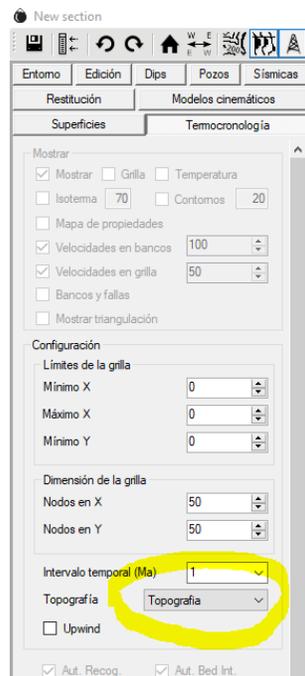


## ***Módulo de Termocronología - Andino 3D***

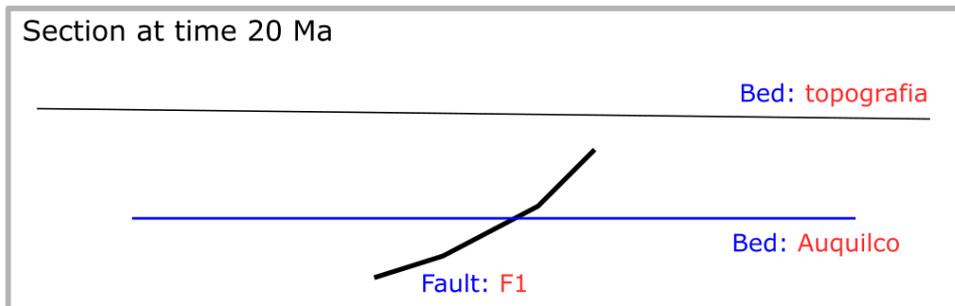
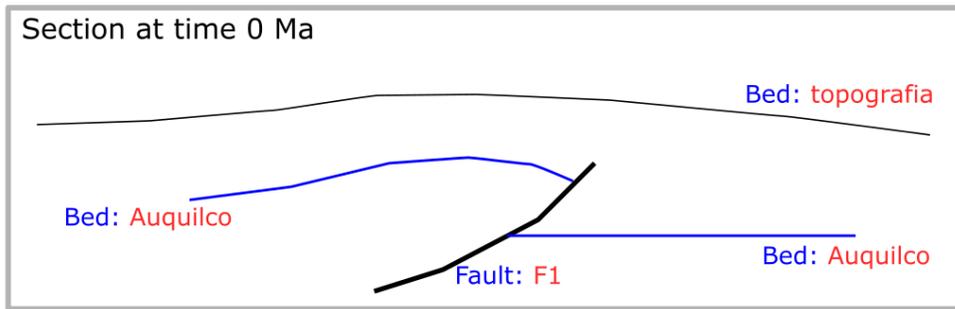
Andino 3D cuenta con un módulo de termocronología cinemática en 2D (sección) al que se puede acceder desde la solapa **Termocronología** en la ventana de sección.

Para poder utilizar el módulo, debemos haber creado al menos dos dibujos distintos, a distinta edad, de la misma sección. Por ejemplo, si el usuario está operando sobre la Seccion\_01, para poder correr el módulo de termocronología el usuario deberá generar primero diferentes estadíos de dicha sección. Por ejemplo, un estadío en el presente (0 Ma), y otro estadío hace 5 Ma. Dichos estadíos deben cumplir una serie de normas para que puedan ser interpretados como tales por Andino 3D.

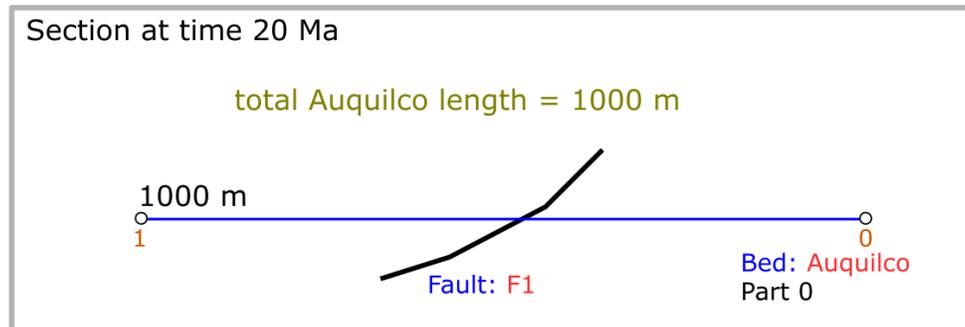
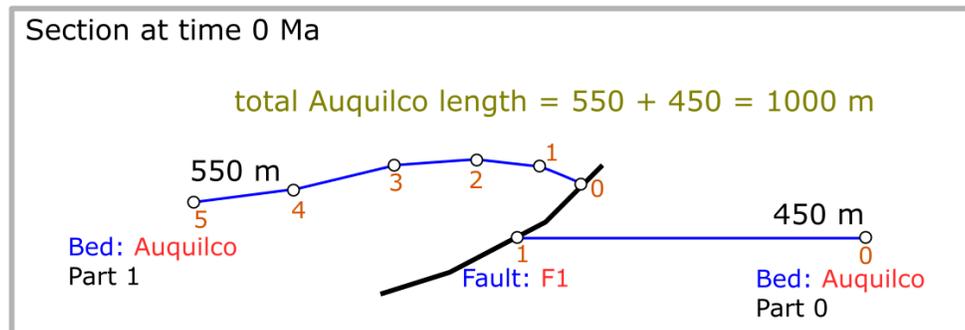
1. En todas las edades debe existir una “topografía” válida que podremos dibujar usando la herramienta de dibujo de bancos y asignándole en todo los tiempos un mismo nombre clave (ejemplo: “Topografía”, “Topo”, “Topography”, etc.). Es muy importante que los nombres estén escritos siempre igual en todas las edades. Andino 3D es “case sensitive”, por lo que tenemos que respetar mayúsculas y minúsculas. Si quisiéramos, en la edad más moderna podemos hacer una copia de la topografía actual del DEM (para esto, clickeamos con botón derecho sobre el fondo blanco de la sección usamos la función **Crear banco a partir de topografía**). Una vez generado el banco “topografía” en todas las edades, deberemos seleccionarlo en la solapa de **Termocronología**:



2. Todos los bancos y fallas deben llamarse exactamente igual en todas las edades. Además, si en un mismo tiempo un banco (o una falla) es cortado por una falla, los distintos tramos (pertenecientes a los distintos bloques de la falla) deben llamarse exactamente igual:



3. Andino 3D utiliza una técnica de balanceo por longitud de líneas para ubicar los puntos relativamente entre un tiempo y otro, para el cálculo de velocidades y para la ubicación de muestras. Es por ello que el largo de la suma de los distintos tramos de cada objeto (banco o falla) debe ser constante o aproximadamente constante entre las distintas edades:

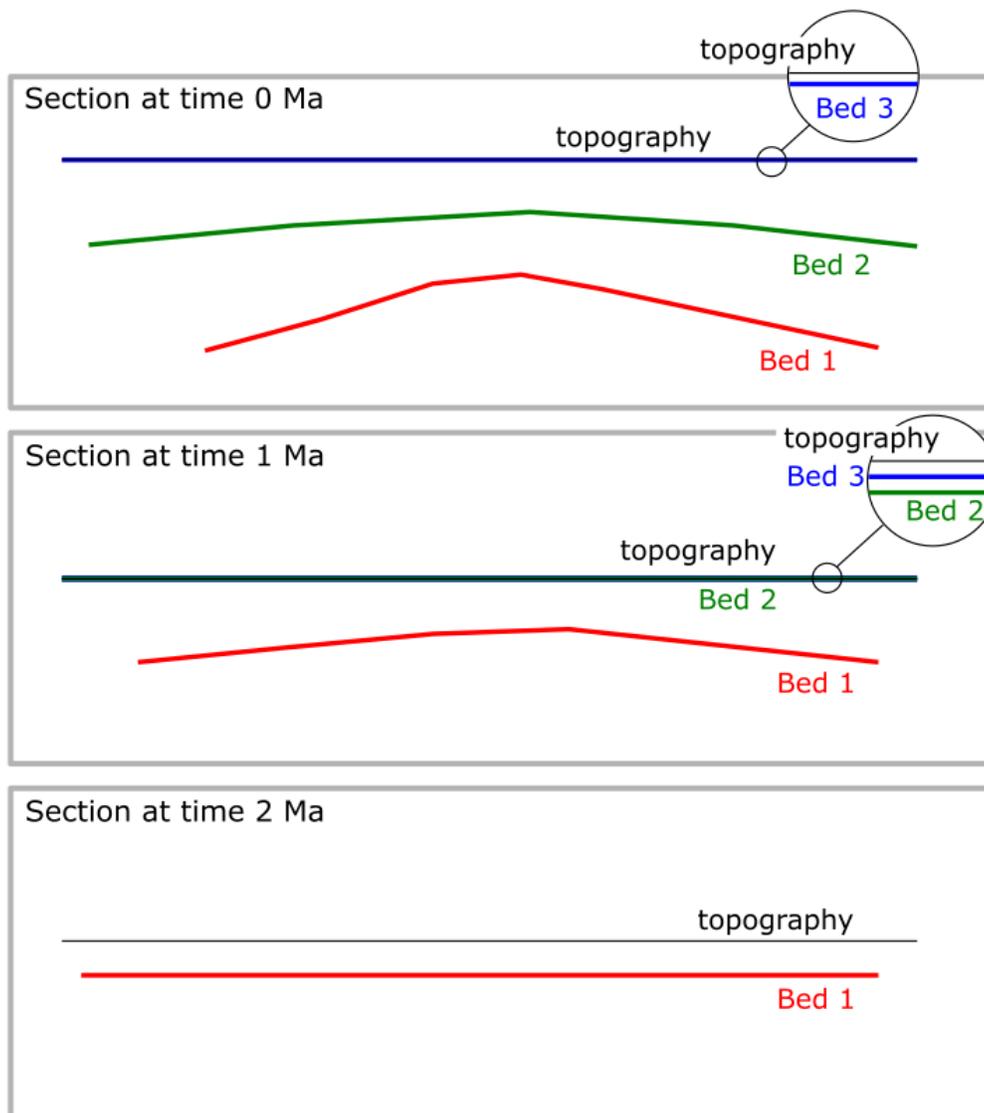




# andino 3D

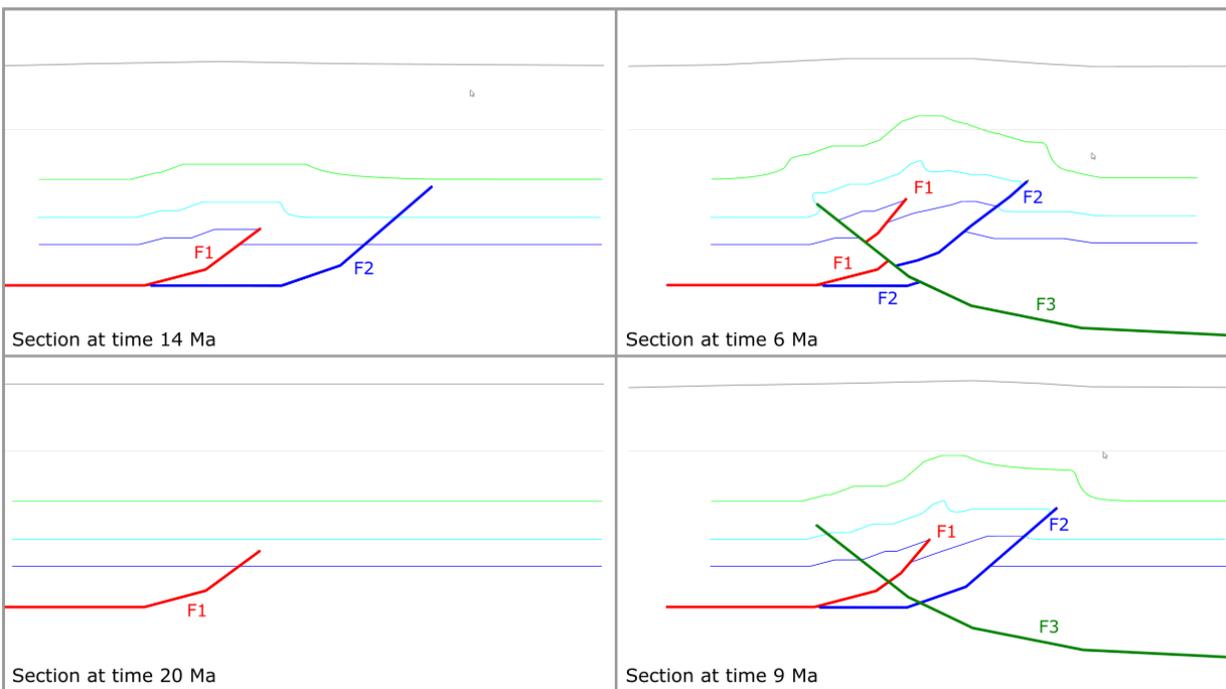
La cantidad de nodos con la que es dibujado un mismo banco en distintos tiempos puede ser distinta. En el caso de arriba, en la sección a 20 Ma la Formación Auquilco fue dibujada con solo dos nodos (uno en cada extremo) y en un solo tramo. Para la sección de 0 Ma, la misma unidad es dibujada en dos tramos: el del bloque yacente (tramo 0) contiene dos nodos; el del bloque colgante (tramo 1) contiene 6 nodos. Internamente Andino 3D numera los nodos de derecha a izquierda empezando en el nodo 0. Del mismo modo enumera los tramos de cada banco de derecha a izquierda empezando en el tramo 0. La condición que debe cumplirse en este caso, es que la suma de los largos de los tramos 0 y 1 de la sección a 0 Ma sea igual (o parecida) al largo del tramo 0 de la sección a los 20 Ma.

4. Un banco puede aparecer en un tiempo determinado. Sin embargo, si lo hiciera es importante que aparezca en el tiempo anterior a su deposición y/o deformación:



Por ejemplo, supongamos un estrato de crecimiento (banco 2 de la figura de arriba) que necesitamos que aparezca en la sección de 0 Ma. Si queremos que lo haga de una manera realista, es necesario depositarlo horizontal en superficie en un tiempo anterior (en este caso en la sección de 1 Ma). Esto hará que cuando Andino 3D interpole en tiempo intermedios, por ejemplo cada 0.1 Ma, el banco 2 vaya comportándose de manera geológicamente correcta. De lo contrario, el banco 2 aparecerá de repente en el tiempo en que lo dibujemos.

5. Las fallas deben cumplir la misma condición que los bancos de conservar sus longitudes durante su evolución. Si una falla es de propagación y en la realidad fue aumentando de largo, debemos dibujarla en todos los tiempos con su largo final. Aun si las fallas tienen despegues comunes o zonas de superposición, deben dibujarse con el mismo largo en todo los tiempos:

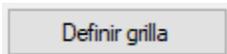


6. Una falla no necesita estar presente en todos los tiempos de una sección. Sin embargo, debe ser dibujada en el tiempo anterior a que haya tenido su primer desplazamiento como se muestra en la figura de arriba. El largo acumulado en cada tiempo de la falla debe ser el mismo. Si se analiza como ejemplo la falla F2 de la figura de arriba, podrá verse que la misma no existe a los 20 Ma. A los 14 Ma se la dibuja sin rechazo. Recién a los 9 Ma hay rechazo en dicha falla y a los 6 Ma es cortada por la falla F3. El largo, de la falla F2 a los 14 Ma (en su único tramo), el largo de la falla F2 a los 9 Ma (en su único tramo) y la suma de los largos de ambos tramos de la falla F2 a los 6 Ma deben ser iguales (o aproximadamente iguales).

