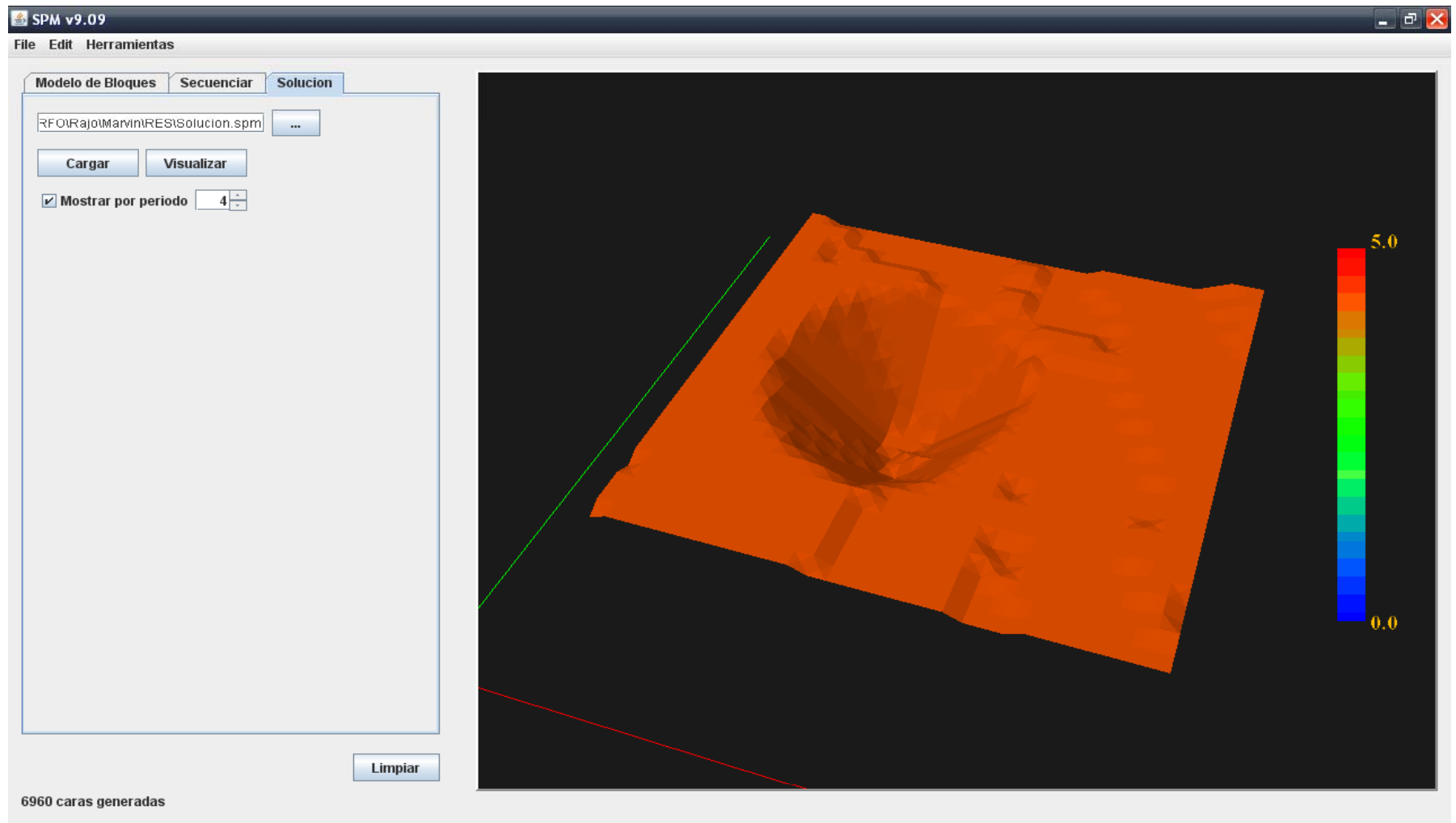
Solución con datos originales



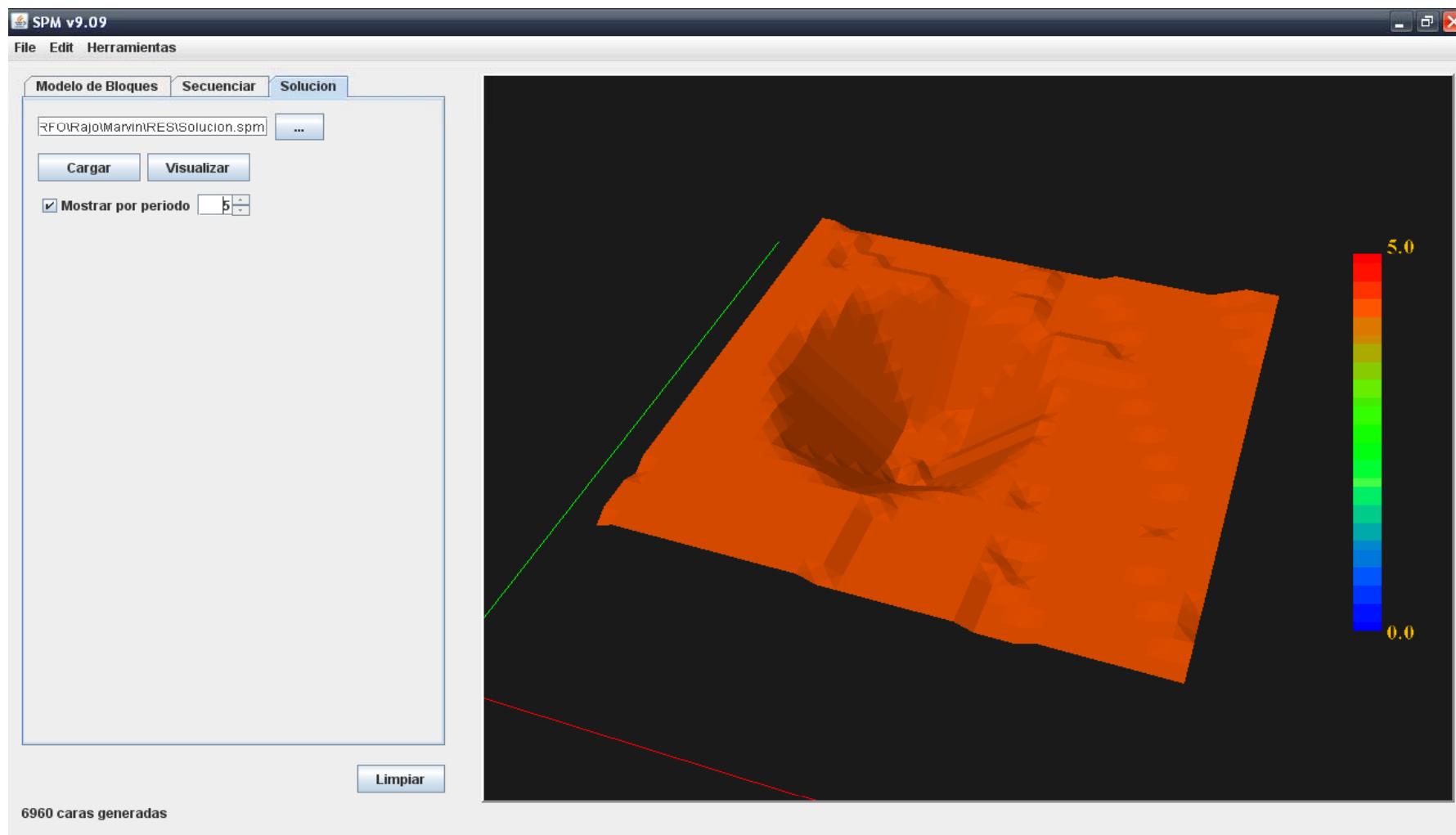
Solución con datos originales



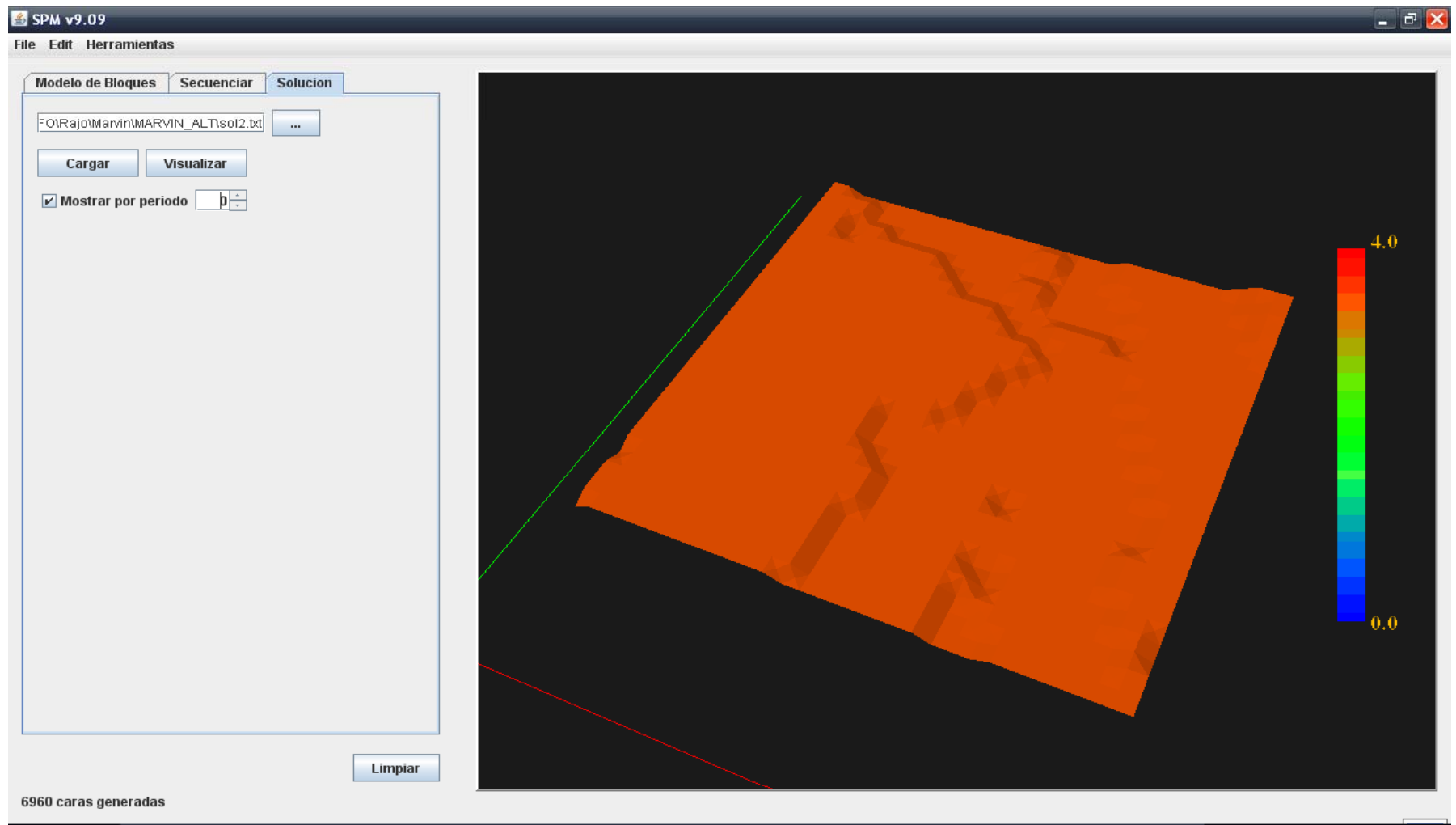