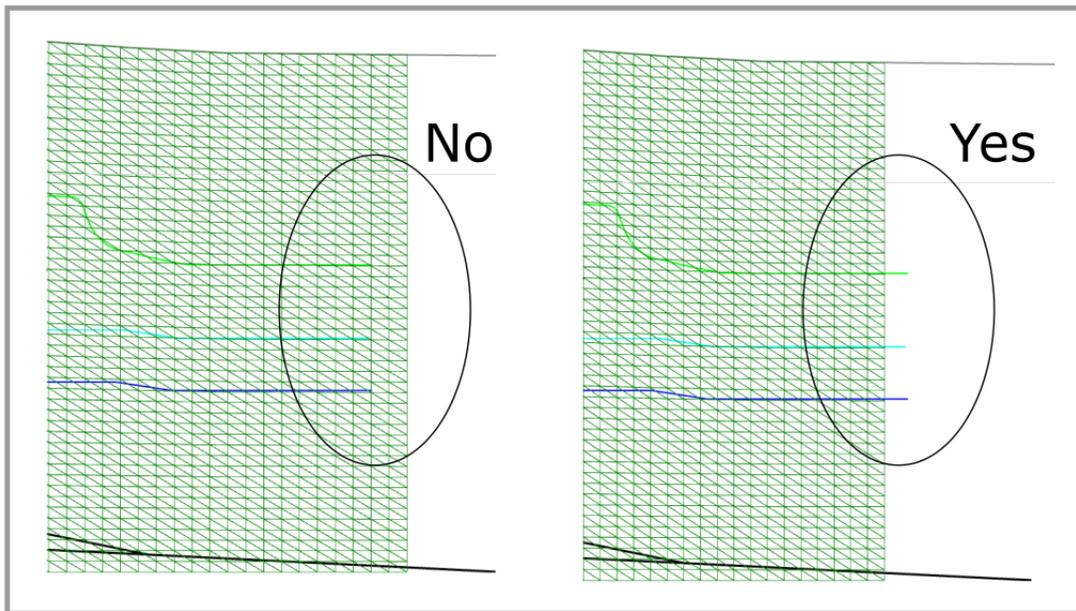
Una vez dibujados los distintos estadios (distintos tiempos) de una sección, podemos proceder a construir el modelo termocinemático. Para ello Andino 3D utiliza un flujo de trabajo de 4 pasos: 1. Definir grilla; 2. Interpolarse tiempos; 3. Poblar datos; 4. Resolver:



En cualquiera de estos 4 pasos, se puede resetear el proceso para hacer modificaciones a las secciones, a sus tiempos, o a cualquiera de las condiciones definidas.



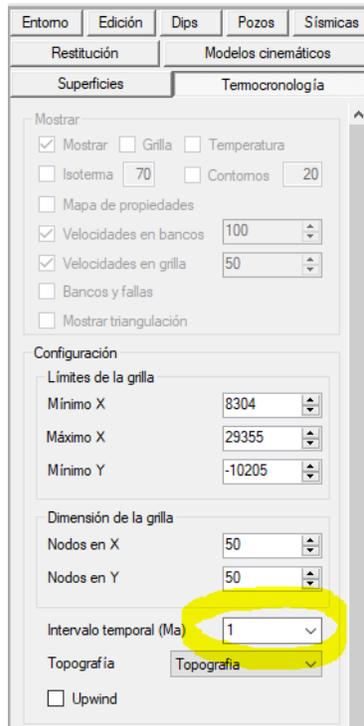
Cuando se oprima el botón de **Definir grilla**, Andino 3D dibujará la grilla sobre la que se harán los cálculos termocinemáticos. Los límites de la misma son definidos automáticamente utilizando los dibujos de todas las edades de la sección, sin embargo, el usuario puede cambiarlos y visualizar en tiempo real los nuevos límites. Es recomendable que no haya terminaciones de bancos dentro de la grilla para ningún tiempo:



Por defecto, la grilla será definida por Andino 3D de 50 x 50 elementos. También puede modificarse la cantidad de filas y columnas de la grilla. Es recomendable que tratemos que las celdas sean equidimensionales (parecidas a cuadrados).

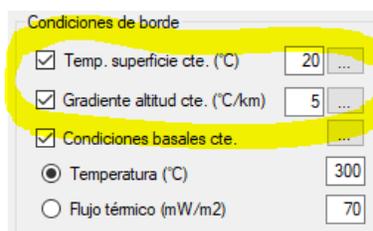


Para correr un modelo termocinemático Andino 3D necesita secciones equiespaciadas en tiempo, sin embargo, el usuario en general dibuja secciones sólo en los tiempos en los que tiene controles suficientes como para proponer un modelo. Es por esto que Andino 3D requiere hacer una interpolación de secciones para “fabricar” modelos equiespaciados en tiempo. En este momento del flujo de trabajo se elige el valor del intervalo de interpolación:



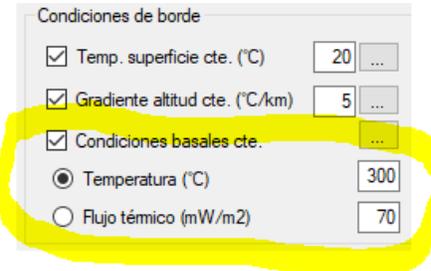
Es recomendable que el mismo sea un divisor común de todas las edades dibujadas de la sección. Si esto no se cumple, quedarán edades dibujadas por el usuario que no sean utilizadas en el cálculo termocinemático. Por ejemplo, supongamos que dibujamos secciones a 20, 14, 9, 6 y 0 Ma, entonces podremos utilizar como Intervalo temporal 1 Ma, 0.5 Ma, 0.1 Ma ó algún otro valor que sea divisor de 20, 14, 9 y 6.

En este momento también se definen las condiciones de borde de superficie y profundidad del modelo. Las primeras corresponden a “temperatura de superficie” y “gradiente de enfriamiento con la altitud”:



La primera indica la temperatura del modelo al nivel del mar y se da en °C. La segunda corresponde a la tasa de enfriamiento por encima del nivel del mar y se da en °C/km (indica la cantidad de grados centígrados que se enfría la superficie del modelo por cada km de elevación del mismo).

Las condiciones de borde de profundidad pueden darse de dos maneras distintas:

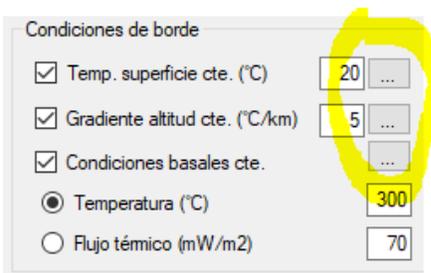


Condiciones de borde

- Temp. superficie cte. (°C) 20 ...
- Gradiente altitud cte. (°C/km) 5 ...
- Condiciones basales cte. ...
- Temperatura (°C) 300
- Flujo térmico (mW/m2) 70

como “temperatura basal” (en °C) o como flujo térmico basal en mW/m2. En este último caso es necesario también dar una temperatura basal inicial (en °C).

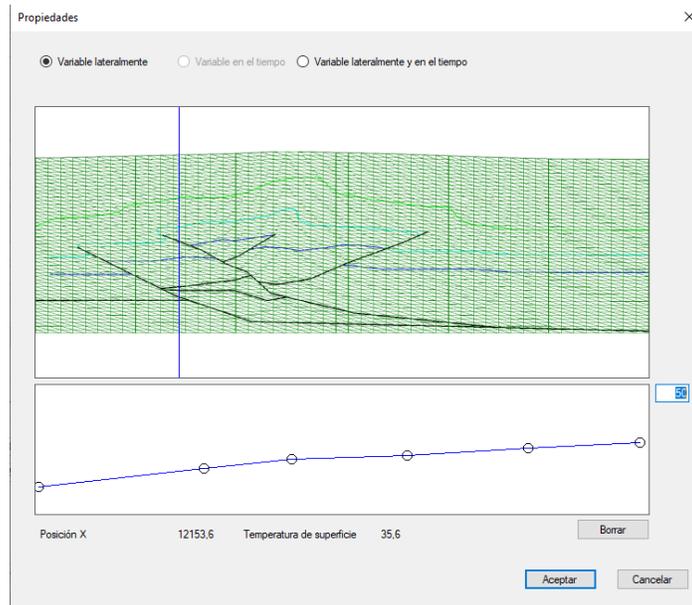
En todos los casos las condiciones de borde pueden definirse como constantes (si está marcado el checkbox) o como variables en el tiempo y/o en el espacio (si no está marcado el checkbox). Para introducir las variaciones en tiempo y/o espacio, se accede al botón de opciones de cada condición de borde:



Condiciones de borde

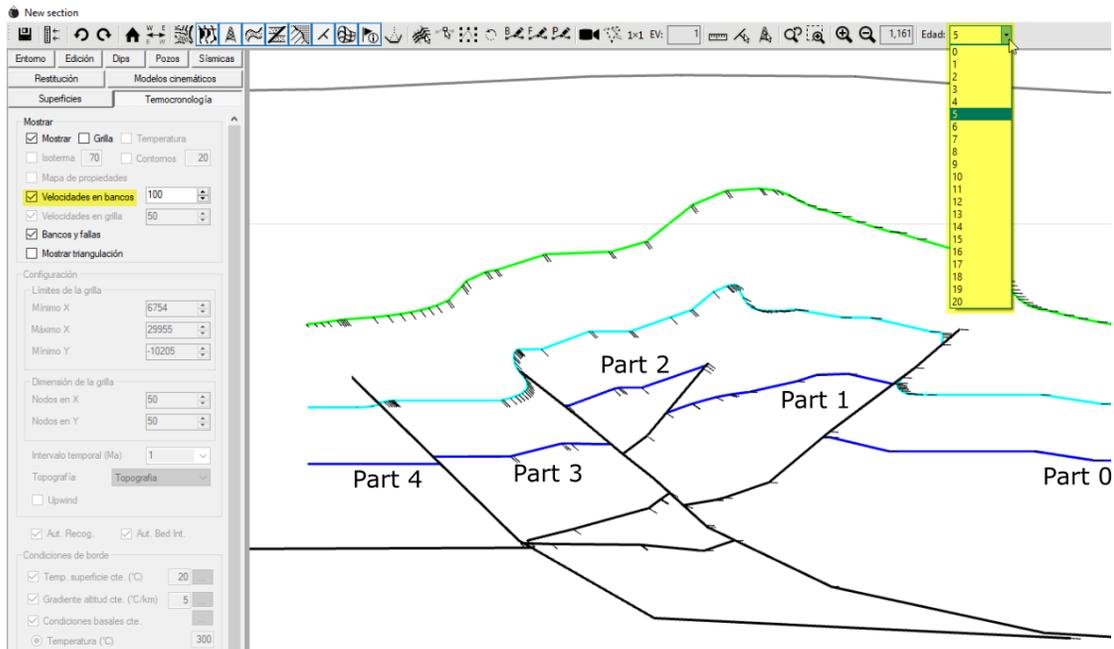
- Temp. superficie cte. (°C) 20 ...
- Gradiente altitud cte. (°C/km) 5 ...
- Condiciones basales cte. ...
- Temperatura (°C) 300
- Flujo térmico (mW/m2) 70

En dichas opciones aparecerá un diálogo en el que se pueden digitalizar las variaciones laterales en cada tiempo de la sección:



**Interpolar tiempos**

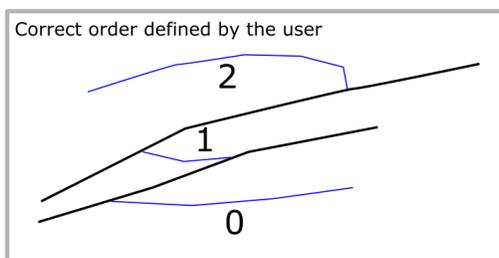
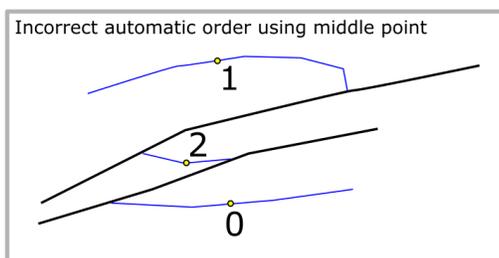
Posteriormente a definir la grilla y a imponer las condiciones de borde e intervalo de interpolación se procederá a **Interpolar tiempos**. Este proceso creará todos los tiempos interpolados separados por el intervalo de interpolación. Supongamos el caso anterior en que habíamos dibujado secciones a 20, 14, 9, 6 y 0 Ma y habíamos elegido 1 Ma como intervalo de interpolación. Resultará entonces en 21 modelos separados por 1 Ma cada uno:



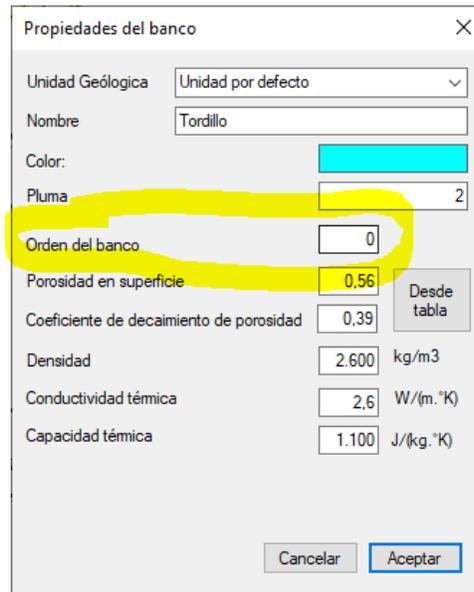
Si uno eligiera para visualizar una edad particular no creada por nosotros, por ejemplo la de 5 Ma, la sección que aparezca no será editable pues ha sido interpolada por Andino 3D entre las dos dibujadas por el usuario antes y después de la misma, en este caso las de 6 y 0 Ma.

En este punto es importante analizar la evolución interpolada por Andino 3D de la sección y buscar alguna posible inconsistencia (utilizando el combo de edades resaltado en la figura anterior). Por ejemplo si no se hubiesen conservado las longitudes de bancos y/o fallas en la construcción inicial, saltará en el análisis visual de las secciones ya que habrá comportamientos irracionales. Se puede activar la visualización de las velocidades en bancos para ayudarnos a analizar la evolución. De encontrar alguna inconsistencia, el usuario deberá resetear el modelo y generar las modificaciones necesarias a las secciones originalmente dibujadas.

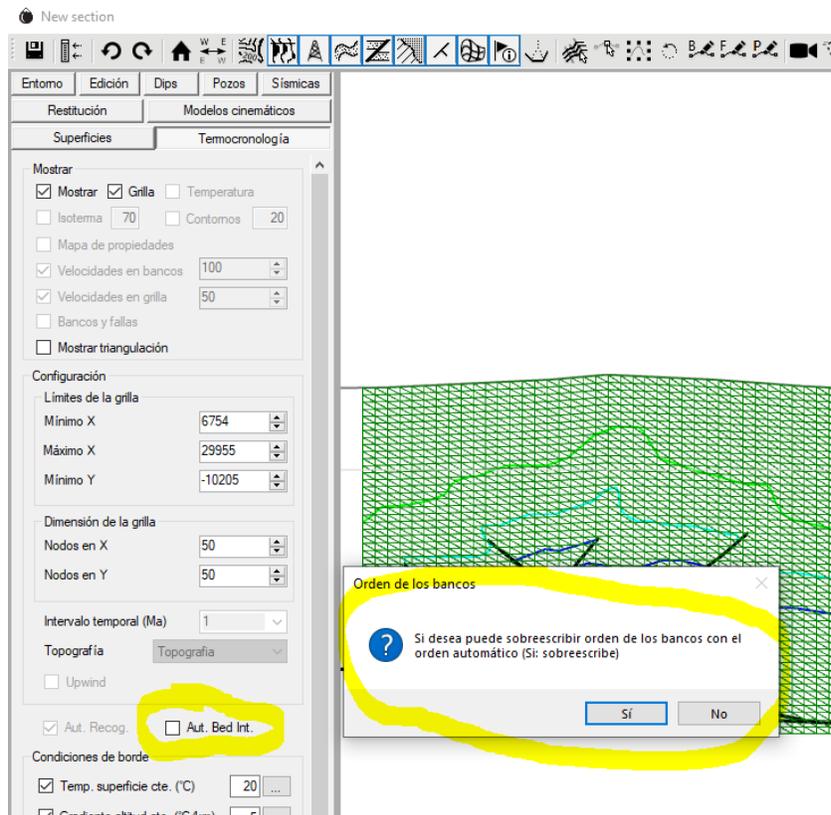
Para hacer la interpolación de cada banco y cada falla en las distintas edades, Andino 3D necesita conocer el orden de los distintos tramos de un objeto (por ejemplo de un banco) que fue cortado por una o varias fallas. En el caso de la figura de arriba, si observamos el banco azul, está cortado en 5 tramos que de derecha a izquierda Andino 3D interpretará como 0, 1, 2, 3 y 4. Esta interpretación automática, Andino 3D la hace a partir del “centro de gravedad” de cada tramo (punto medio) y en general funciona para la mayoría de los casos geológicos. Sin embargo, hay situaciones complejas que pueden llevar a que la interpretación automática no sea la correcta:



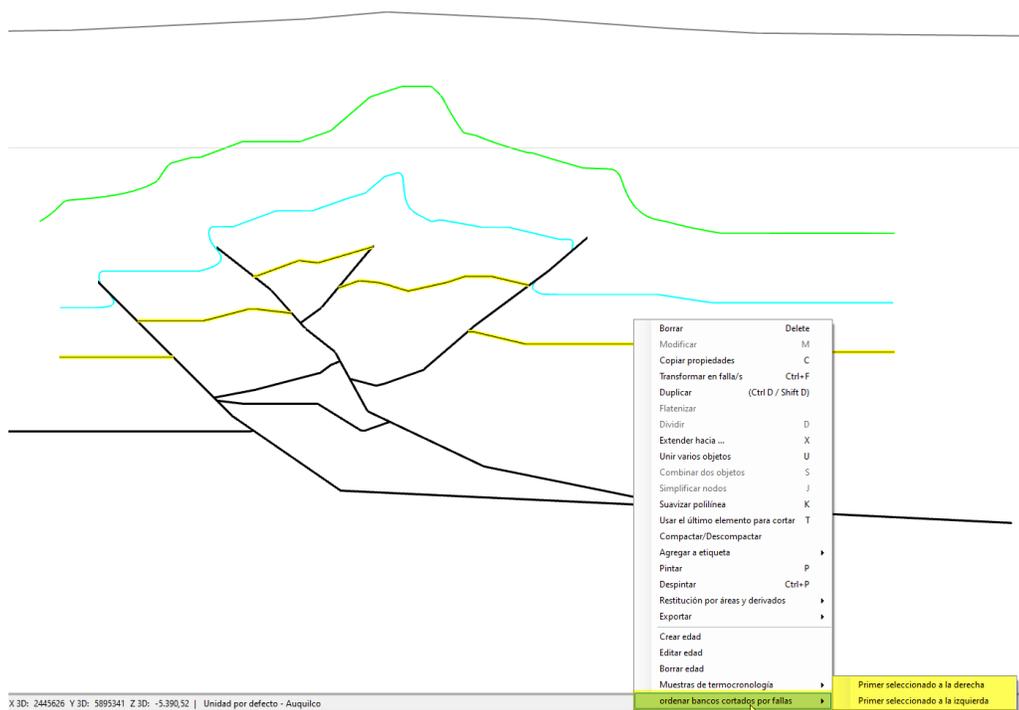
En el caso de la figura de arriba, Andino 3D interpreta mal el orden de los bloques utilizando el “centro de gravedad” de cada banco. En estos casos, es necesario que el usuario intervenga ya que de lo contrario las interpolaciones generadas van a ser incorrectas (y saltarán a la vista en el análisis visual de la evolución de las secciones interpoladas). Para resolver estos problemas, los bancos tienen una propiedad denominada “Orden del banco”:



a la que se accede desde el diálogo de modificación de propiedades de cada banco (con el banco seleccionado se presiona la letra "M"). Por defecto los órdenes de todos los bancos se encuentran en "0". Para utilizar estos órdenes es necesario deschequear el checkbox de "Orden automático":



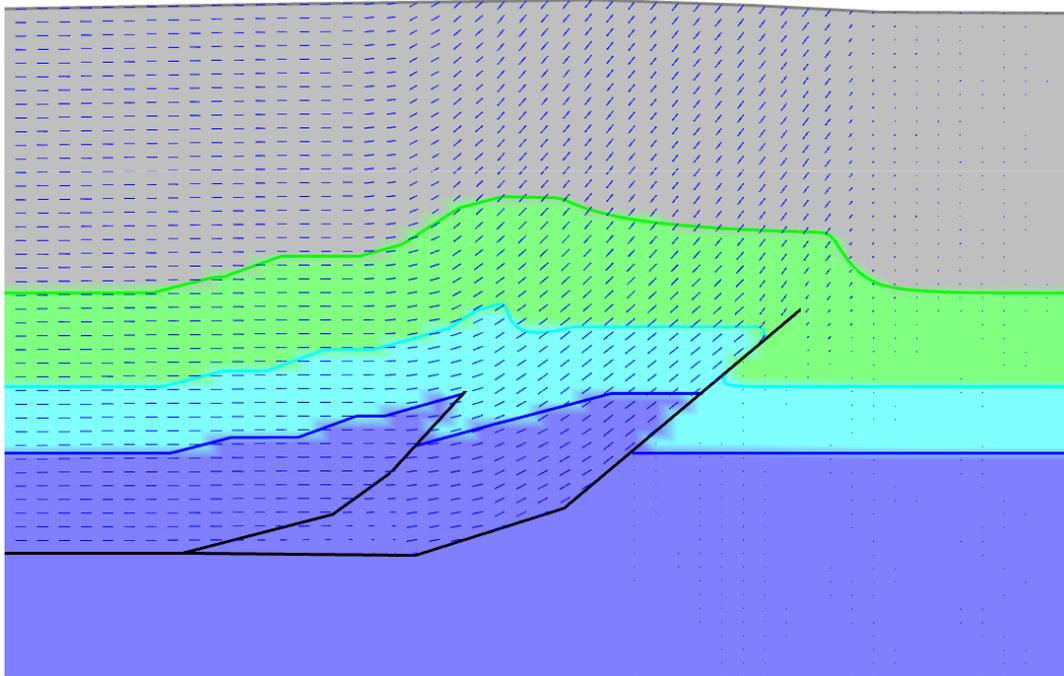
Andino 3D preguntará si queremos sobrescribir los órdenes (inicialmente seteados en “0”) con los órdenes automáticos. En el caso afirmativo, se sobrescribirán los órdenes con los calculados por Andino 3D, que funcionarán bien para la mayoría de los casos pero no para los casos anómalos mencionados. Una vez hecho esto, se modificarán manualmente los órdenes de los bancos que causaron el problema. Para no tener que tipear el orden de cada tramo de un banco, Andino 3D cuenta con una herramienta que le permitirá modificar los órdenes según el orden de selección de los tramos. La herramienta se despliega en el menú contextual de botón derecho una vez seleccionados varios tramos de un banco:



**Poblar datos**

Una vez seguros de que las secciones originales no tienen problemas que afecten a la interpolación de Andino 3D y que Andino 3D interpretó bien el ordenamiento de los bancos (o que nosotros modificamos esos órdenes para resolver los problemas), podemos pasar a paso de **Poblar datos**. Este paso es el que más tiempo le consume a Andino 3D y consta de distribuir las propiedades térmicas definidas para cada banco a los elementos de la grilla que están entre ellos. Recordemos que Andino 3D interpreta los “bancos” como topes de un paquete geológico, por lo que otorgará las propiedades de un “banco” a todos los elementos que estén por debajo del mismo y por encima del banco próximo hacia abajo. También en este paso Andino 3D interpolará las velocidades obtenidas en los nodos de los bancos a cada nodo de la grilla. Una

vez poblados los datos, se podrá activar la visualización de las propiedades y de las velocidades en la grilla:



Recorriendo todas las edades, se podrá evaluar el éxito de este paso. Los colores representarán la distribución de propiedades térmicas (densidad, conductividad térmica y capacidad calórica que se asignó a cada banco:

Propiedades del banco

Unidad Geológica: Unidad por defecto

Nombre: VacaMuerta

Color: 

Pluma: 2

Orden del banco: 0

Porosidad en superficie: 0,56 Desde tabla

Coefficiente de decaimiento de porosidad: 0,39

Densidad: 2.700 kg/m<sup>3</sup>

Conductividad térmica: 2,7 W/(m.°K)

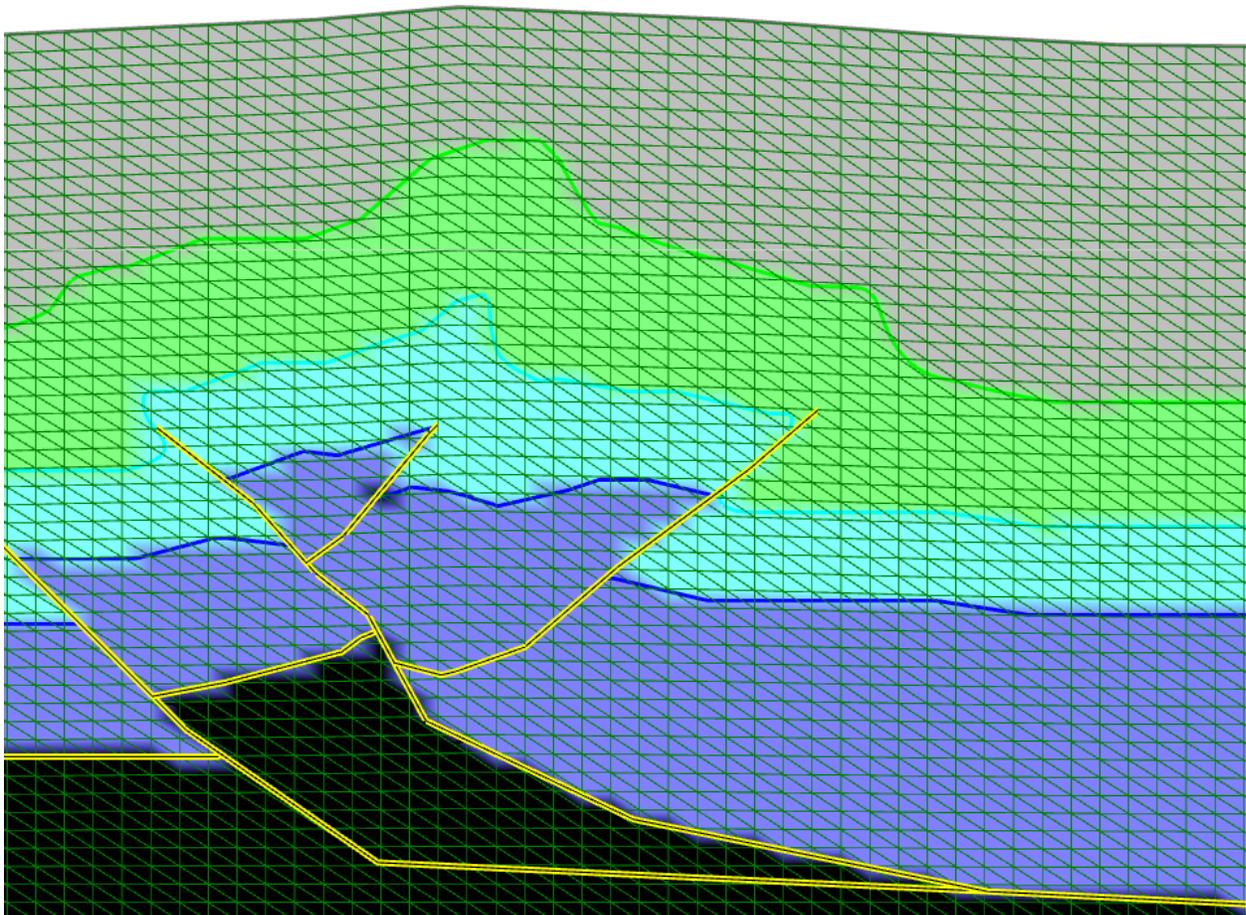
Capacidad térmica: 1.200 J/(kg.°K)

Cancelar Aceptar



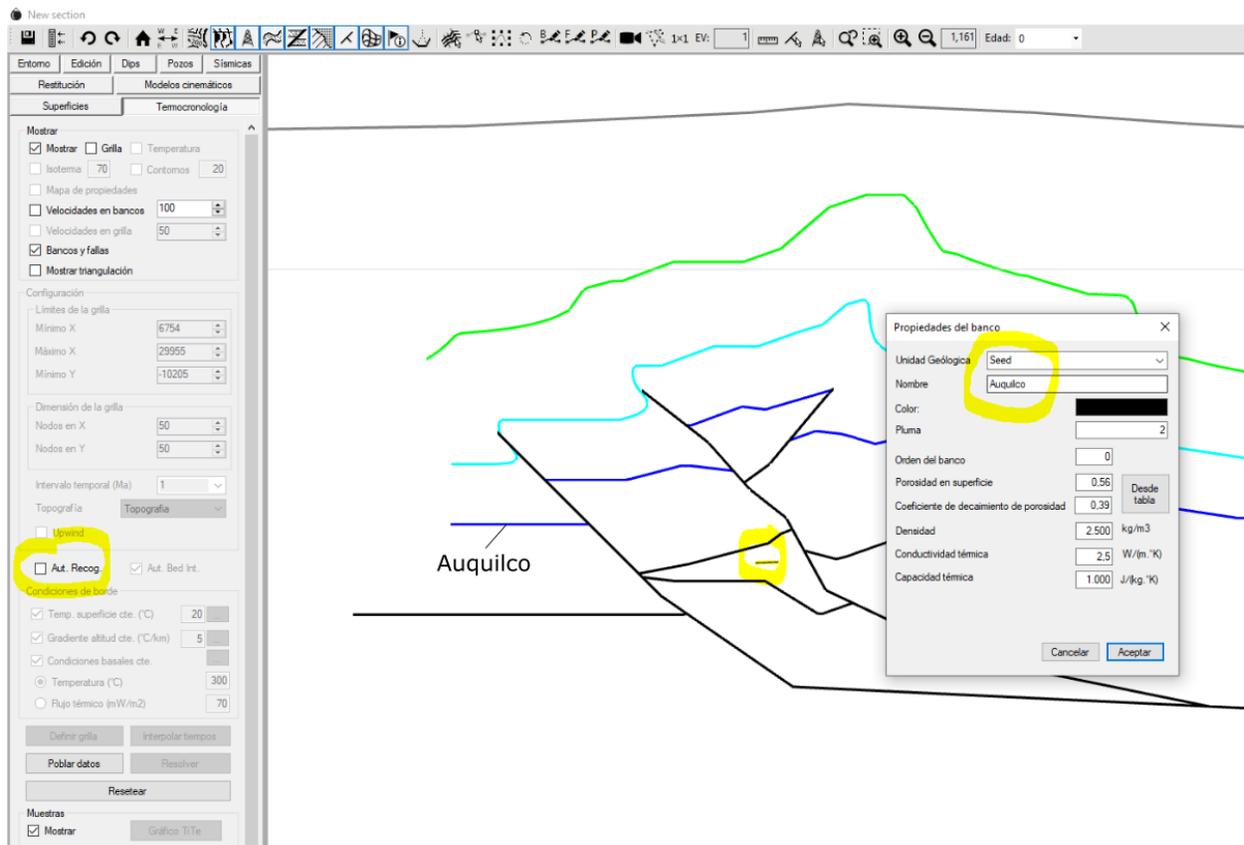
Las velocidades en la grilla podrán compararse con las obtenidas para cada nodo de los bancos.

La asignación de propiedades hecha por Andino 3D es bastante eficiente. Sin embargo, existen algunas situaciones que no puede resolver. Por ejemplo los elementos de la grilla que se encuentren rodeados por fallas o entre fallas y los límites de la propia grilla, no pueden ser asignados a ninguna unidad y Andino 3D los pintará de negro:



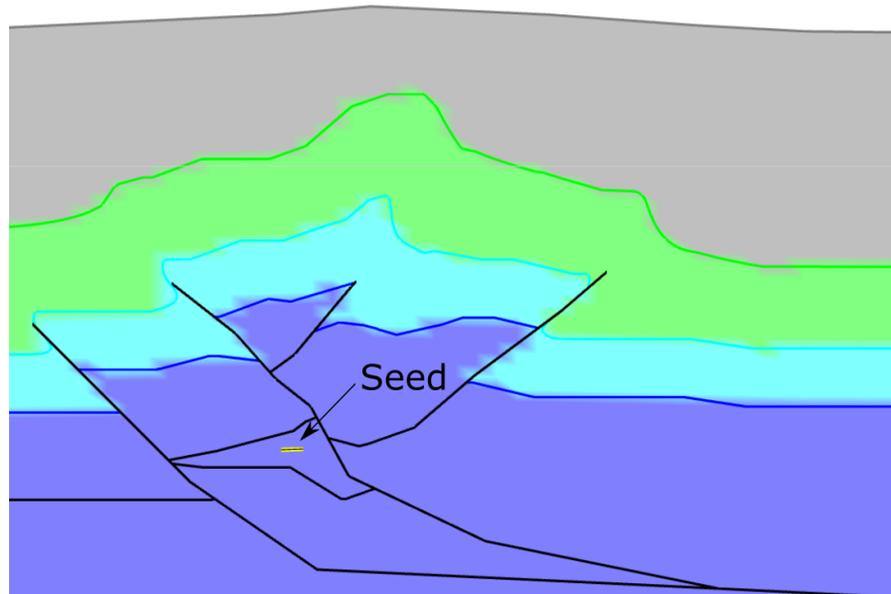
Por ejemplo en la figura de arriba se pintan todas las fallas en amarillo y puede verse que Andino 3D pinta de negro los elementos de la grilla que se encuentran entre fallas o entre fallas y los límites de la grilla. Estos elementos no pudieron ser asignados por Andino 3D a ninguna unidad. Sin embargo, Andino 3D no dejará sin propiedades a estos elementos sino que les otorgará las propiedades térmicas que se le hayan asignado al banco “topografía”. Esto se hace con el objeto de poder continuar con el proceso y resolver las ecuaciones térmicas ya que en muchos casos puede considerarse como aceptable esa situación.

Sin embargo, si el usuario quiere resolverlo y asignarle las propiedades correctas puede hacerlo a través del procedimiento de incorporar “semillas” (“seeds”) que permitan a Andino 3D asignar las propiedades especificadas por el usuario a una determinada zona. Para ello el usuario deberá crear una unidad geológica denominada “seed” y dibujar dentro (o cerca) de la zona a la cual le quiere asignar una determinada propiedad un banco (puede ser corto y de cualquier forma) perteneciente a esta unidad geológica “seed” y cuyo nombre sea el del banco del cual quiere tomar las propiedades. También hay que deschequear el reconocimiento automático de propiedades:



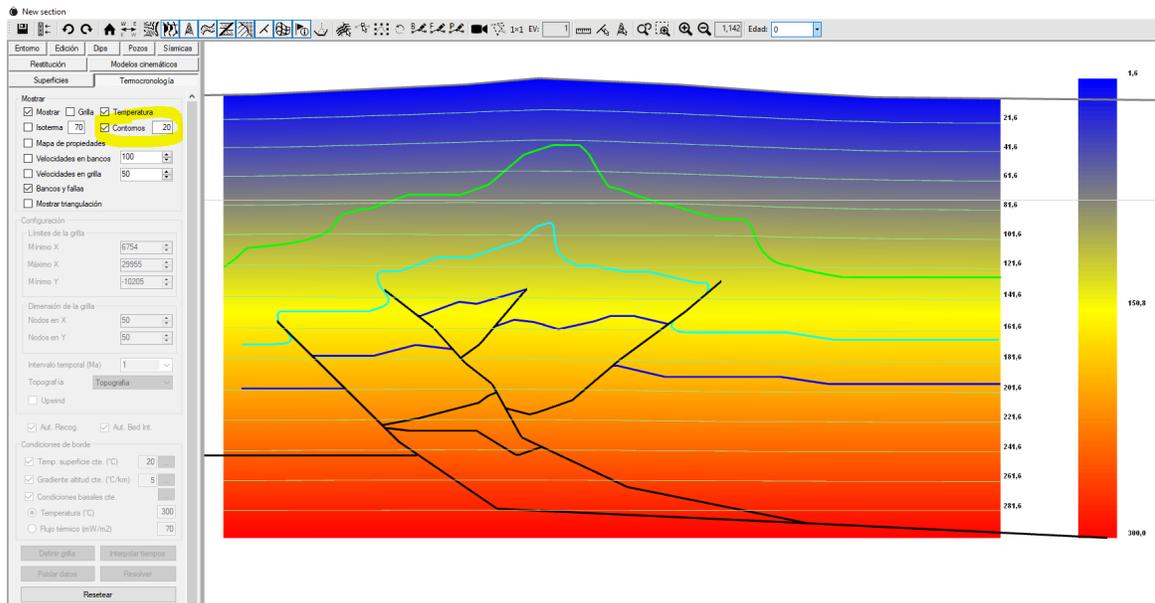
De esta manera, todos los elementos de la grilla a los que Andino 3D no puede asignarles la propiedad de manera automática (los pintados en negro en la figura anterior, serán asignados a la unidad de la semilla más cercana.

El resultado puede verse en la figura de abajo. Este proceso deberá hacerse en todos los tiempos en los que haya bancos que Andino 3D no haya podido asignar propiedades de manera automática y que se consideren sensibles a los resultados del modelo.



Resolver

Una vez seguros de que la distribución de propiedades y de velocidades es correcta, resolveremos las ecuaciones térmicas para los distintos tiempos de la sección presionando el botón de Resolver. Esto nos mostrará la distribución de temperaturas en todos los tiempos de nuestra sección:



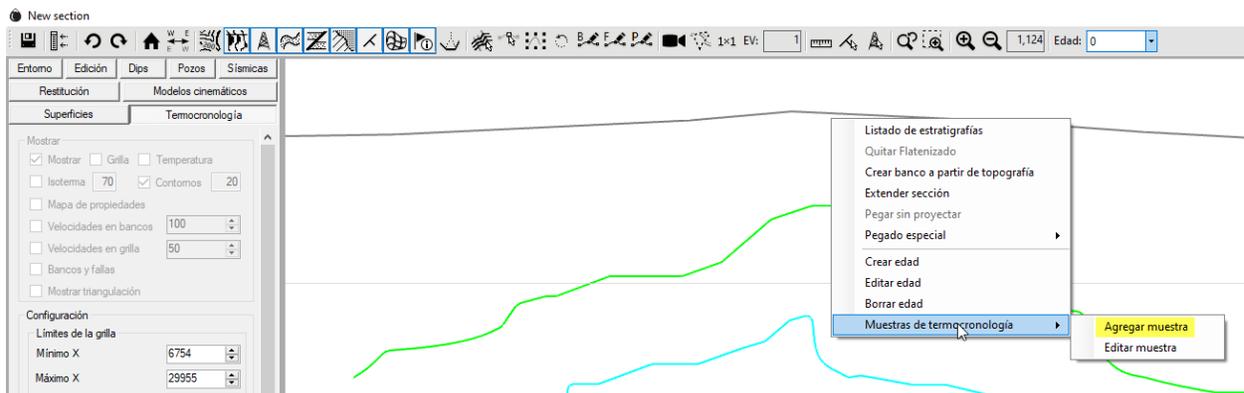


Una cosa a tener en cuenta es que todo el flujo de trabajo realizado durante el modelo termocinématico (definición de la grilla, interpolación de tiempos, distribución de propiedades y cálculo de temperaturas), se salvará cuando se cierre la sección. En secciones con muchos tiempos interpolados y con grillas de muchos elementos, implica mucha información y esto provocará que nuestro proyecto pese más y tarde más en abrirse. Como se verá al ejecutar el flujo por primera vez, una vez construidas las secciones y calibrado el proceso, es muy rápido. Es por esto, que puede ser conveniente aplicar un reset antes de cerrar la sección para que no se salve todo lo calculado (ya que en unos segundos o minutos se puede volver a calcular en cualquier momento).

## Muestras simuladas

Andino 3D tiene la capacidad de agregar “muestras de termocronología”. En este caso, lo que se agregará es una posición en el espacio (usualmente en el tiempo más moderno) de la que se trazará su evolución en el tiempo automáticamente. Las muestras pueden agregarse solo en edades en que el usuario haya construido la sección, es decir que no pueden agregarse en los tiempos interpolados. Andino 3D trazará automáticamente la posición de dicha muestra en todas las edades (interpoladas y construidas por el usuario) del modelo.