Solución con datos originales



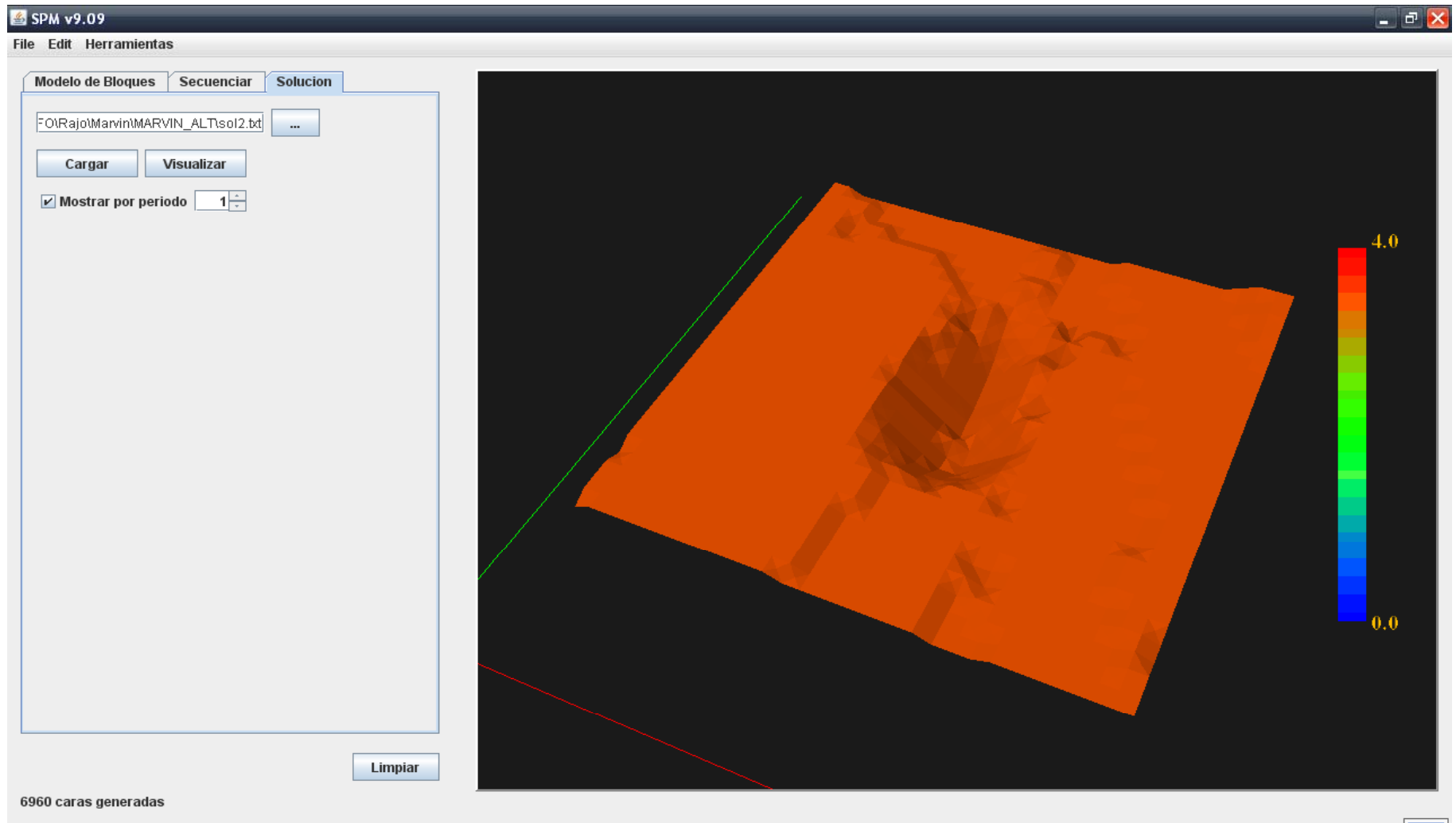
Solución con datos originales



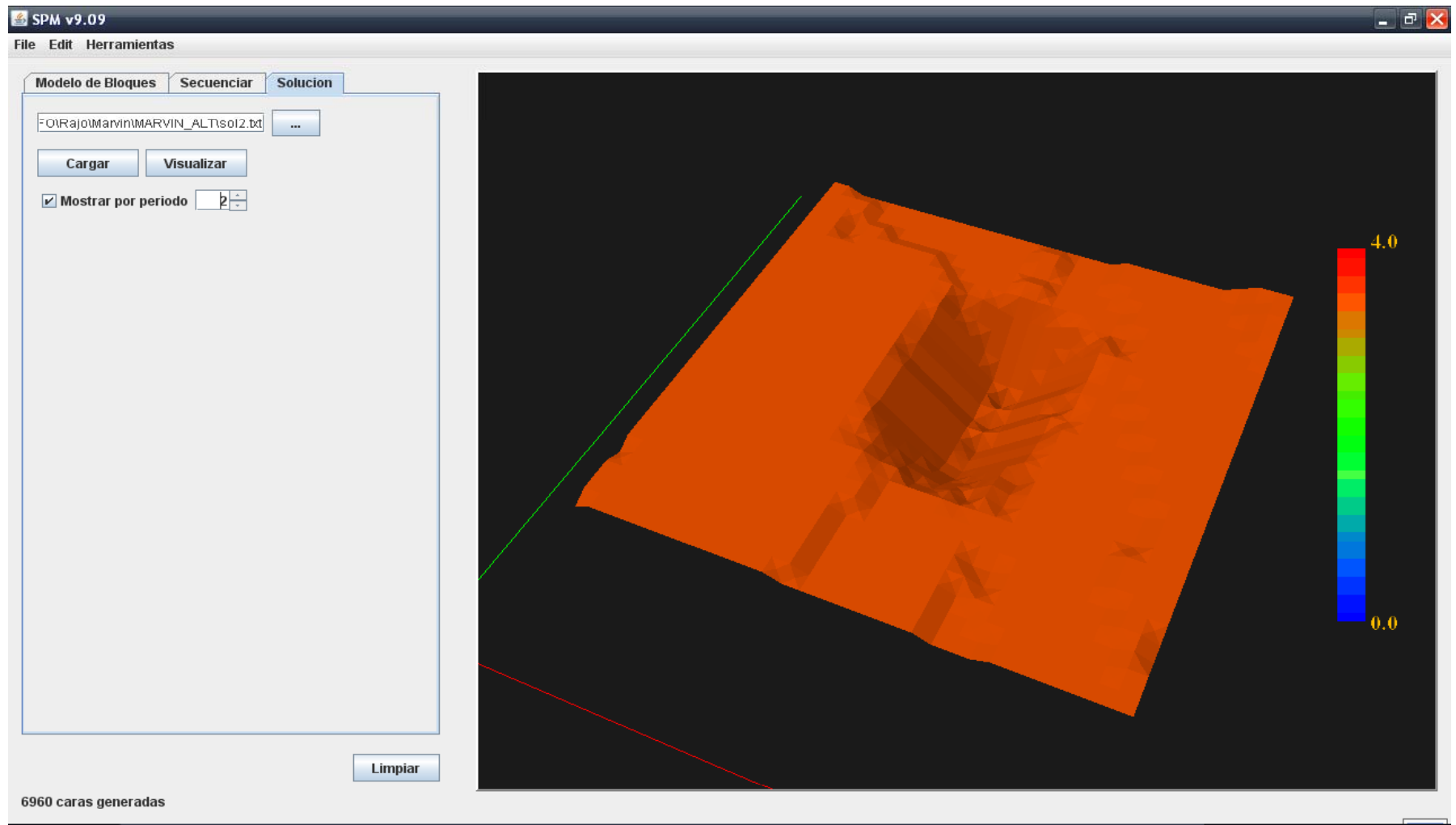
Solución con datos modificados



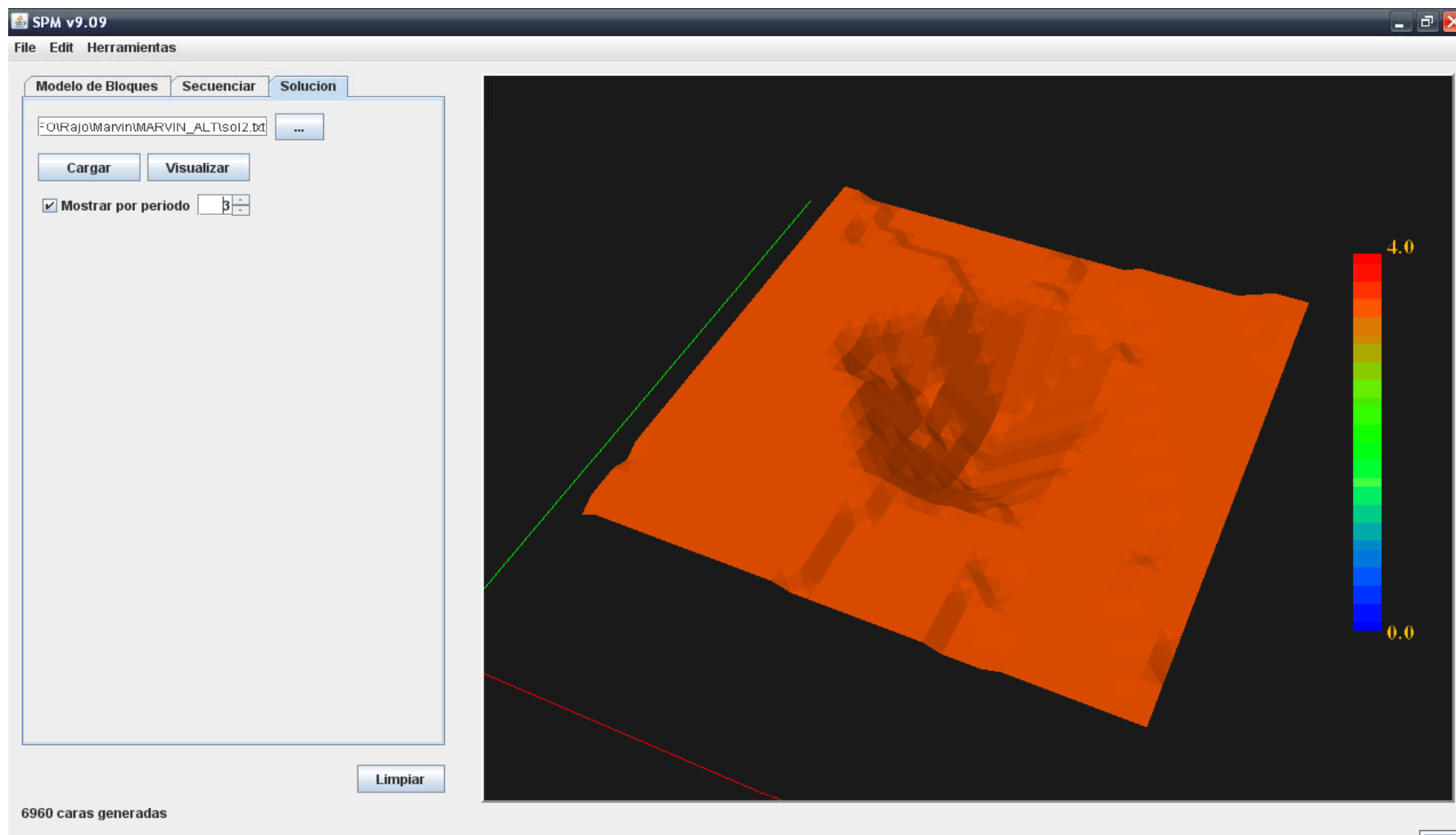
Solución con datos modificados



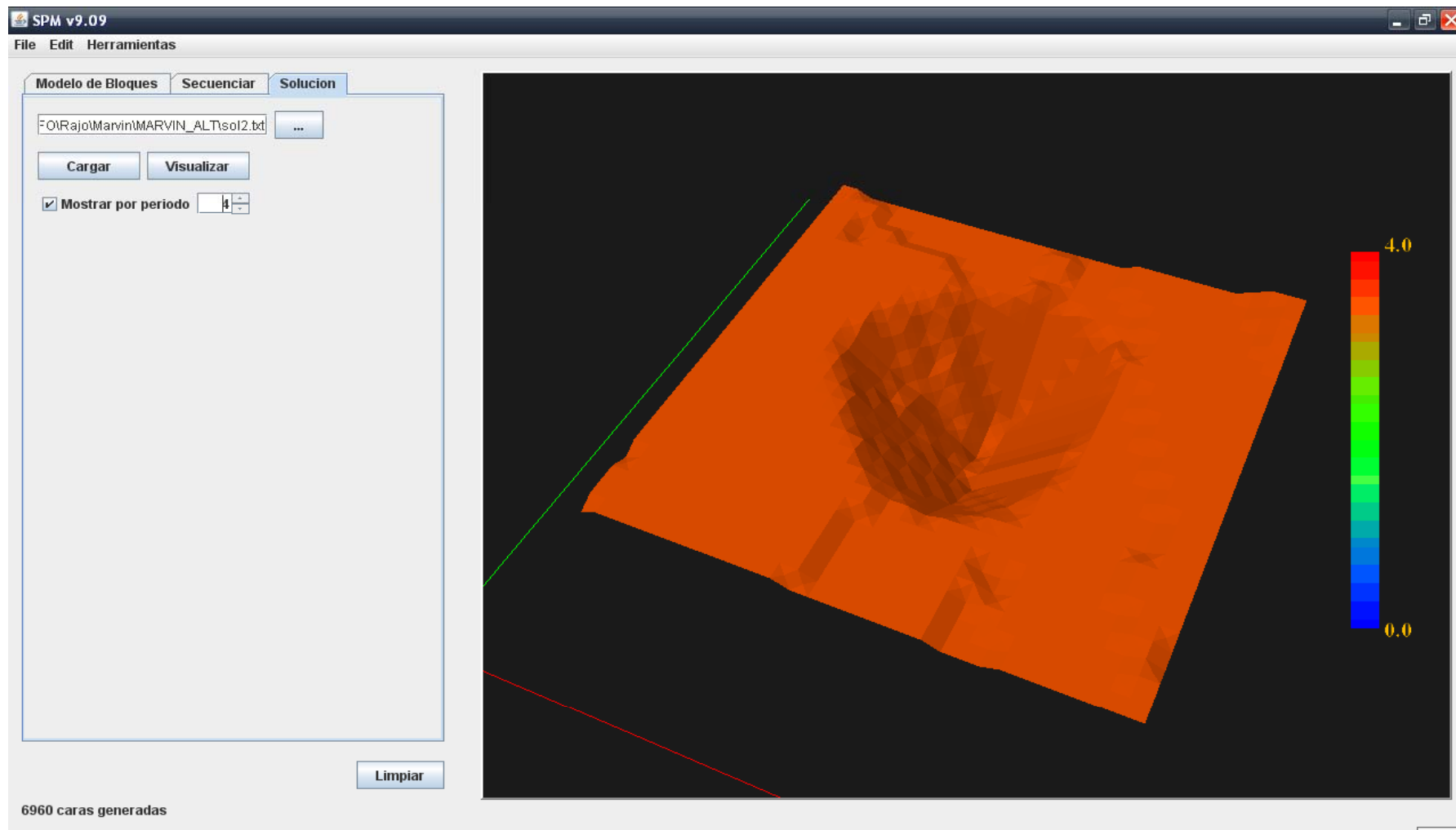
Solución con datos modificados

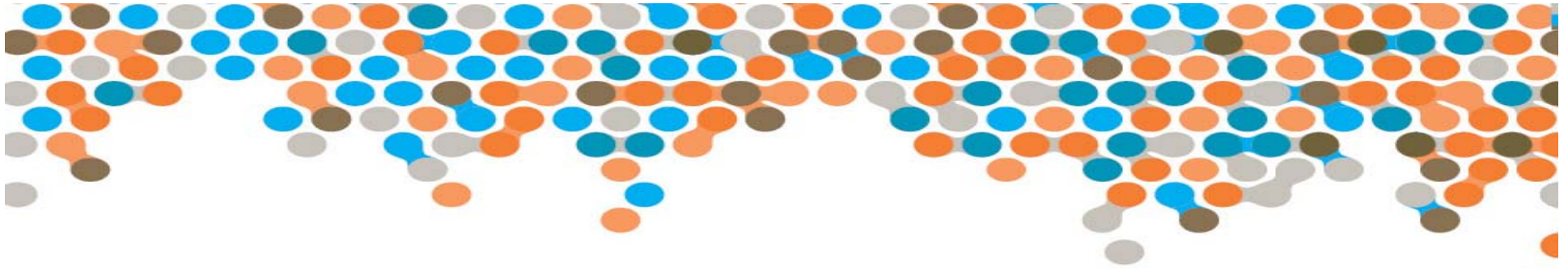


Solución con datos modificados



Solución con datos modificados

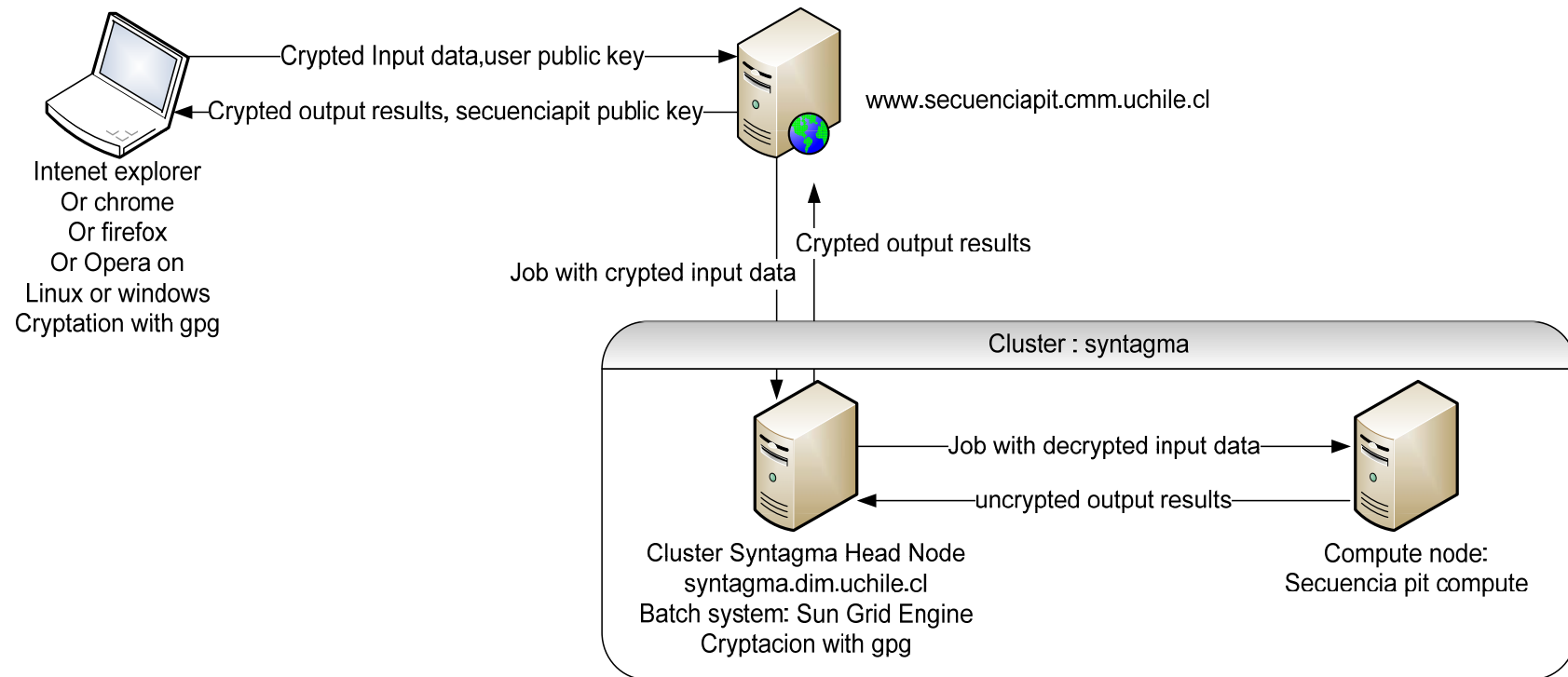


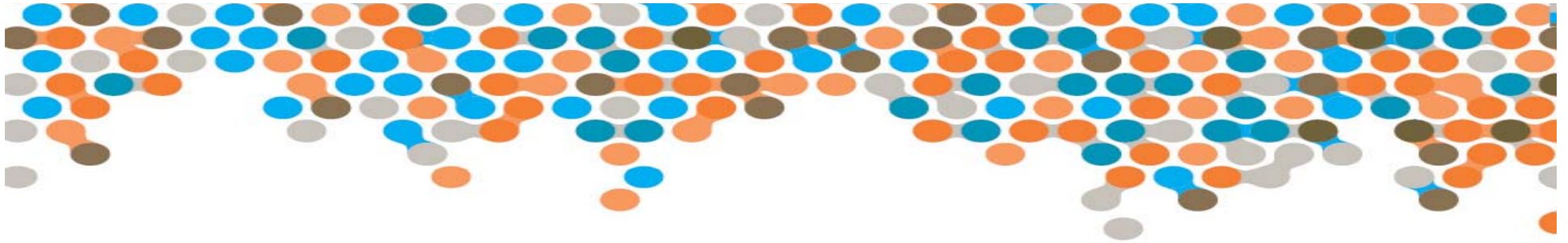


The Web Application

- OverView of the application
- Specifications of the application
- Features
- Specifications of the clusters
- Test results

Overview of the Application





Specifications of the application

- Application mono user
- Php pages website on a linux-apache web server
- Cryptation input/output data with gpg
- Communication between the website and the cluster with ssh
- Easy to use Interface

Features of the application





Encryption



Input Data



Launch Job



Job Status



Kill Job



Output Data



Delete Data



SYNTAGMA UP

gpg active key id : Fco Input Files:

LAUNCH JOB



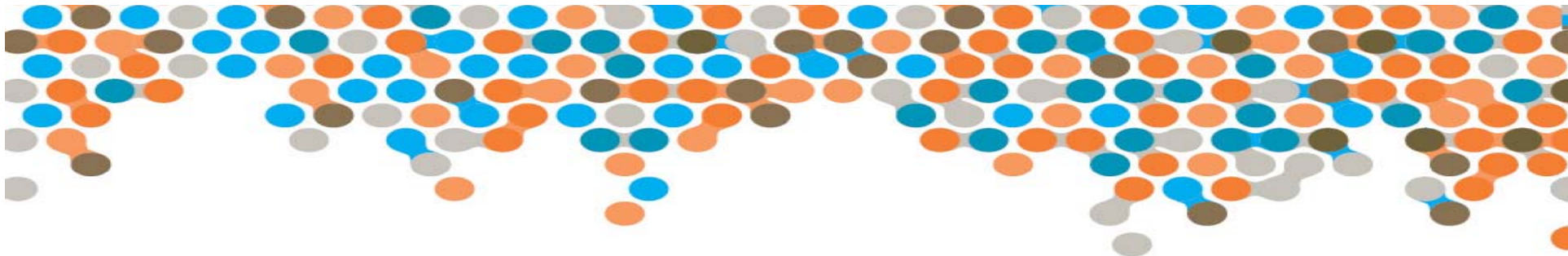
Job parameters (cf omp help, example: -l file.tim)

Job name (the 3 first letters must be omp) omp

Email adress where you want to recieve job notifications

2nd Email adress where you want to recieve job parameters mail





SECUENCIA PIT



Encryption



Input Data



Launch Job



Job Status



Kill Job



Output Data



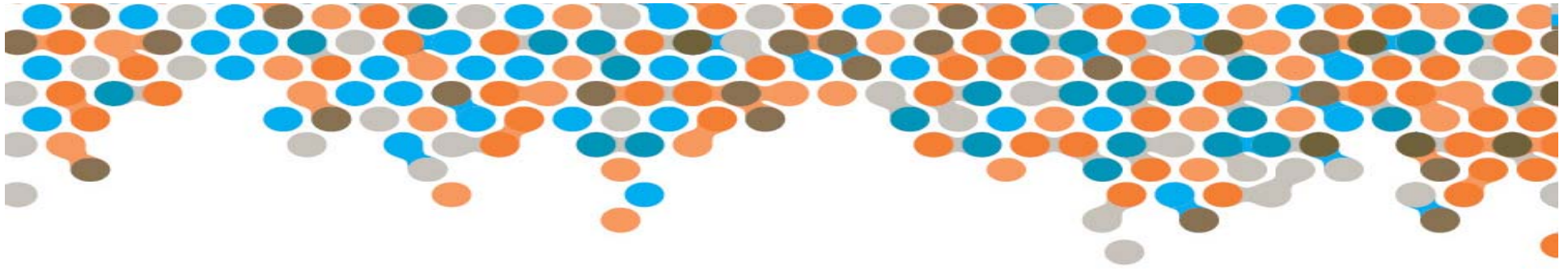
Delete Data



SYNTAGMA UP

JOB STATUS ?

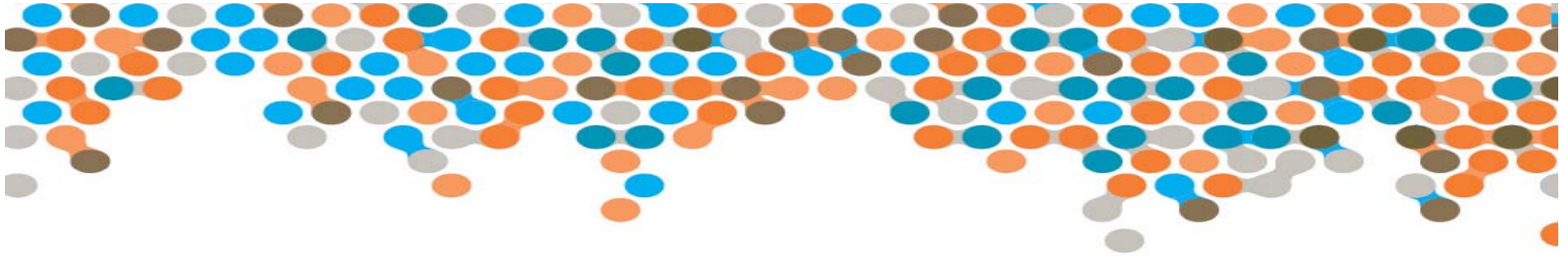
job-ID	prior	name	user	state	submit/start	at	queue	slots	ja-task-ID
152075	0.55500	PFAM	adigenova	dr	03/23/2010	18:49:42	all.q@compute-1-6.local	20	



Specifications of the clusters

- Syntagma :
 - 15 compute nodes
 - each node is itanium 2
 - (2 cores) – 4 GFlops/core
- IBM iDataPlex :
 - 66 compute nodes
 - each node is Intel Xeon X5550
 - (8 cores) – 10 GFlops/core





MUCHAS GRACIAS

jamaya@dim.uchile.cl
pnancel@dim.uchile.cl
nmorales@ing.uchile.cl