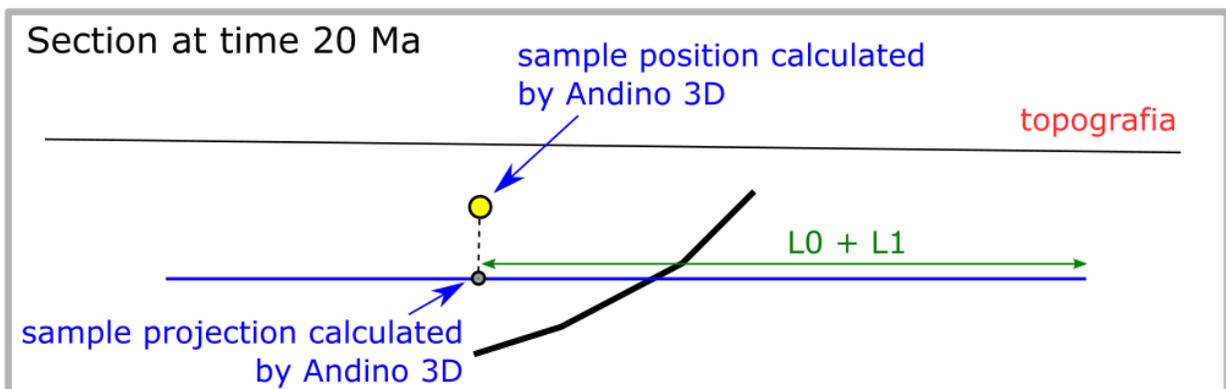
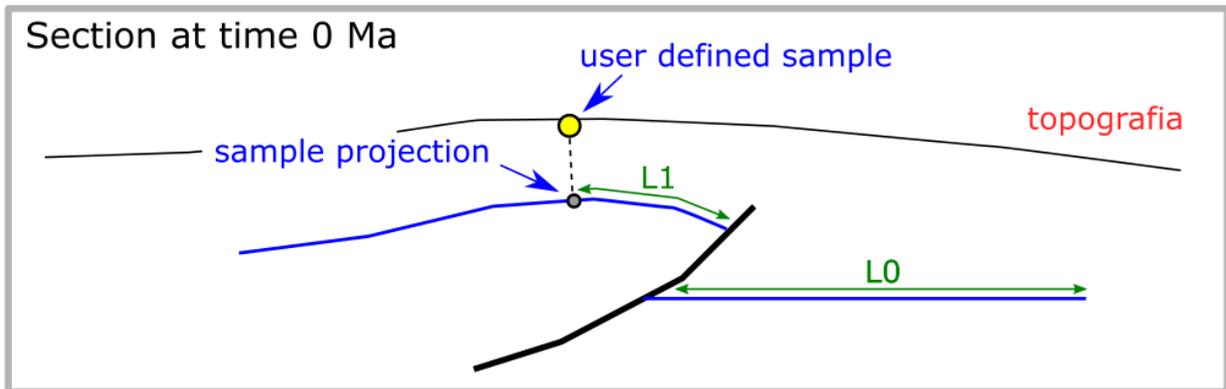
Para agregar una muestra, sobre la posición en que se desea agregar, se clickea con el mouse con botón derecho para acceder al menú contextual y agregar la muestra:



Hay algunas cosas para entender sobre el funcionamiento de Andino 3D en este proceso. El usuario introduce la posición de la muestra en un solo tiempo y Andino 3D será el encargado de averiguar la posición de esa muestra en los distintos tiempos del modelo. Para ello, va a proyectar la muestra sobre el banco más cercano y utilizando un balanceo por longitud de líneas, ubicará la proyección del punto en todos los tiempos. Desde dicha proyección, reubicará al punto de la muestra en las distintas edades. Este proceso hace que las muestras que se encuentren cerca de un banco sean más confiables en el trazado automático en los distintos tiempos. Si la muestra está muy lejana al banco más cercano, puede ocurrir que la proyección

# andino 3D

de la muestra al banco atraviese superficies axiales de éste y por ende su proyección no sea del todo confiable. Esto hace que en algunos casos sea recomendable dibujar algún banco cerca de la muestra. En la figura de abajo se ilustra el proceso que hace Andino 3D para el trazado de muestras:



Otros problemas que hay que tener en cuenta en el posicionamiento de las muestras tienen que ver con que Andino 3D aplica balanceo por longitud de líneas para posicionarlas. Esto hace que si el usuario no respetó exactamente las longitudes de los bancos en las distintas edades, pueda haber errores en el posicionamiento automático que hace Andino 3D de las muestras. Esto es particularmente evidente en dos situaciones, la primera es si la muestra está muy cercana a una falla, si el balanceo no es perfecto, puede ocurrir que dicha muestra cambie de bloque entre un tiempo y otro. La otra situación es si la muestra está muy cerca de la topografía (siempre por debajo), ya que podría ocurrir que en algún tiempo la muestra salte arriba de la topografía. Como la grilla termina hacia arriba en la topografía, en los tiempos en que quede por encima, la muestra no va a tener valores calculados de temperatura. En ambos casos la solución es chequear las longitudes de los bancos en los distintos tiempos para lograr valores iguales en los mismos bloques y en la suma total.

El diálogo que mostrará Andino 3D para la creación de la muestra es el siguiente:

Configuración ×

Nombre  ■ Edad heredada

Coordenadas locales

Coordenadas 2D		Coordenadas 3D	
X	<input type="text" value="17.737,46"/> >	X	<input type="text" value="2.440.506"/>
Y	<input type="text" value="871,66"/> <	Y	<input type="text" value="5.895.094"/>
		Z	<input type="text" value="871,66"/>

Sistema termocronológico

Trazas de fisión  
 U-Th/He  
 Vitrinita

Simulación

Mineral  ▾

Largo inicial de trazas (micras)

Parámetros cinéticos  ▾

Modelo cinético  ▾

Muestra física

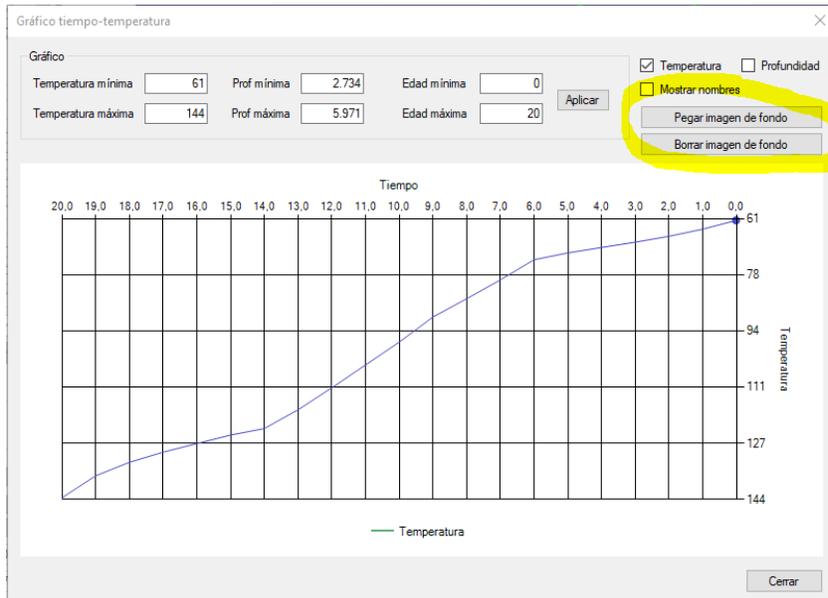
Edad

Largo medio de trazas (micras)

Desviación estandar

En él se definirá la edad heredada de la muestra, el sistema termocronológico a utilizar con sus variables (Simulación) y los datos de la muestra física. Estos últimos corresponden a los datos medidos en un laboratorio de una muestra real tomada en la misma posición que la muestra simulada. Los datos de la muestra física no serán utilizados por Andino 3D para ningún cálculo, sólo aparecerán en el gráfico de resultados y en los tooltips de las muestras para que el usuario pueda compararlos con la simulación.

Los gráficos t-T (tiempo-Temperatura) pueden ser generados para todas las muestras o sólo para las seleccionadas. El diálogo de estos gráficos permite pegar imágenes de fondo (por ejemplo un gráfico recortado de una publicación o de otro programa como HeFTy). Utilizando las funciones de cambio de escala de los ejes, se pueden comparar perfectamente las muestras simuladas con las existentes en el gráfico recortado y pegado de fondo:



Andino 3D también permite generar gráficos de resultados que mostrarán: a la sección y a las edades simuladas y físicas de las muestras, permitiendo hacer una comparación visual entre ambas:

