

Uso e importancia de sistemas de alta intensidad de cómputo paralelo Apolo y Cronos-EAFIT en el modelado de la historia de levantamiento de cadenas montañosas

Mauricio A Bermúdez Cella

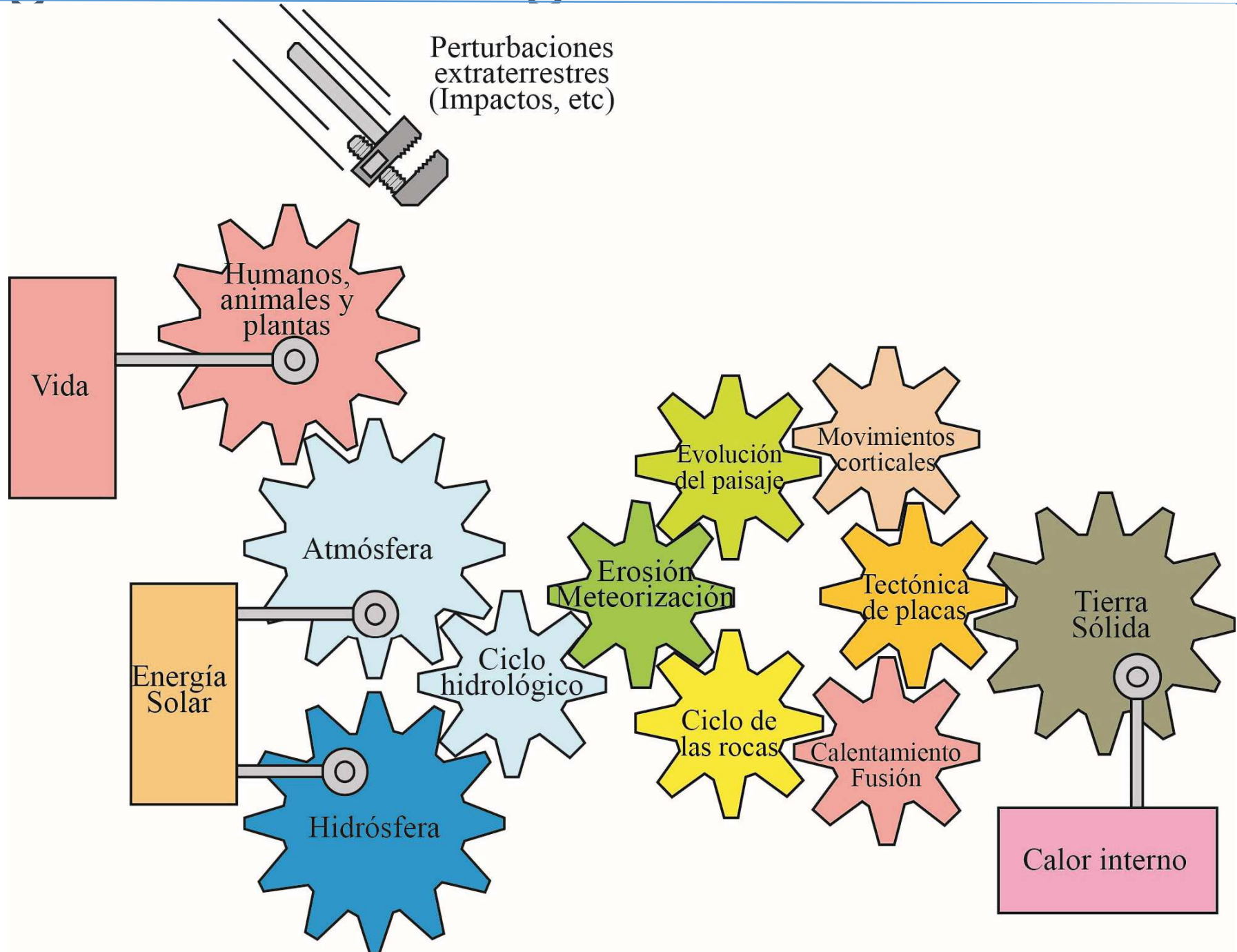
Escuela de Ingeniería Geológica

Facultad Seccional de Sogamoso

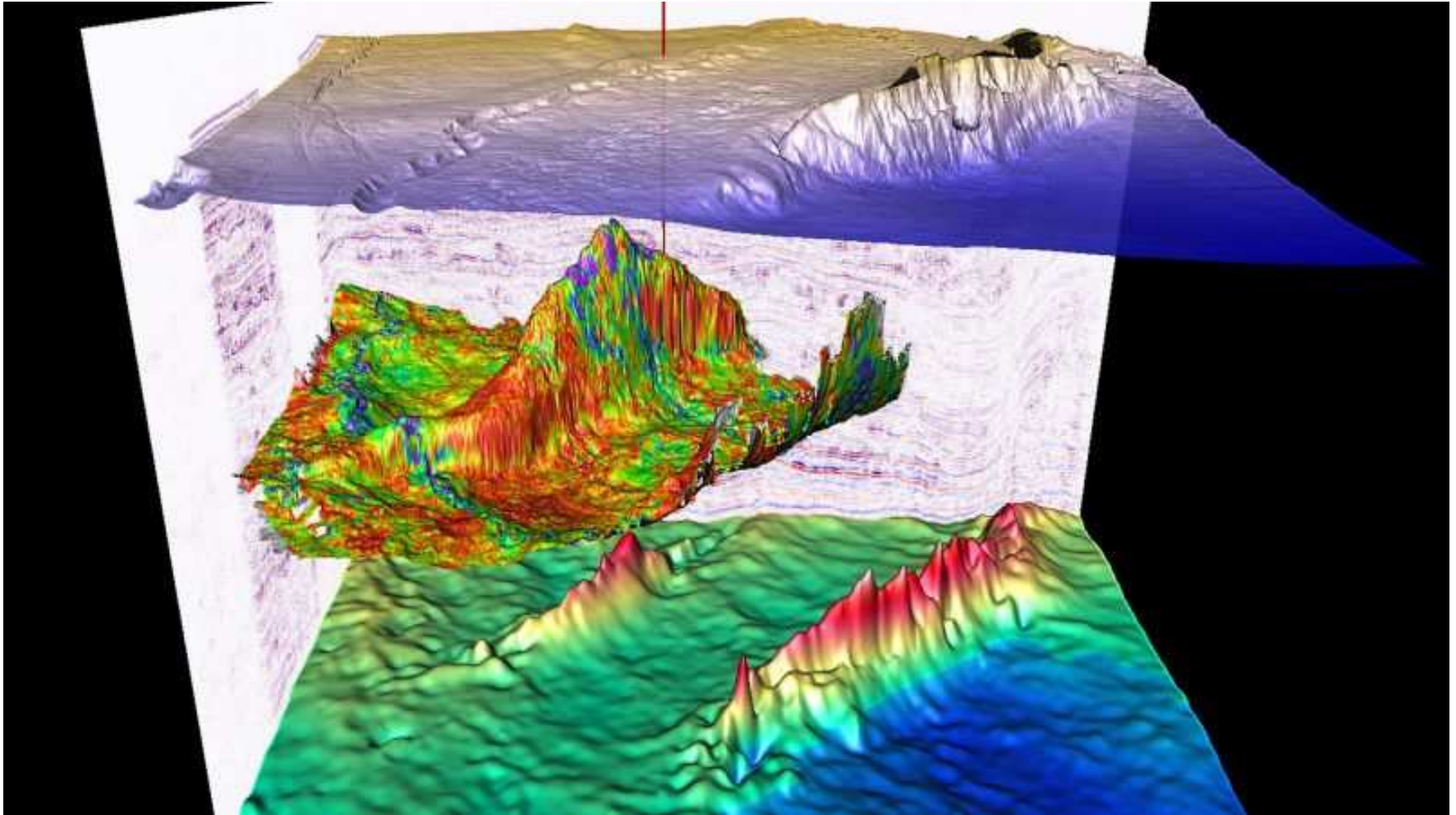
Contenido

- 1) ¿Big data en Geología?
- 2) Algunas aplicaciones en Geociencias
- 3) Topografía dinámica
- 4) ¿Qué datos son sensibles a la topografía dinámica?
- 5) Bases de datos termocronológicas
- 6) Aplicación de las bases de datos termocronológicas
- 7) Integración y comparación de datos
- 8) Modelado numérico de historias de exhumación (Caso Chiapas)
- 9) Conclusiones

¿Big data en Geología?

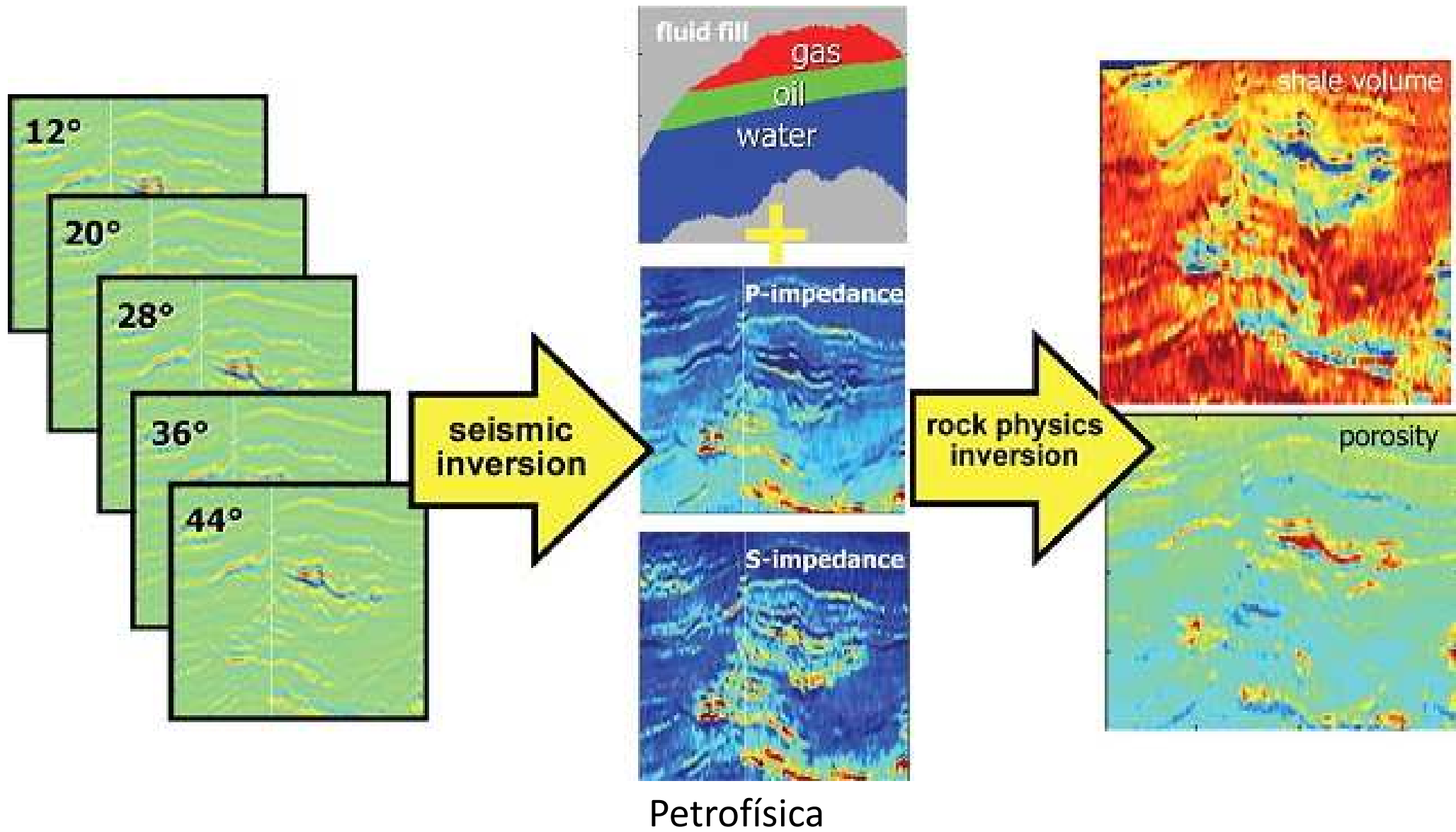


Big data en Geociencias (Aplicaciones)



Geología del petróleo/Geofísica

Big data en Geociencias (Aplicaciones)



Big data en Geociencias (Aplicaciones)

Census of seafloor sediments in the world's ocean

GEOLOGY, September 2015; v. 43; no. 9; p. 795–798

Adriana Dutkiewicz¹, R. Dietmar Müller¹, Simon O'Callaghan², and Hjörtur Jónasson¹

¹EarthByte Group, School of Geosciences, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia

²National ICT Australia (NICTA), Australian Technology Park, Eveleigh, NSW 2015, Australia

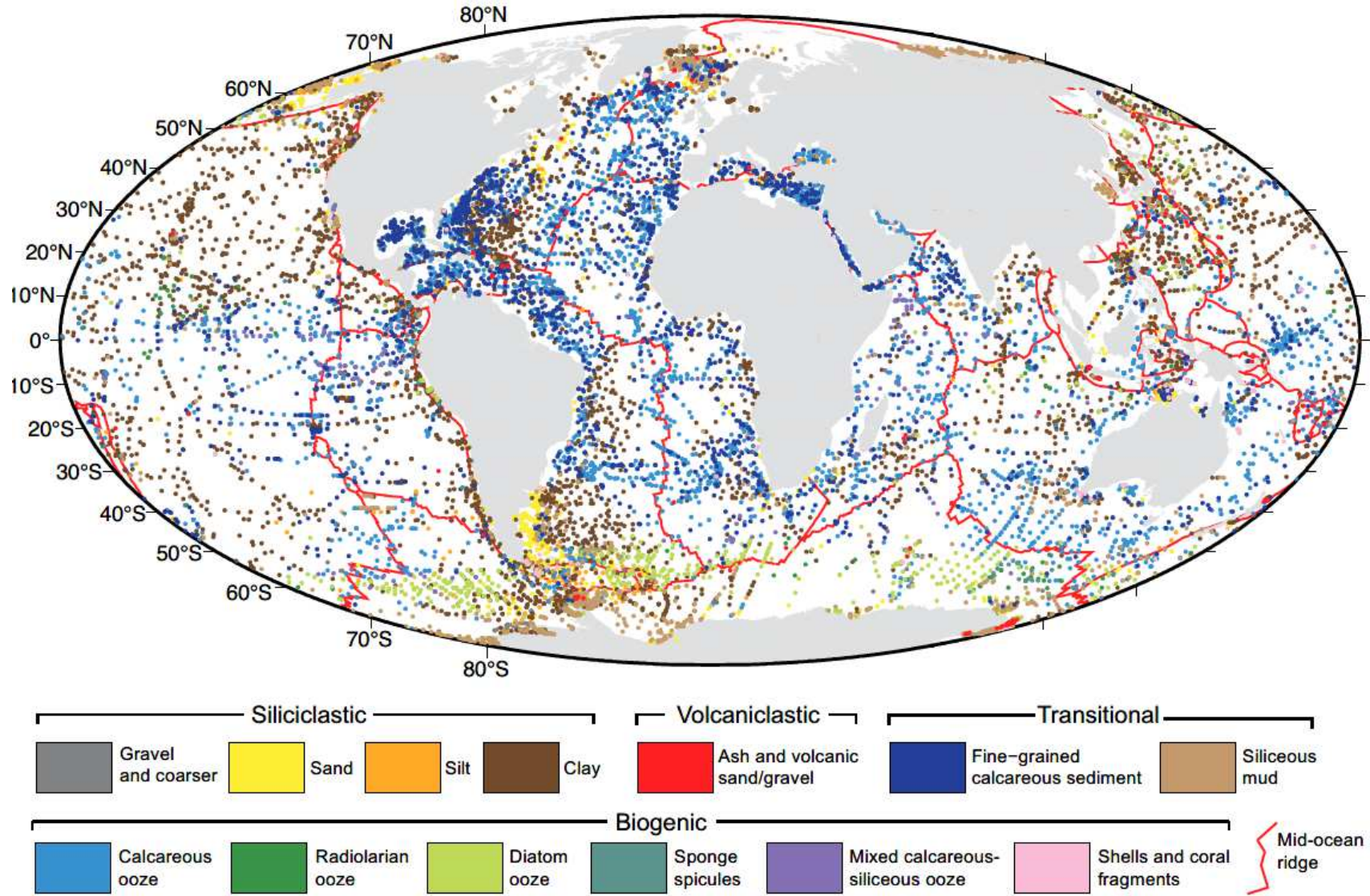


Figure 1. Seafloor sediment sample locations. Lithology-coded sample locations of surface sediments ($n = 14,399$) used to create the digital map of seafloor sediments in world's ocean basins (Fig. 2). Mollweide projection.

Big data en Geociencias (Aplicaciones)

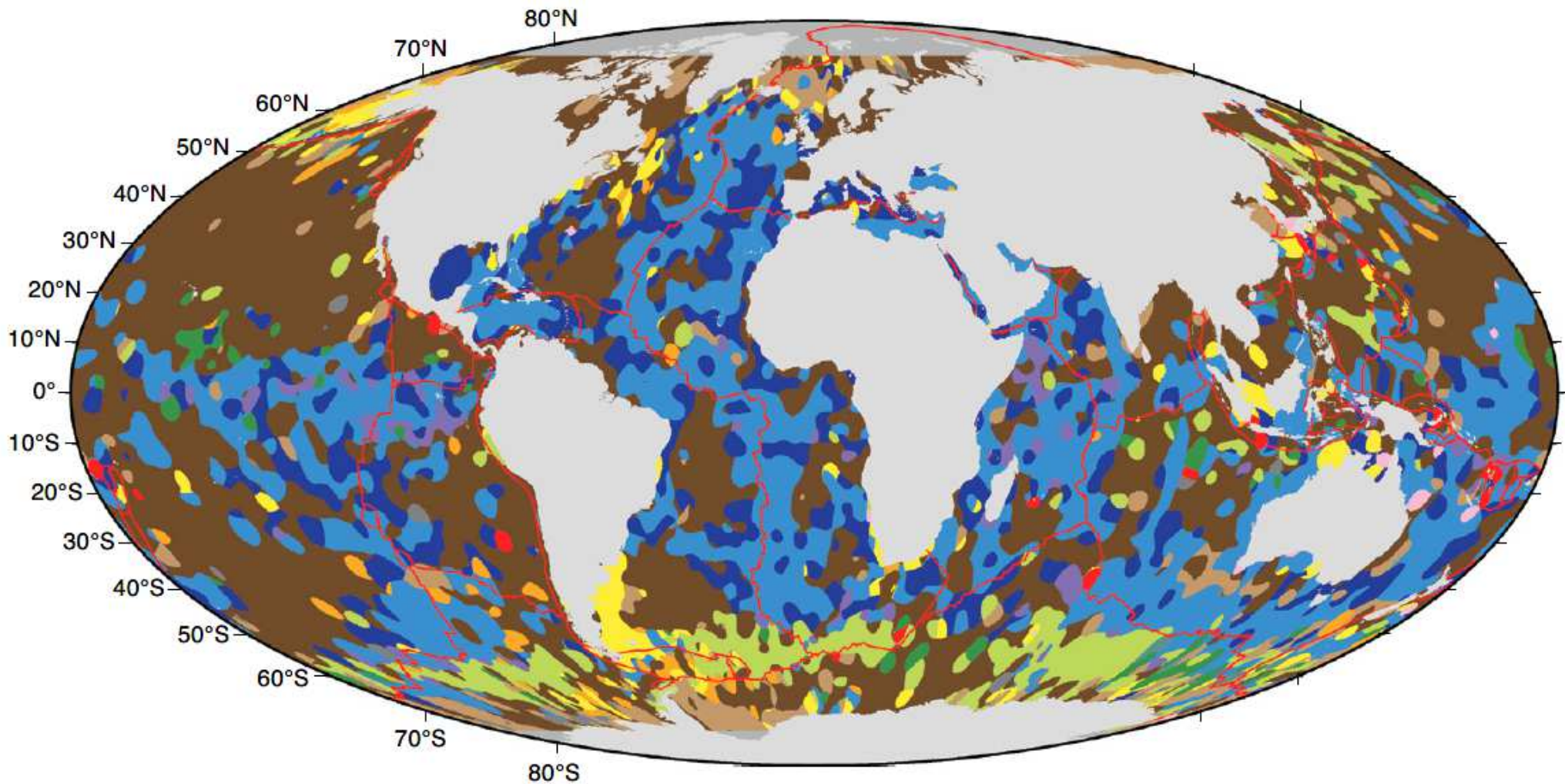
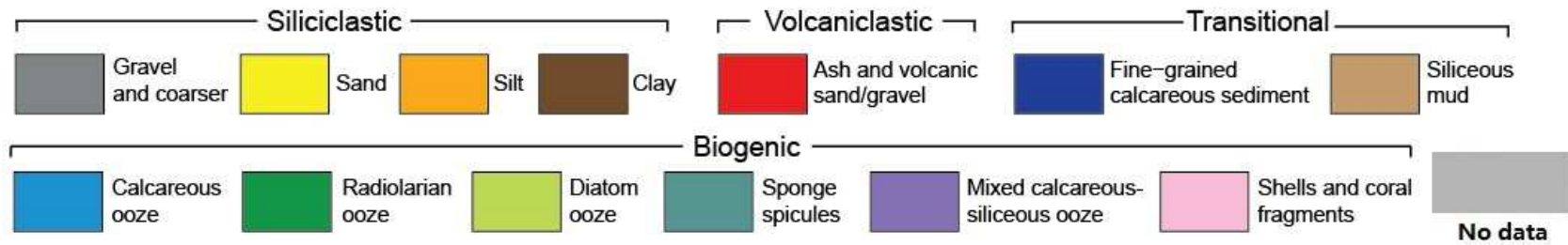
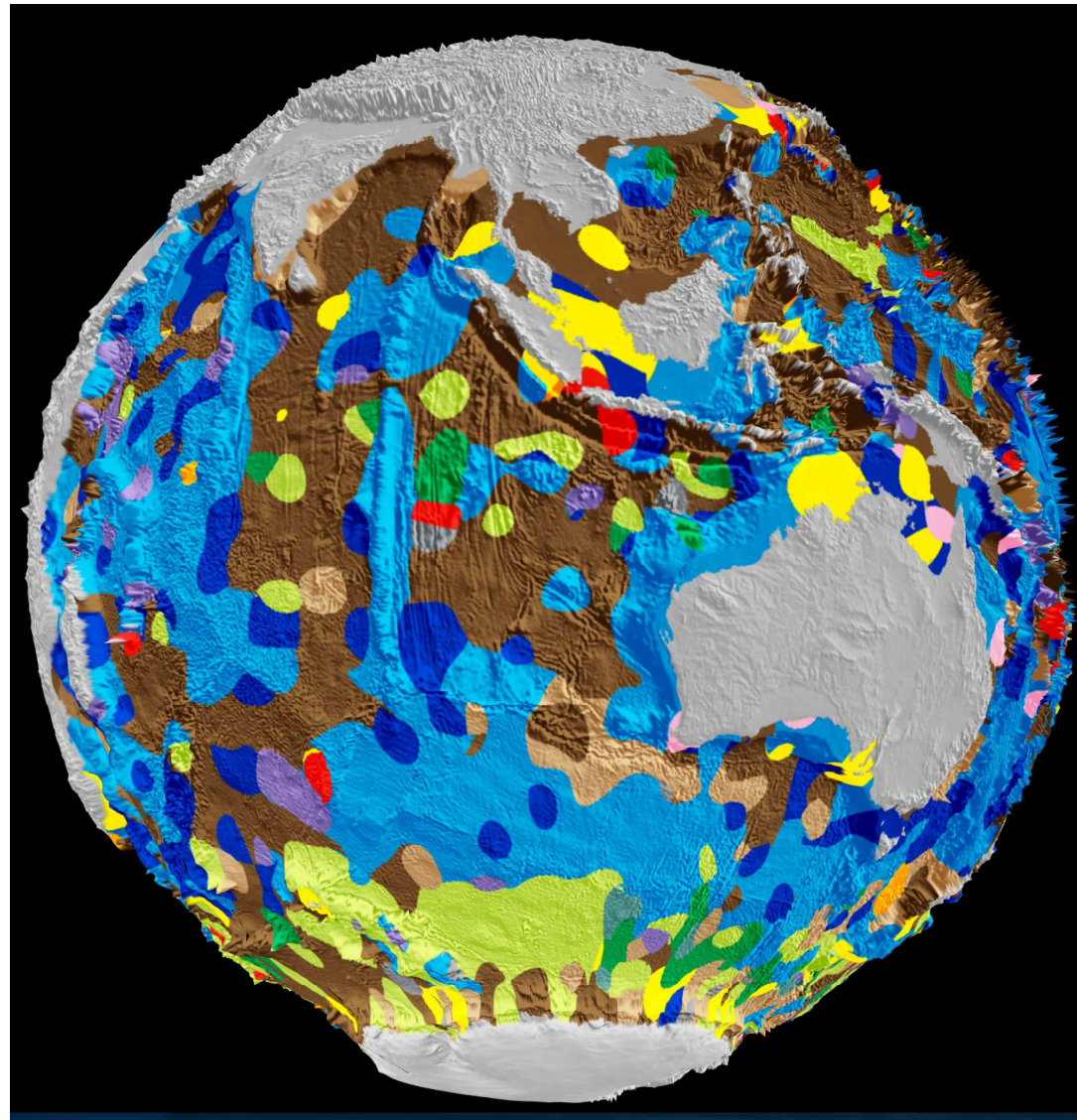


Figure 2. Digital map of major lithologies of seafloor sediments in world's ocean basins. Legend is the same as in Figure 1. More detailed views of major ocean basins and percentage estimates of lithologies are given in Figures DR4B–DR4E and Table DR1 (see footnote 1). Mollweide projection.

Big data en Geociencias (Aplicaciones)



Primer mapa geológico digital (3D) del fondo marino



Big data en Geociencias (Aplicaciones)

Uso de big-data para análisis de procedencia sedimentaria



Chemical Geology

Volume 409, 20 August 2015, Pages 20-27



Making geological sense of 'Big Data' in sedimentary provenance analysis

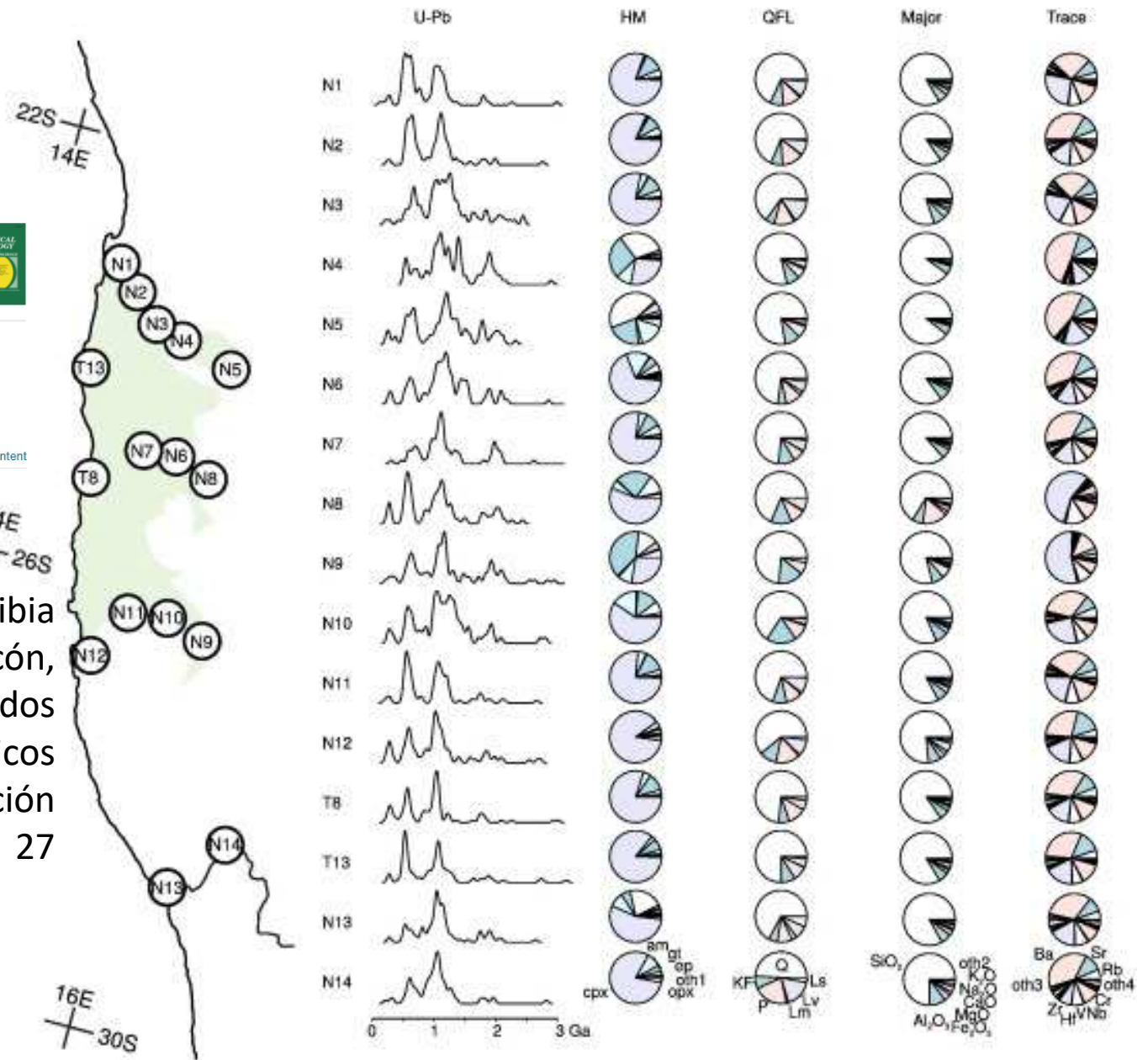
Pieter Vermeesch ^a, Eduardo Garzanti ^b

Show more

<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.05.004>

Get rights and content

El conjunto de datos de Namibia posee 1533 edades U-Pb en circón, 3600 conteos de minerales pesados (HM), 6400 análisis petrográficos (QFL), y medidas de concentración química (10 mayoritarias y 27 elementos traza)



Big data en Geociencias (Aplicaciones)

ACTA
GEOLOGICA
SINICA

(English Edition)

Journal of the Geological Society of China

[Explore this journal >](#)

Original Articles

Quantitative Geoscience and Geological Big Data Development: A Review

CHEN Jianping [✉](#), XIANG Jie, HU Qiao, YANG Wei, LAI Zili, HU Bin, WEI Wei

First published: 26 August 2016 [Full publication history](#)

DOI: 10.1111/1755-6724.12782 [View/save citation](#)

Cited by (CrossRef): 0 articles [↻ Check for updates](#) [⚙ Citation tools ▼](#)



[View issue TOC](#)
Volume 90, Issue 4
August 2016
Pages 1490-1515

Algunas bases de datos

The screenshot shows the RRUFF Project website. The main heading is "Search RRUFF Sample Data". Below it, there is a search form with fields for "Mineral" (set to apatite), "Chemistry Includes", "Chemistry Excludes", and "General". There are also "search" and "reset" buttons. Below the form, there are four small images of mineral samples labeled "Grossular", "Osarizawaite", "Bavenite", and "Tlapallite".

The screenshot shows the homepage of the Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). The header includes the IGAC logo and the text "INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI". Below the header, there is a navigation menu with options like "Nuestra Entidad", "Servicio al Ciudadano", "Áreas Estratégicas", "Trámites y Servicios", "Productos", "Mapas de Colombia", "Contratación", and "IGAC Niños". A large banner image shows a cityscape with the text "IGAC evaluará nuevas construcciones y cambios de uso en 13 mil predios de Cartagena". On the right side, there is a sidebar with a search bar and several menu items: "Mapas de Colombia", "Diccionario geográfico", "Certificado catastral", "Transparencia", "Productos", and "Los territorios de la paz". At the bottom, there is a footer with icons for "Agrología", "Geografía y Cartografía", "Catastro", "Centro de Investigación CIAE", and "Publicaciones".

The screenshot shows the ArcGIS website page for "Global Earthquakes and Fault Lines". The page has a blue header with the title "Global Earthquakes and Fault Lines" and a sub-header "Descripción general". Below the header, there is a small map showing the globe with red dots indicating earthquake locations. The text on the page includes "Current Global Earthquakes and Tectonic Plates" by "de kwinger" and "Última modificación: 2 de diciembre de 2014". There are two buttons: "Abrir en el visor de mapas" and "Abrir en ArcGIS Desktop". Below the buttons, there is a "Detalles" section with a star rating, "vistas: 783", "Creado: 2 de diciembre de 2014", and "Tamaño: 305 KB". There are also social media icons for Facebook and Twitter, and a "Propietario" field.

NOAA
USGS
SGC
Universidades
Revistas (Datos repositórios)
RNSC
Ministerios
IDEAM
IGAC

¿Cómo las variaciones en precipitación y su variabilidad afecta la respuesta erosional de la superficie terrestre al levantamiento causado por la tectónica y flujo mantelar?

- Efecto de las variaciones a largo plazo en la tasa de precipitación sobre las tasas de erosión física
- Efectos de las variaciones a largo plazo en tasas de precipitación sobre la erosión química
- Efecto de la variabilidad de precipitaciones sobre tasas de erosión física

Evolución del paisaje

Tasa de cambio de la topografía

$$\frac{\partial h}{\partial t} = U - KA^m S^n$$


Levantamiento

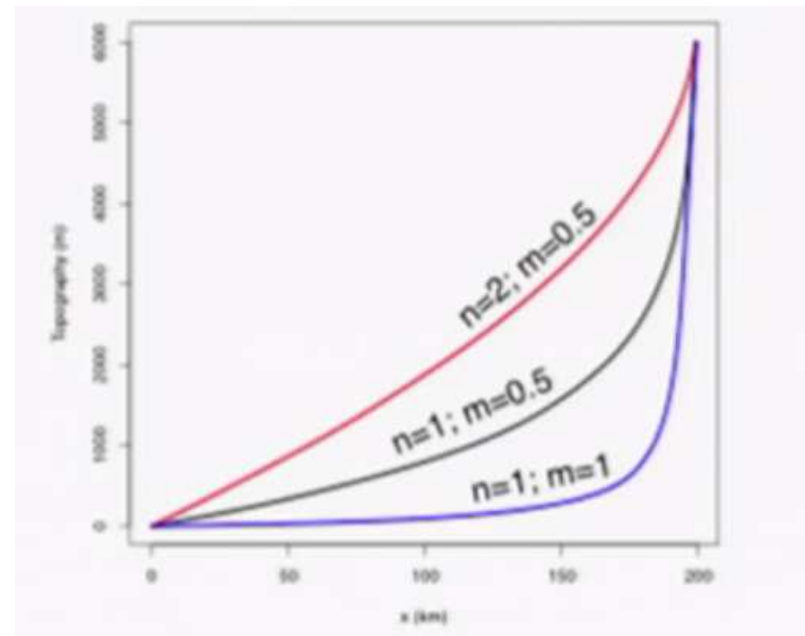
Factor de erodabilidad

Pendiente

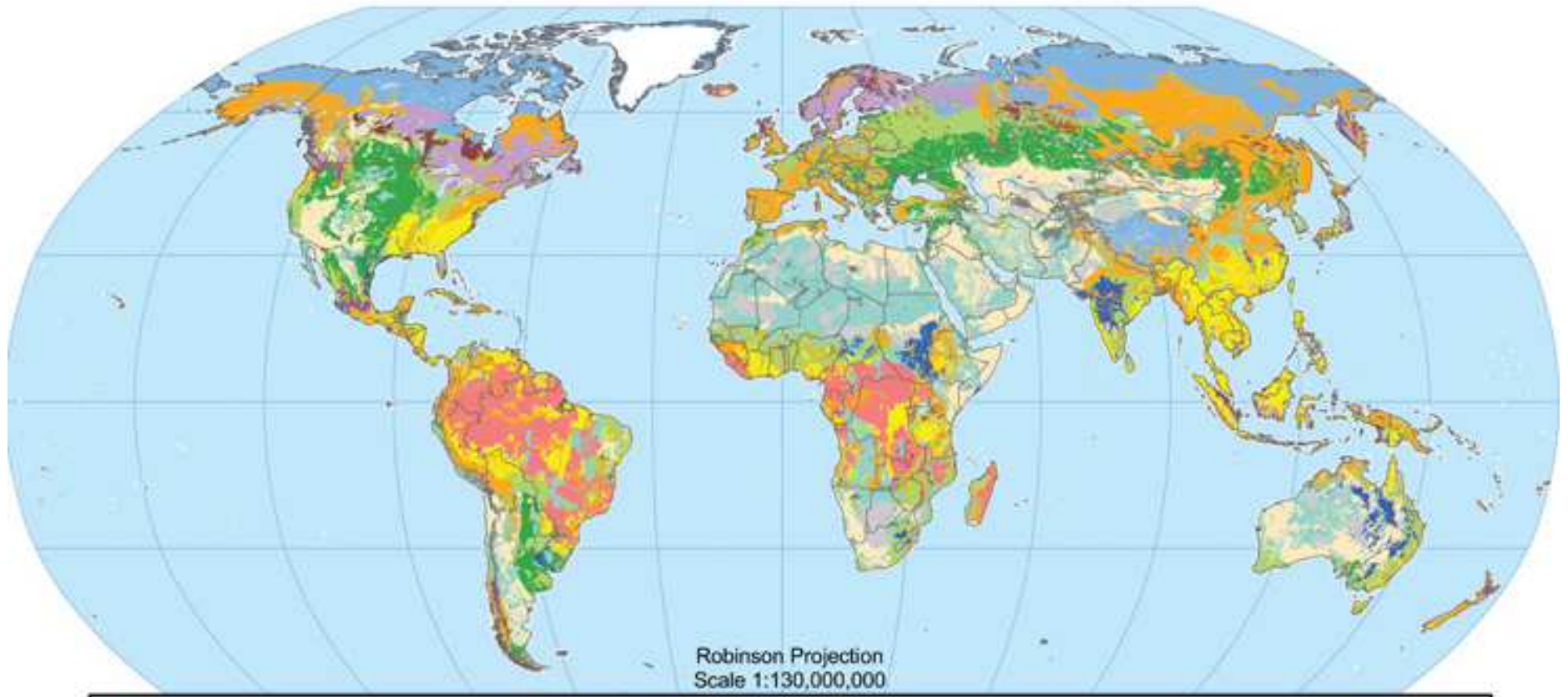
Área de drenaje
















 Termocronología

 Hidrología, transporte de sedimentos, análisis de perfiles de ríos

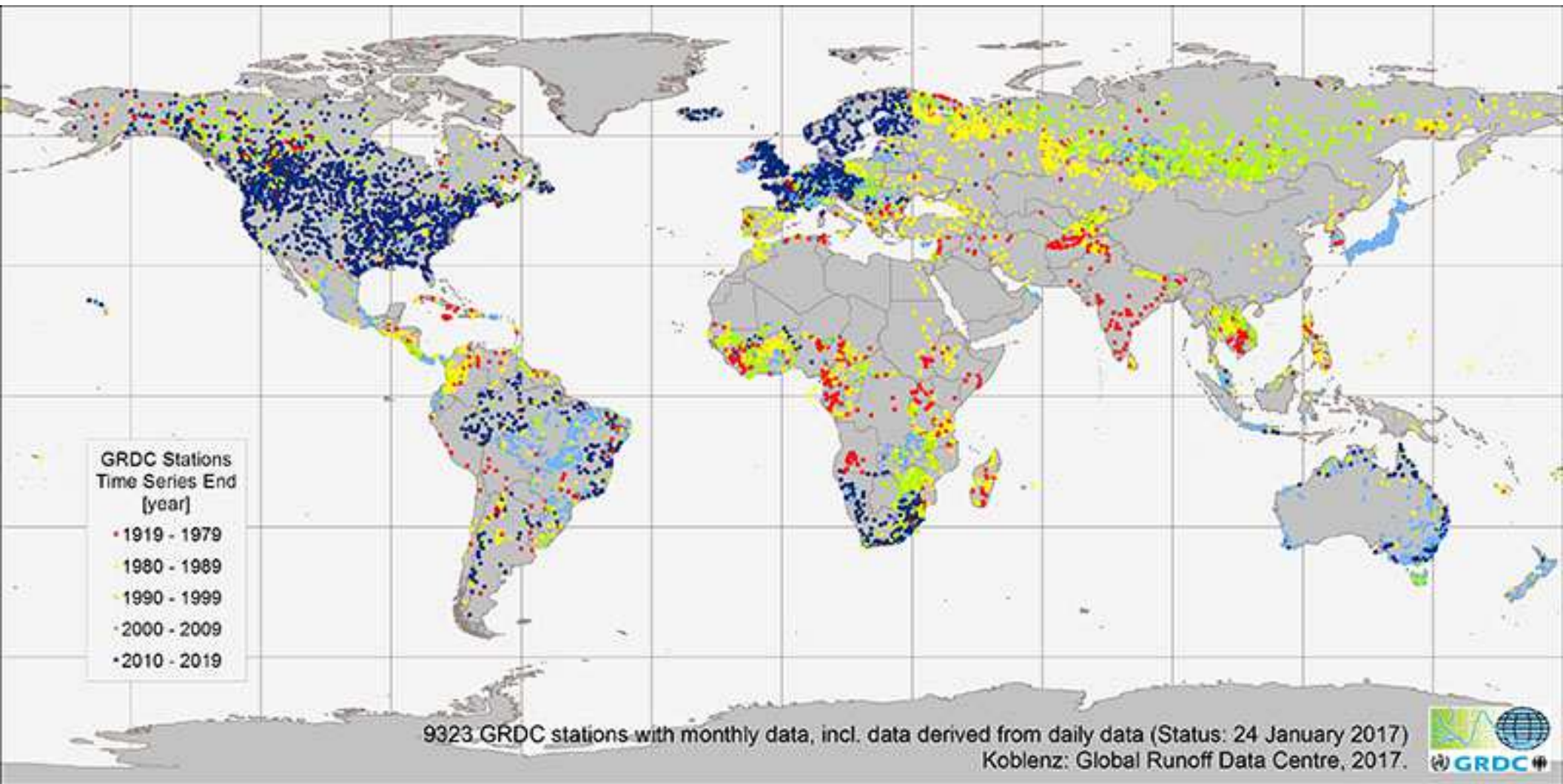


Para K (Bases de datos globales de suelos)

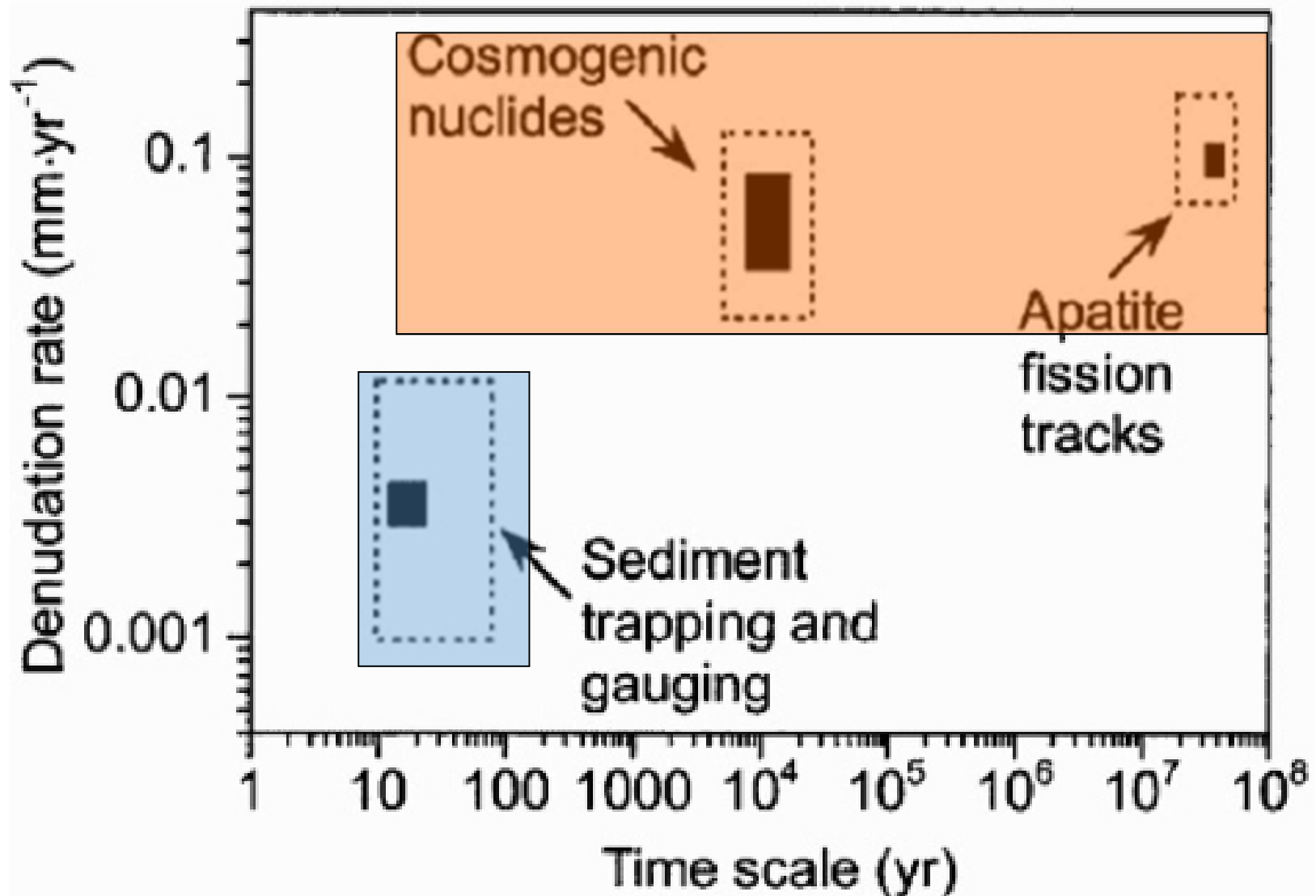


Soil Orders				
 Alfisols	 Entisols	 Inceptisols	 Spodosols	 Rocky Land
 Andisols	 Gelisols	 Mollisols	 Ultisols	 Shifting Sand
 Aridisols	 Histosols	 Oxisols	 Vertisols	 Ice/Glacier

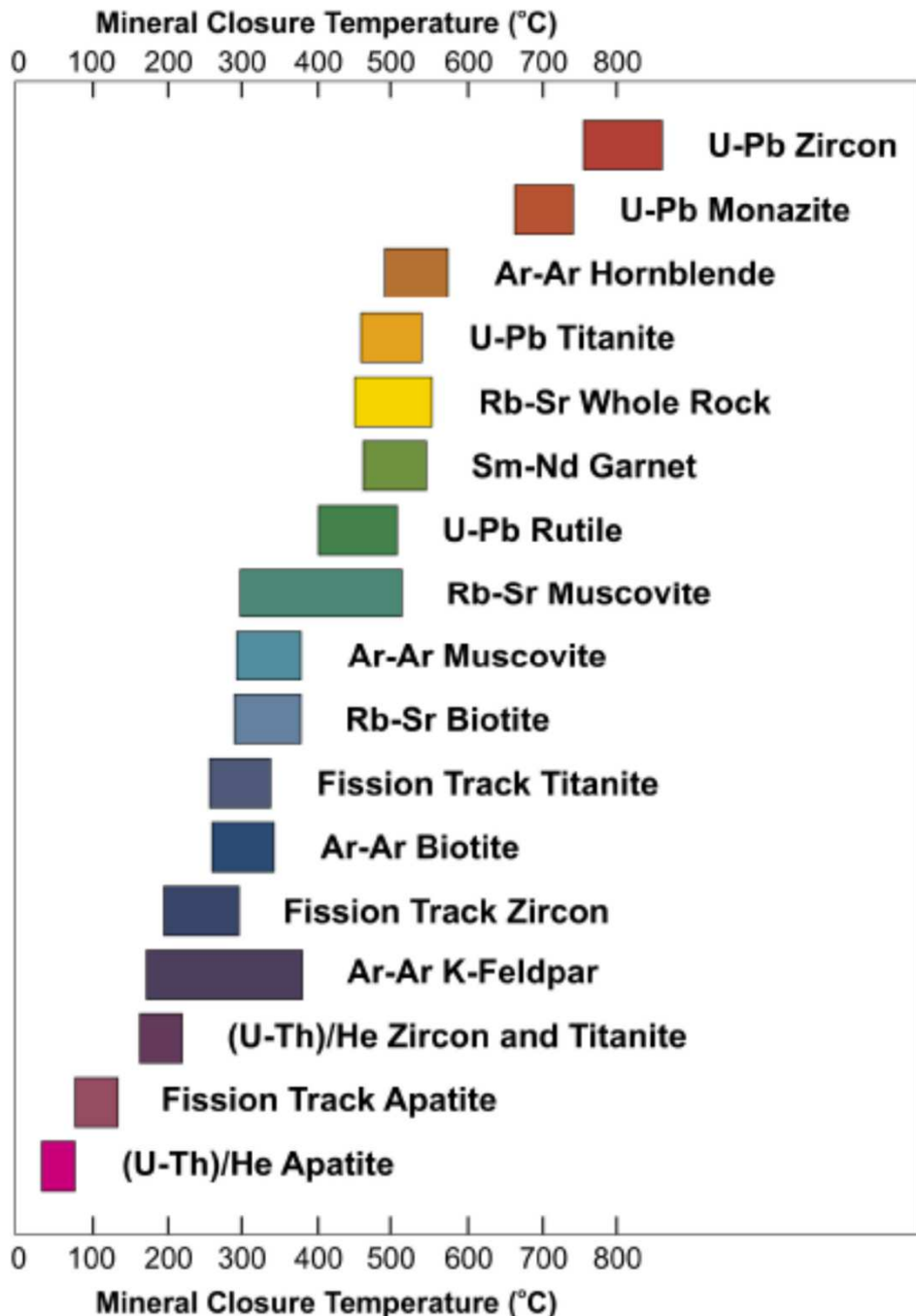
Estaciones con datos mensuales



Tasas de erosión (derivadas de datos)

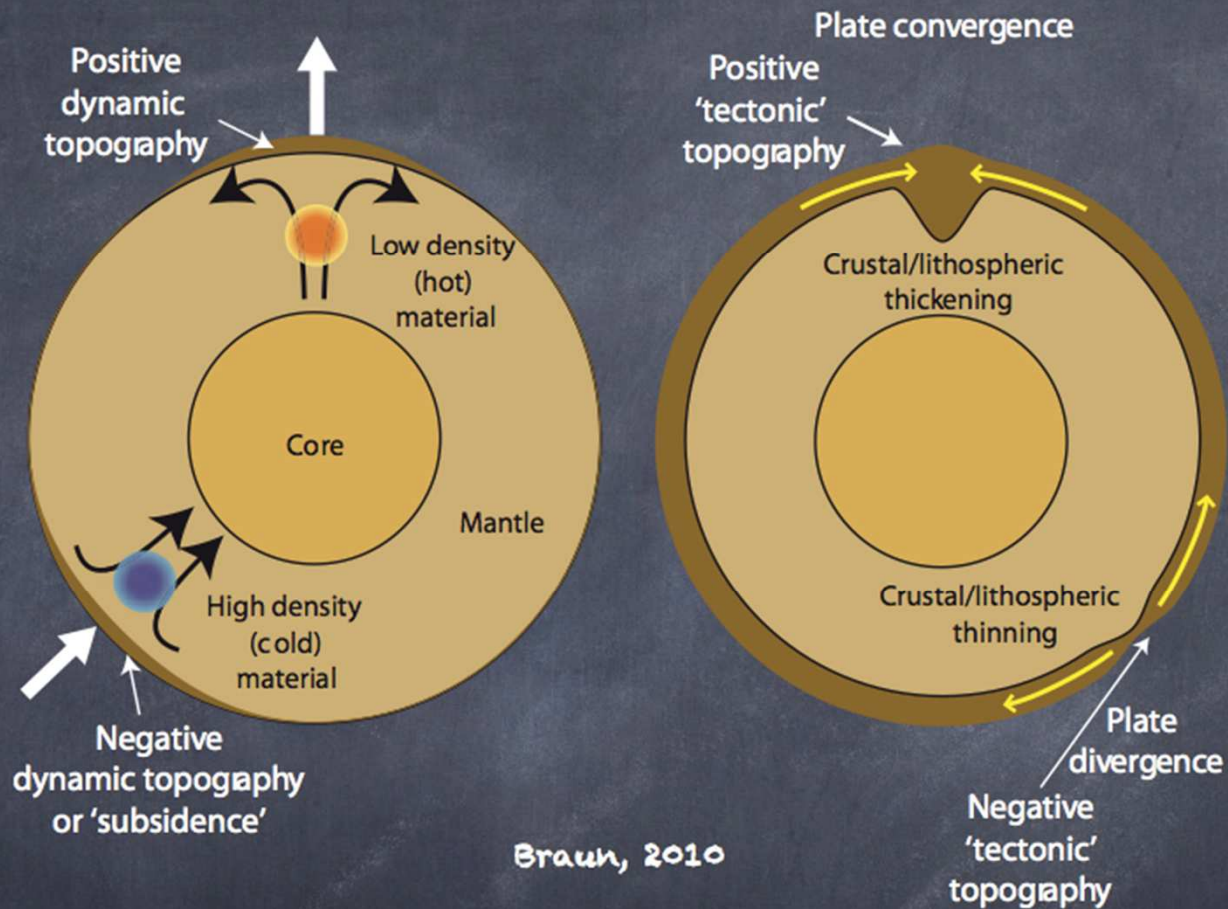


Rango de la termocronología



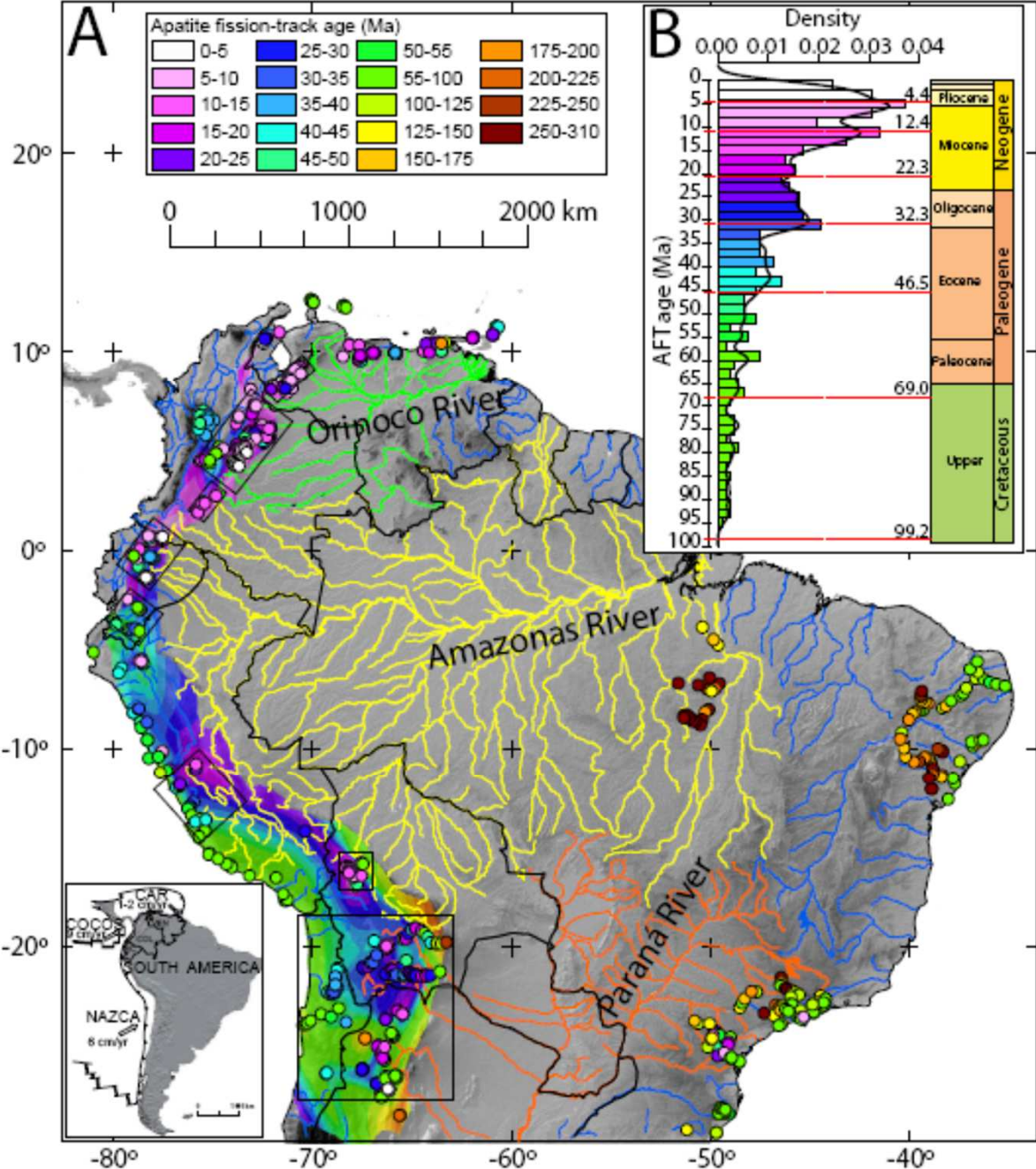
- 1) Análisis termal de cuencas petrolíferas
- 2) Relación entre exhumación, tectónica y procesos de superficie
- 3) Evolución geodinámica en el tiempo de cinturones de montaña activos (Himalayas, Alpes, Andes)
- 4) Cuantificación mediante simulación numérica de (3)
Métodos termocronológicos e importancia de la temperatura de cierre

Topografía dinámica



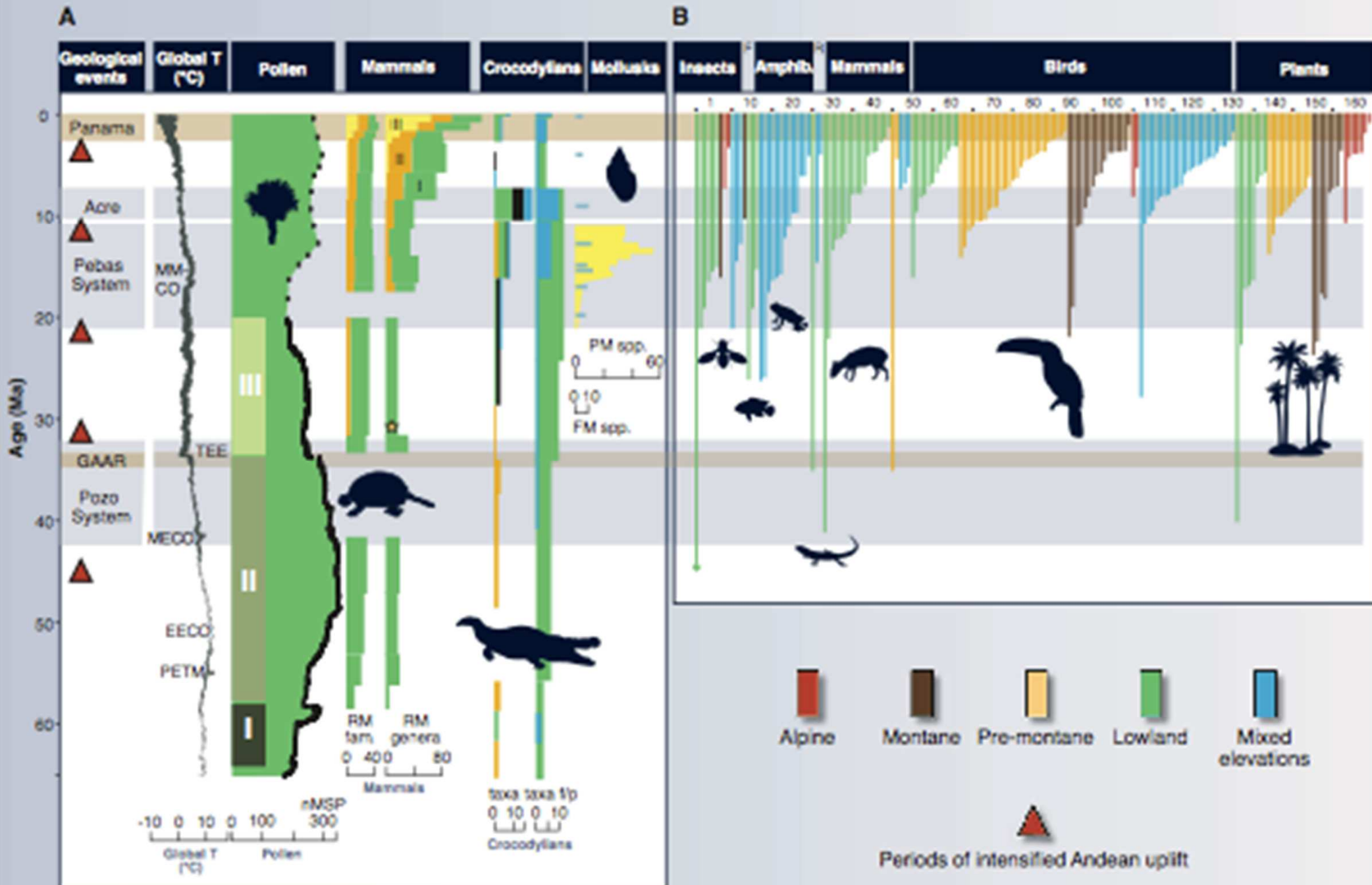
Mantle flow generates vertical stresses
at the base of the lithosphere

Bases de datos termocronológicas

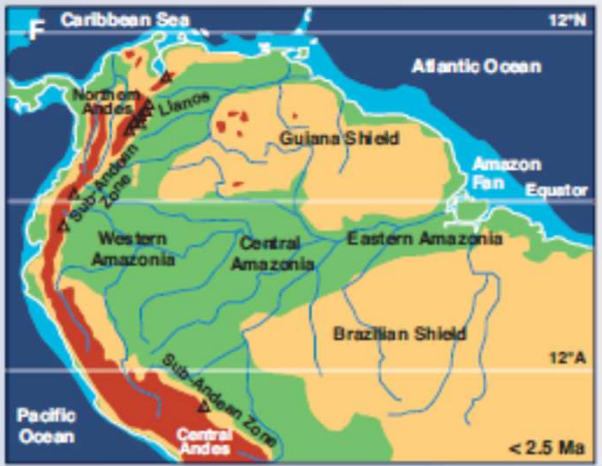
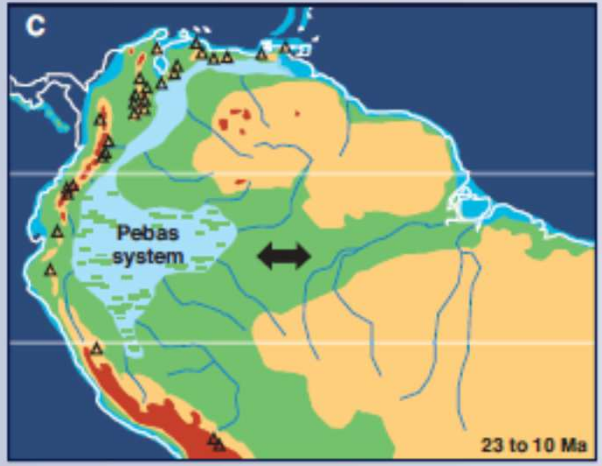
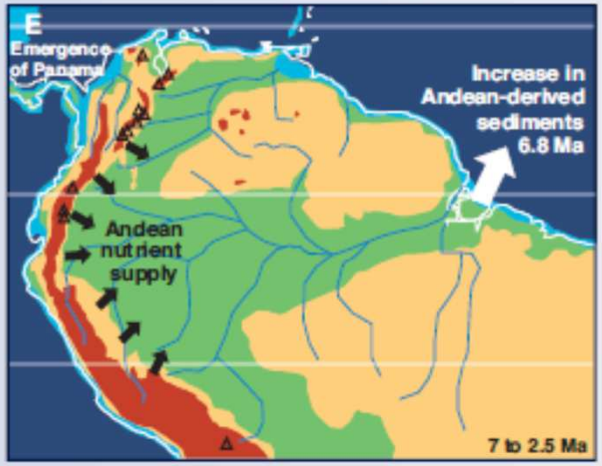
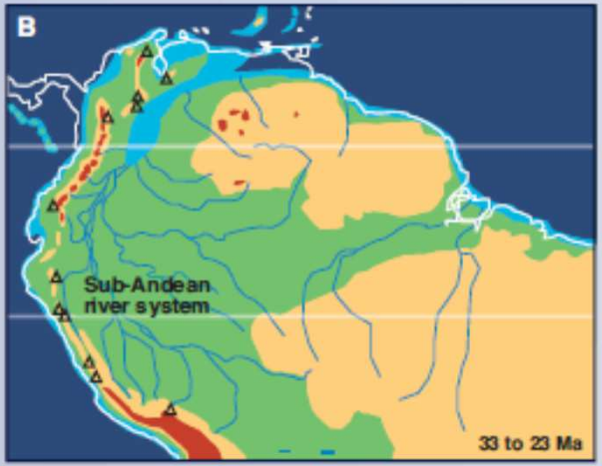
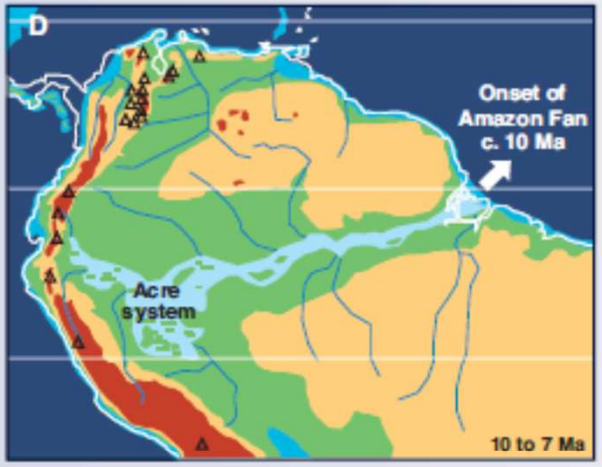
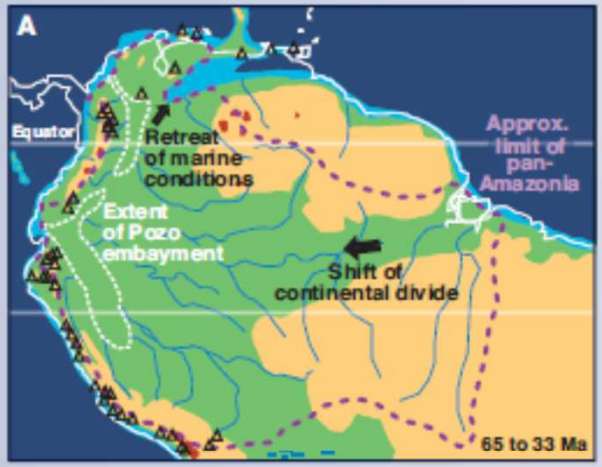


Hoorn, C., Wesselingh, F.P., ter Steege, H., **Bermúdez, M.A.**, Mora, A., Sevink, J., Sanmartín, I., Sanchez-Meseguer, A., Anderson, C. L., Figueiredo, J. P., Jaramillo, C., Riff, D., Negri, F.R., Hooghiemstra, H., Lundberg, J., Stadler, T., Särkinen, T., and Antonelli, A. (2010). *Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity*. *Science*, 330 (6006), 927-931.

Integración con la biodiversidad

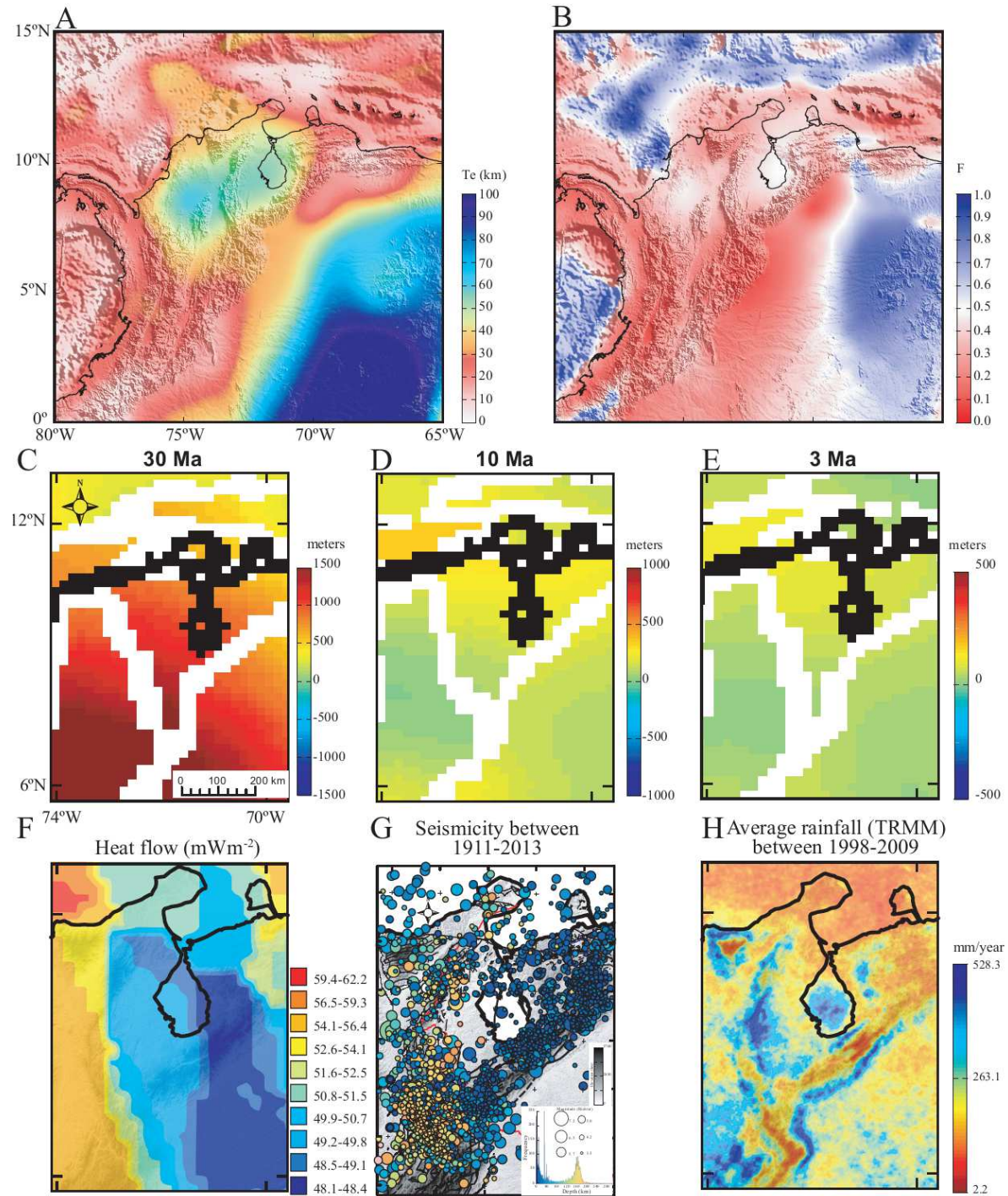


Modelos de evolución del paisaje



- Alpine
- Mountains/hills
- Lowland
- Lake/wetland
- Coastal seas
- Oceanic
- Rivers (conjectural)
- Apatite fission-track evidence for uplift

Bases de datos (Andes del Norte)



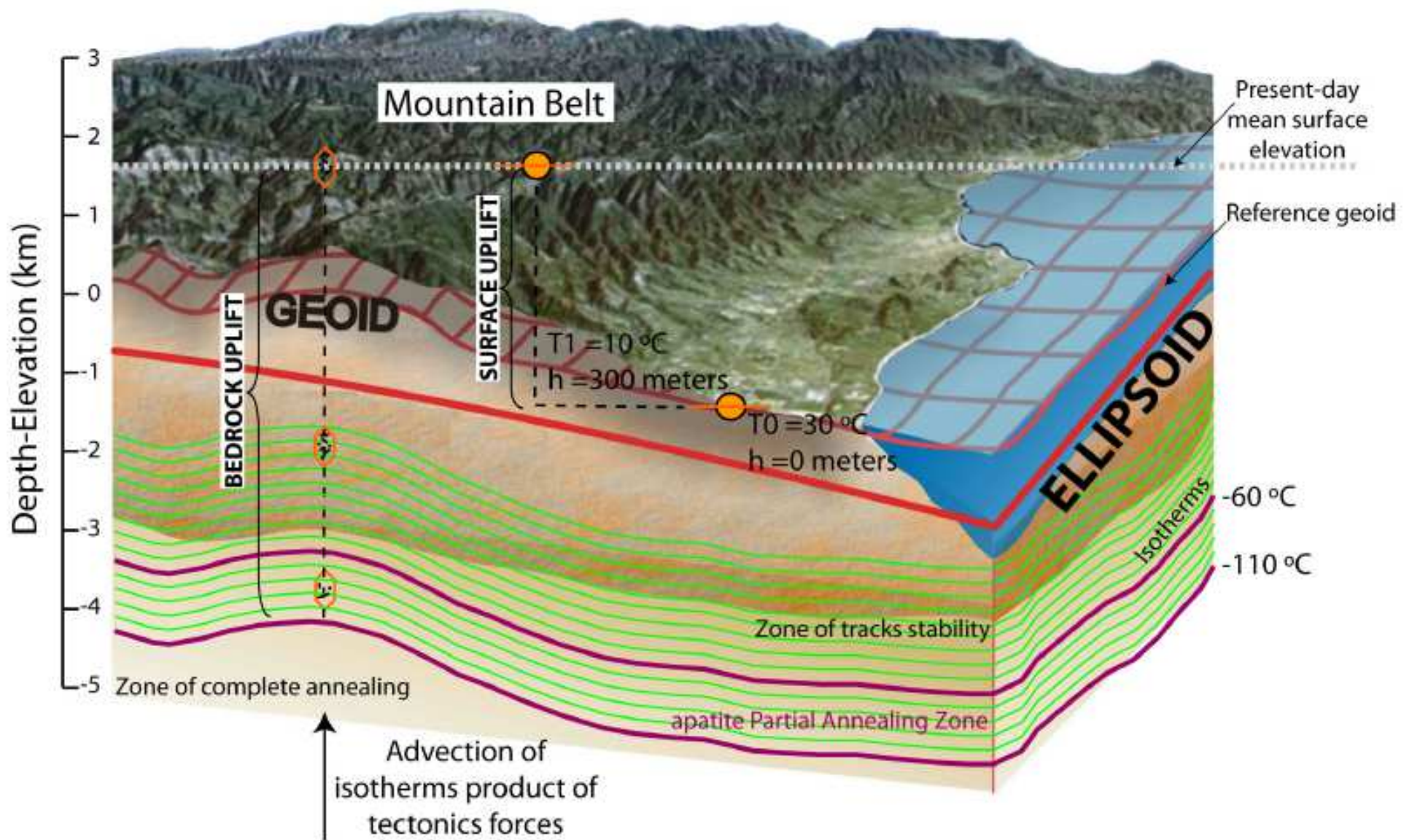
Bermúdez et al., (en prep.)

Integrando y generando big data

- 1) Integración de datos, desarrollos de técnicas estadísticas computacionales e interpretación a diferentes escalas
- 2) Empleo de minería de datos en diferentes ámbitos (exploración y producción de yacimientos, sismicidad, paleoclima, paleomagnetismo, etc)
- 3) Elaboración de software que facilite la vida de los geólogos y donde matemáticos, físicos, biólogos, computistas interactuemos.
- 4) Creación de catálogos y una red de datos tipo NOAA
- 5) Integración de modelos locales con SRTM, TRMM
- 6) Otros problemas que ustedes consideren



¿Qué es la exhumación?



Modelado de historias de exhumación

El código termocinemático PeCube (Braun, 2003; Braun et al., 2006, 2012) resuelve la ecuación del calor en 3D, utilizando elementos finitos:

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \Delta T + \rho A$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_0 = T_0(x, y, z, t = 0) \\ T(x, y, z = S(x, y, t), t) = T_{MSL} + \beta S \\ T(x, y, z = -L, t) = T_1 \\ \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \text{ en el borde} \end{array} \right.$$

donde: $T(x, y, z, t)$ es la temperatura;

ρ es la densidad de rocas;

c es la capacidad de calor;

k es la conductividad termal;

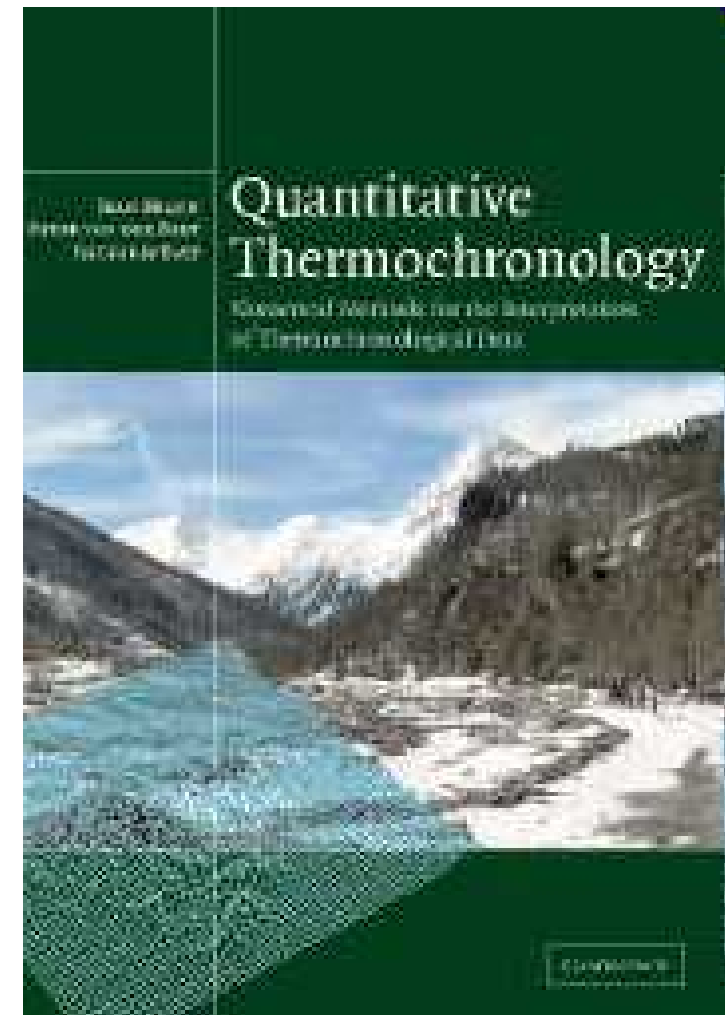
A es la producción de calor;

u, v, w velocidades de advección de rocas;

T_0 es la temperatura inicial;

$S(x, y, t)$ altura de la superficie con respecto al mar

T_1 es la temperatura en la base del modelo.



Un sólo modelo termocinemático

Entrada

Variables (con respecto al tiempo):

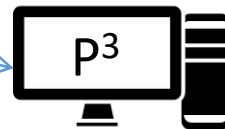
- Topografía (ráster)
- Tasas de levantamiento superficial
- Tasas de levantamiento de rocas
- Geometría de fallas

Fijos (con respecto al tiempo):

- Producción de calor
- Difusividad termal
- Temperatura superficial
- Temperatura en la base del modelo
- Geometría del bloque cortical

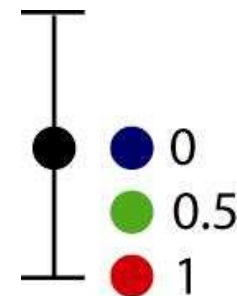
Salida

- Gradiente de temperatura (3D) para N pasos de tiempo
- Tasas de exhumación de rocas
- Historias tiempo-Temperatura para cada píxel en superficie
- Edades para diferentes sistemas termocronológicos
- Espectro de difusión para el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

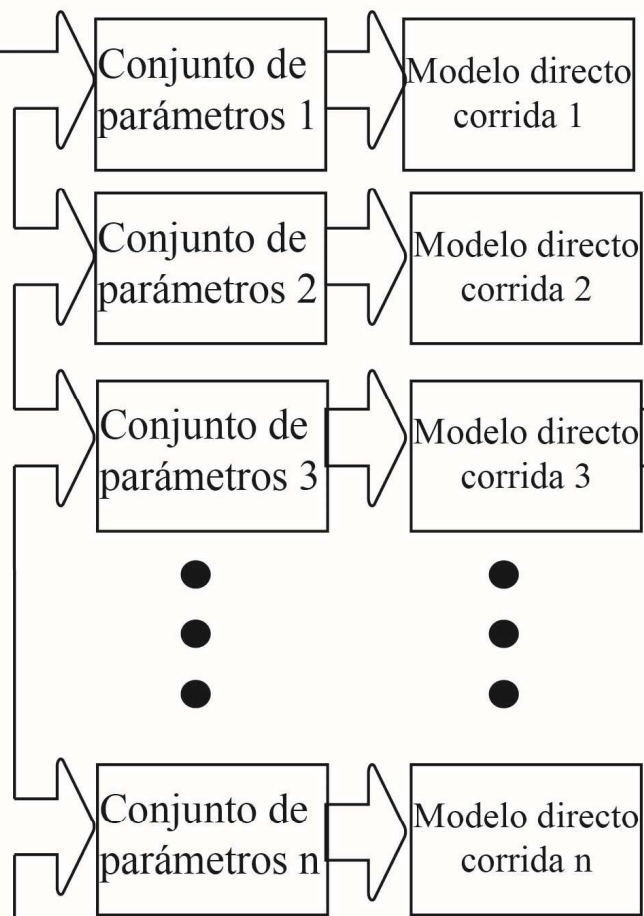


Comparación entre datos observados y predichos

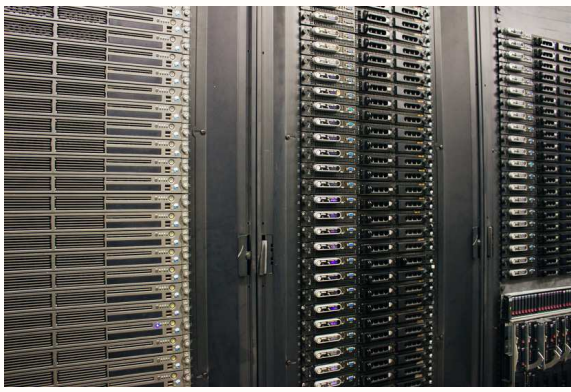
$$misfit = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(O - P)^2}{\sigma^2}}$$



n modelos termocinemáticos

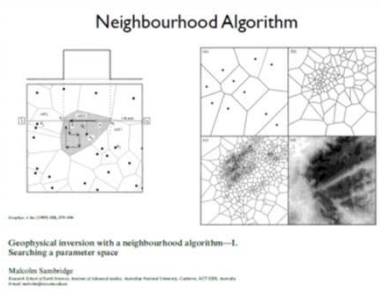


$$misfit = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(O - P)^2}{\sigma^2}}$$



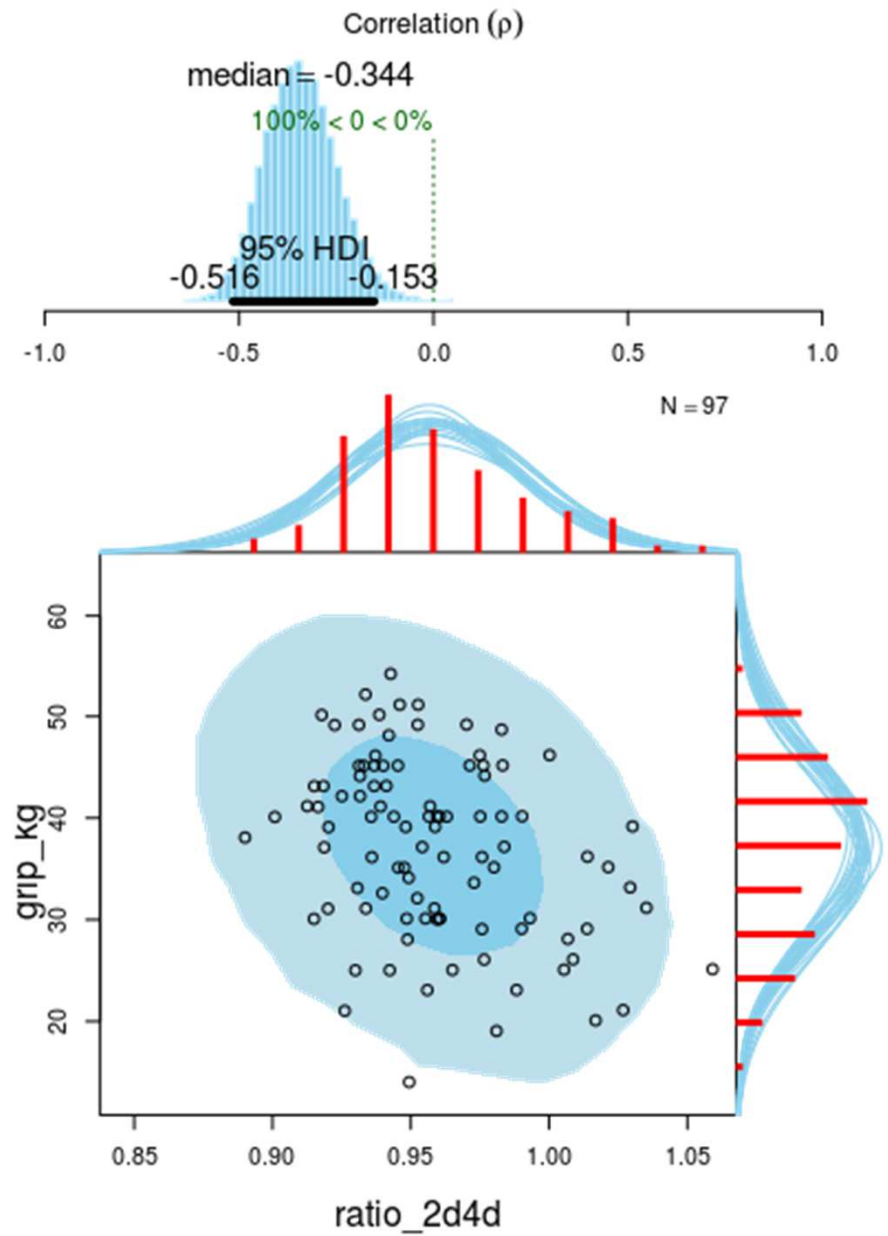
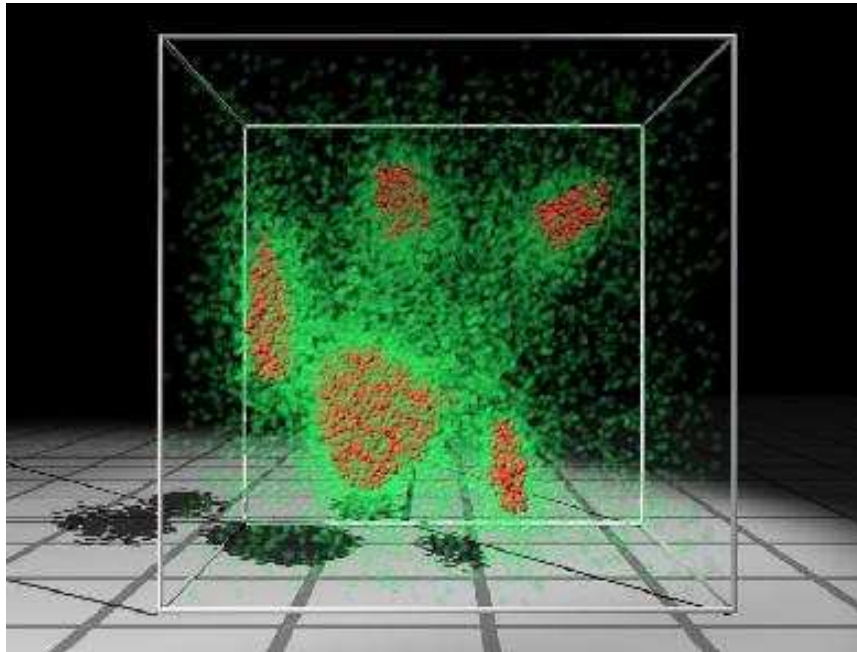
Comparación entre edades predichas versus observadas

Ordenamiento de las corridas



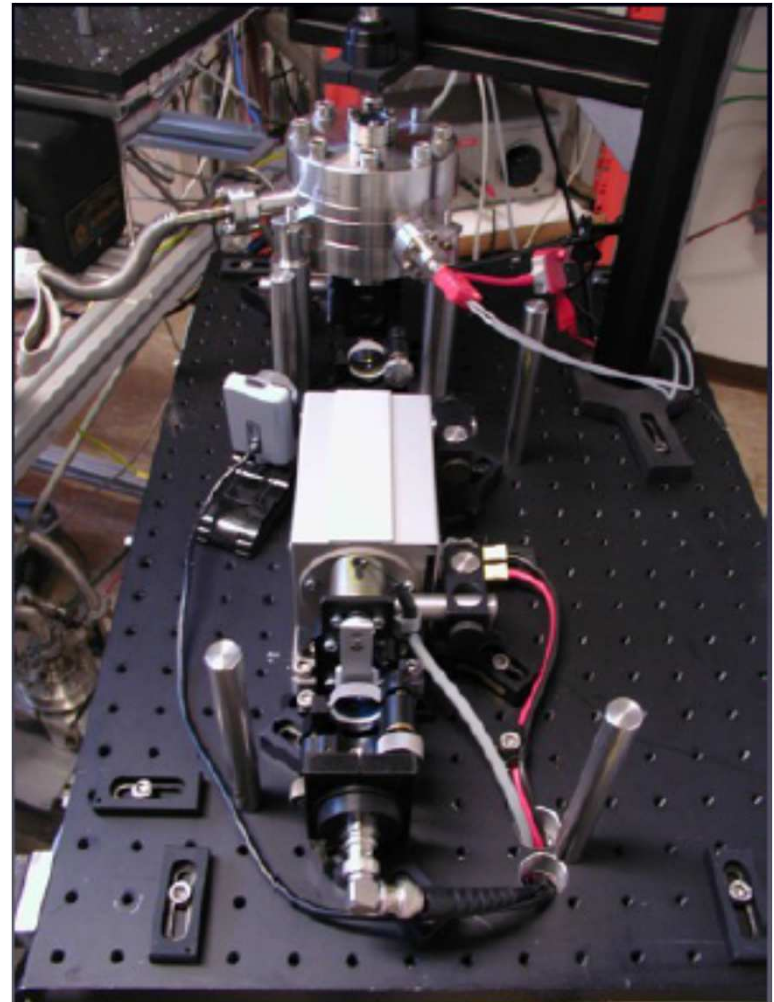
Generación de nuevos parámetros

Selección de familias de modelos (Bayes)



Ventajas de la generación de big data

- Costo de trabajos de campo (3 científicos por 4 semanas): ~10.000 €
- Costo de los análisis (30 edades He @ 200 € + 30 edades por TF @ 250 €): 13.500 €
- Costo total: 23.500 € ~37.300 USD



Costo de generar big data

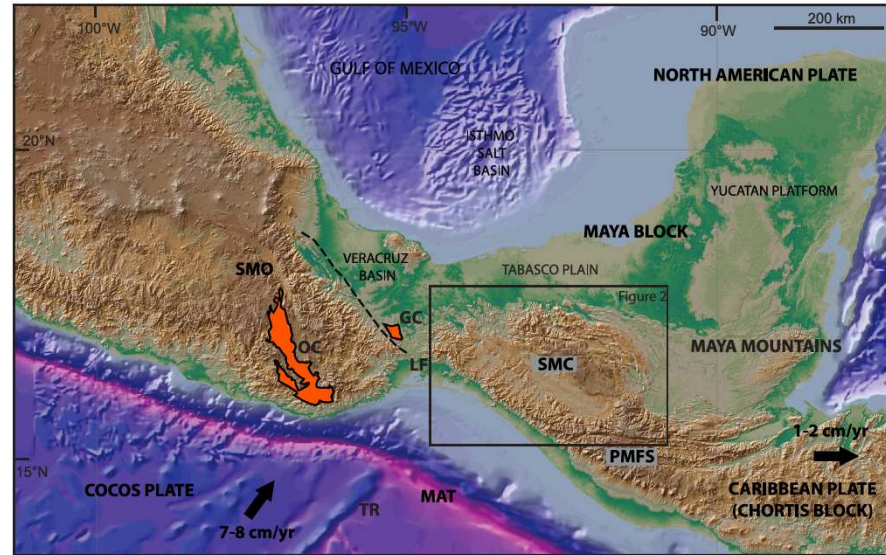
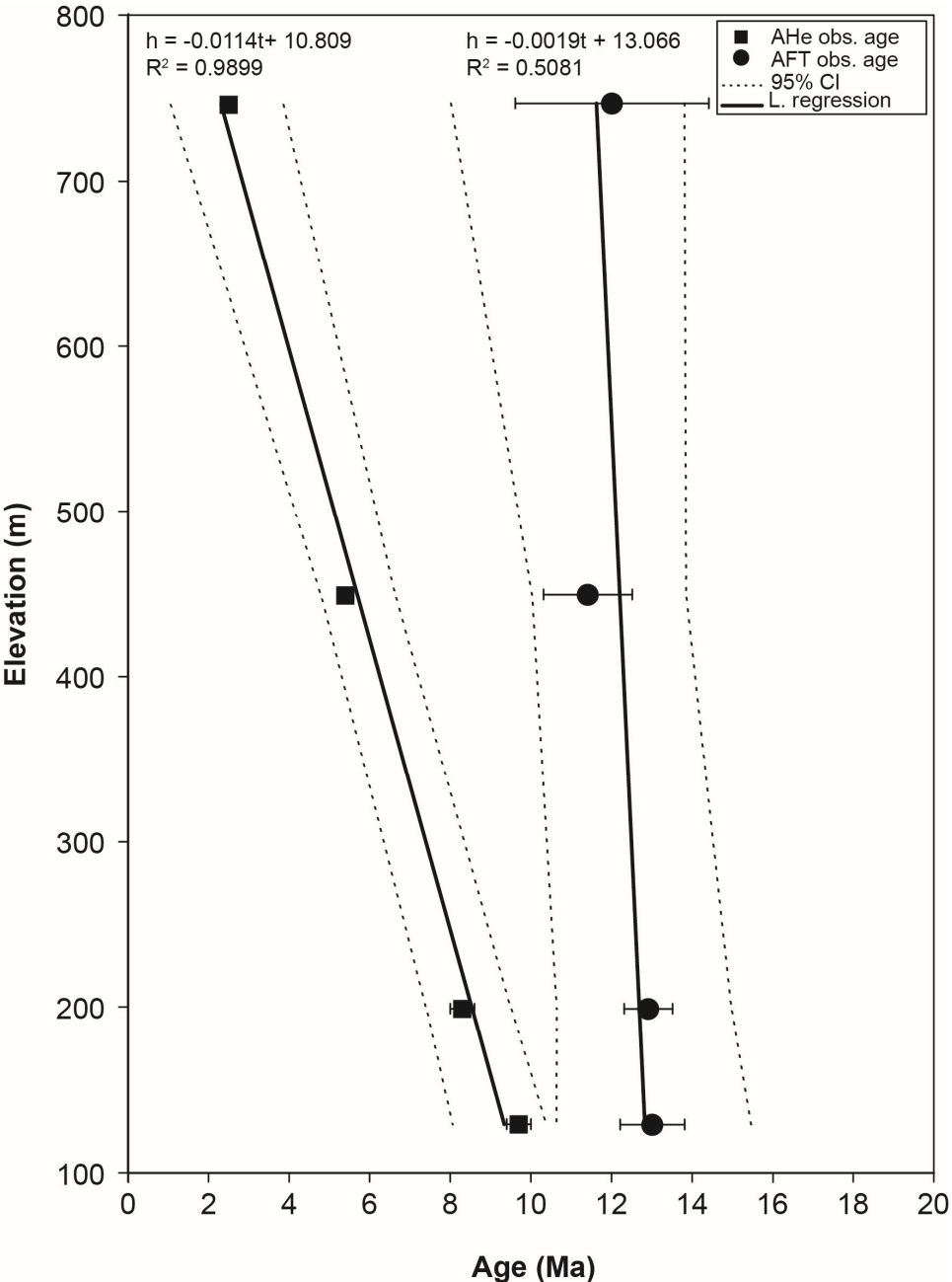
No incluye el cluster ni el personal detrás de este
(lo más importante!)

- IMac o PC: 1500 USD
- Software gratis (+ tiempo de desarrollo y adaptación a necesidades especiales)

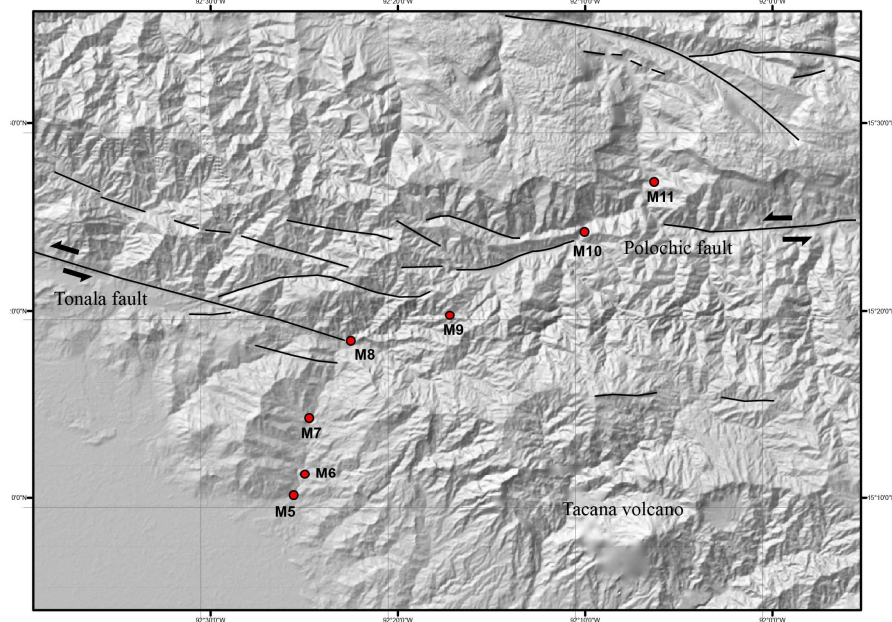


Ejemplo (Caso Chiapas)

Relaciones edad-elevación negativas



Witt, Brichau and Carter, (2012)

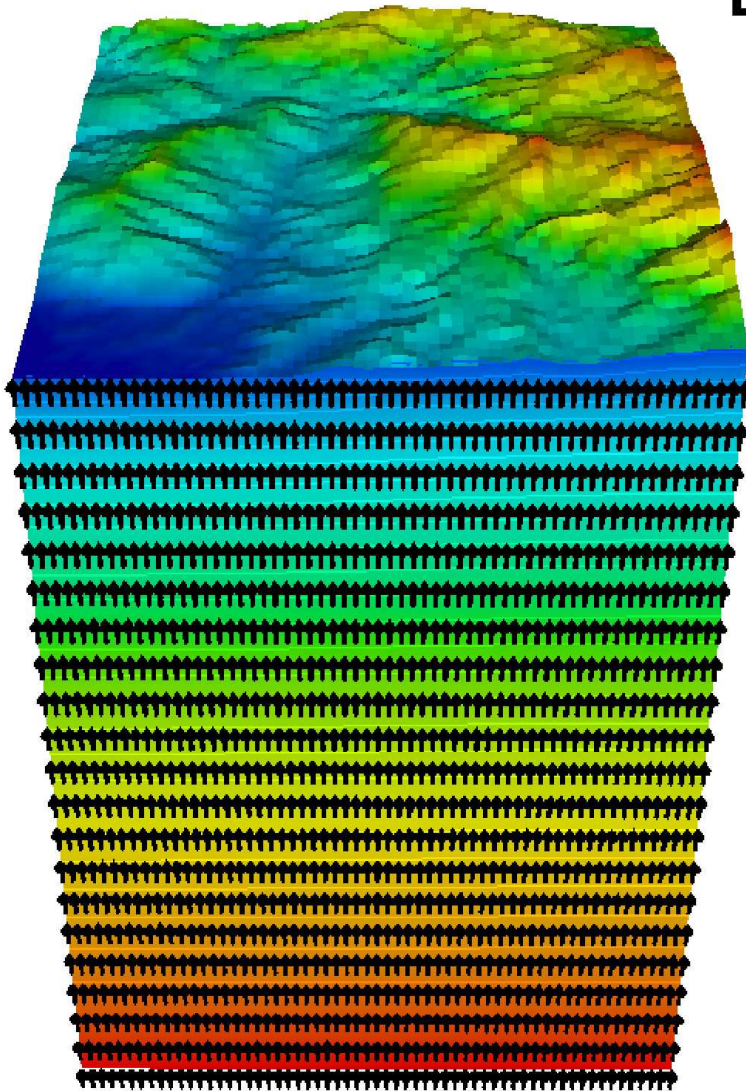


Brichau et al. (In prep.)

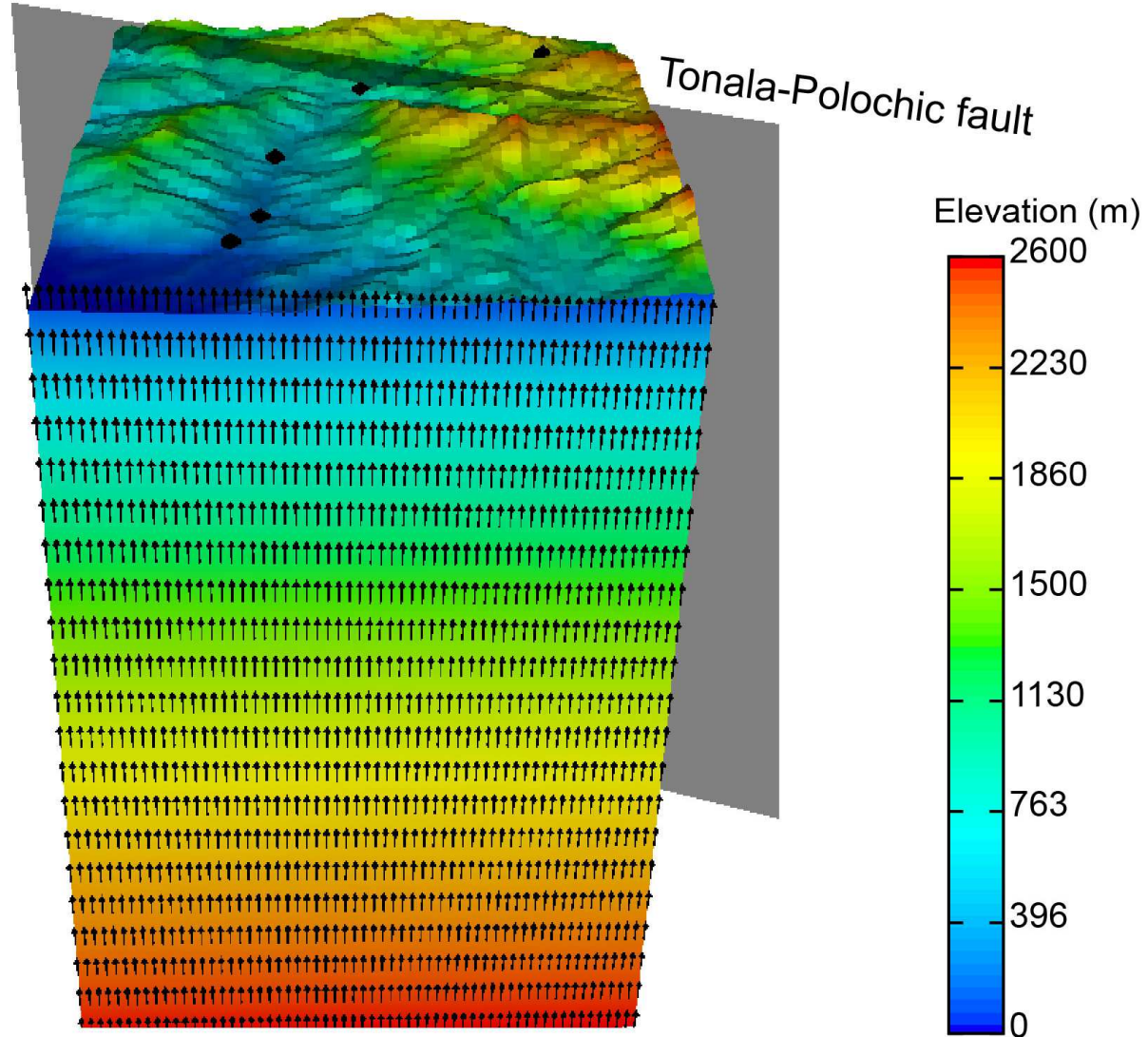
Un modelo directo

Caso Chiapas

A



B



Elevation (m)

2600

2230

1860

1500

1130

763

396

0

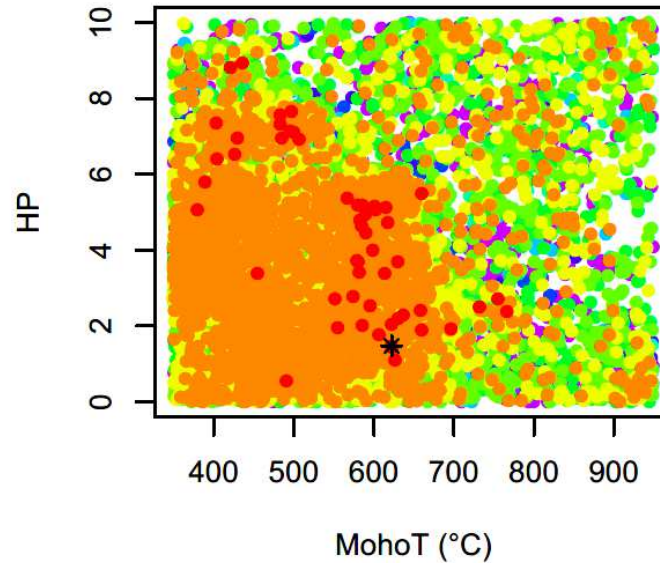
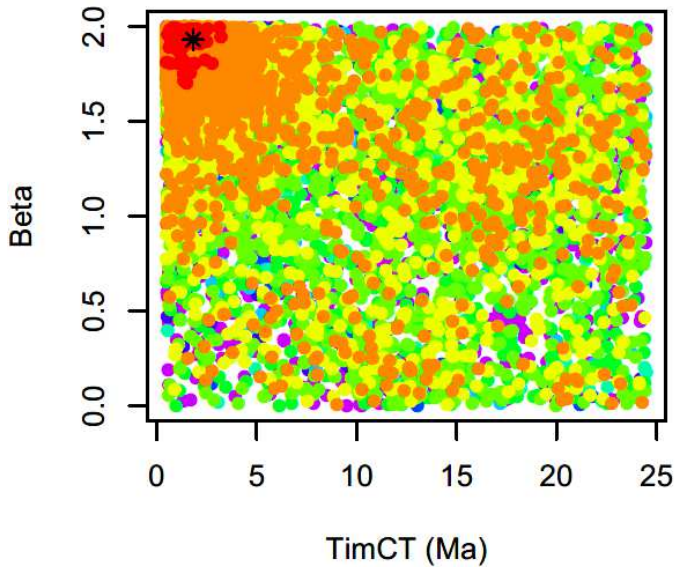
Temperature (°C)

7 59 111 164 217 269 322 374

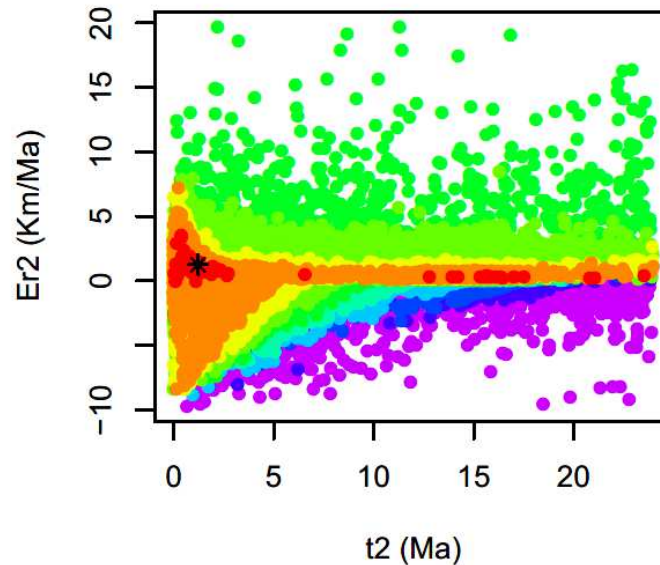
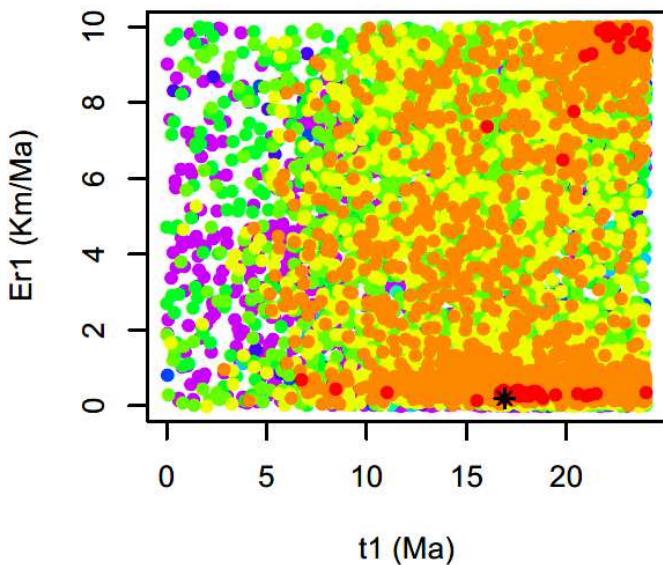
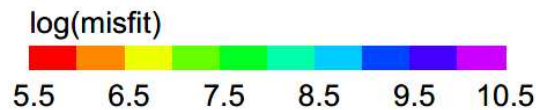


Collaborative work with Brichau, S.,
Witt, C., Gautheron, C and Carter, A.

2 Pulsos de exhumación

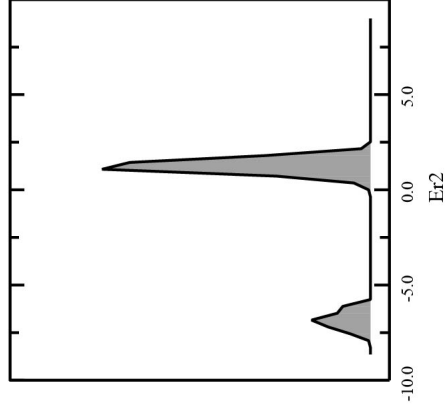
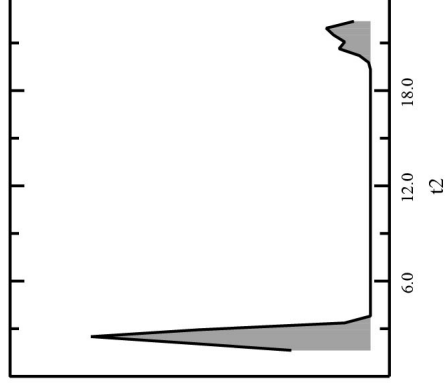
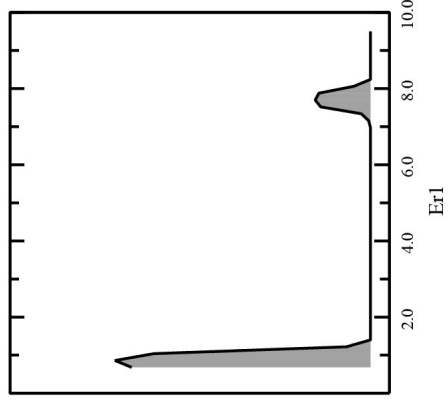
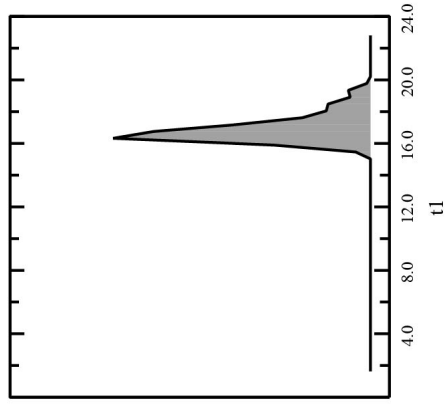
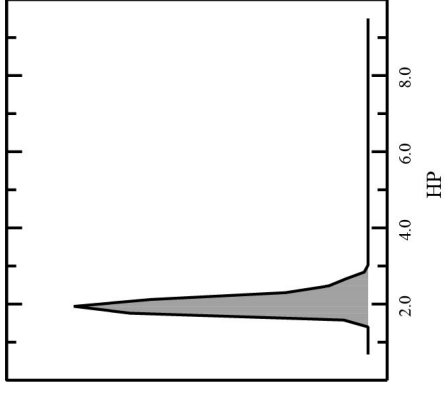
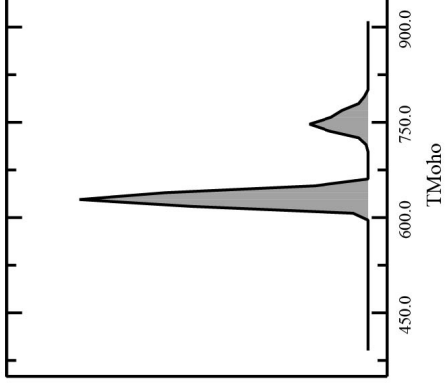
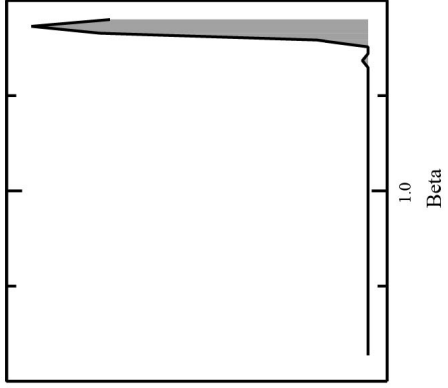
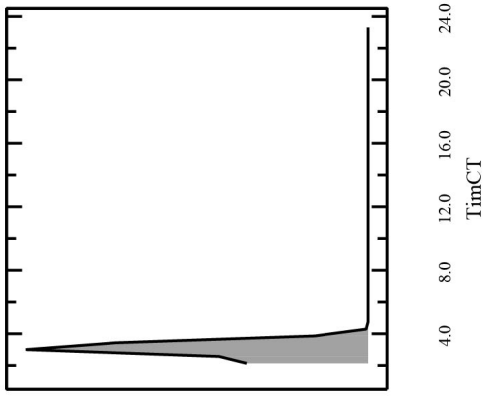


- Model with minimum misfit (344,4170)
- Time Changing Topo: 1,821Ma
- Beta: 1,932
- Moho Temp: 622,2 °C
- Heat production: 1,472
- TimF1: 16,9 Ma
- Er1: 0,2009 Km/Ma
- T2:1,216 Ma
- Er2: 1,2459 km/ma

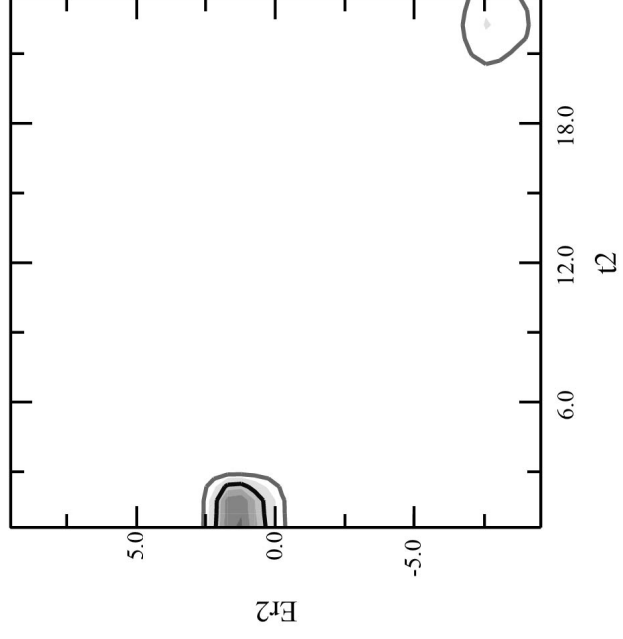
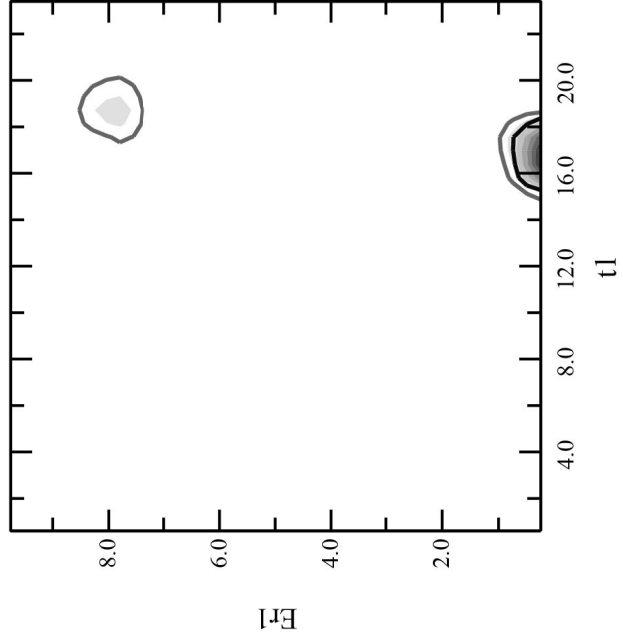
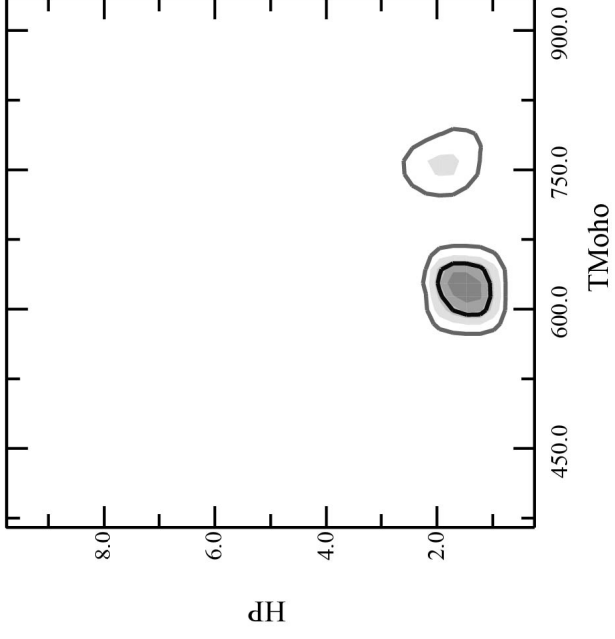
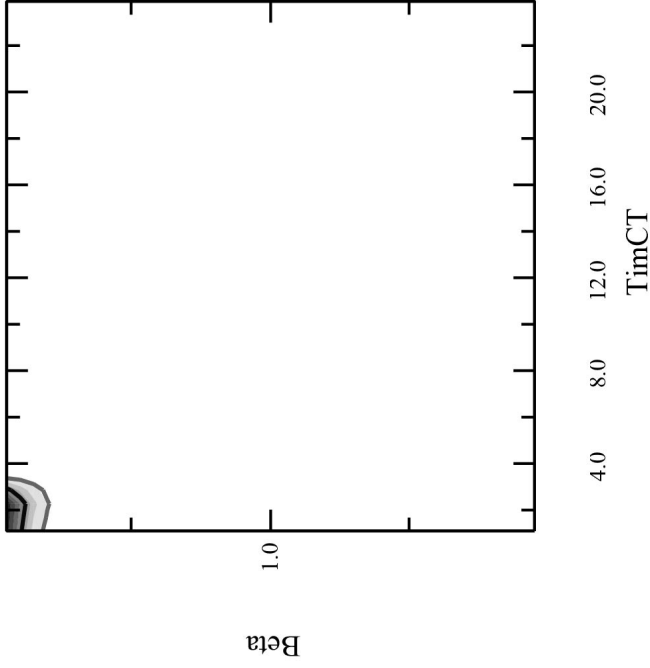


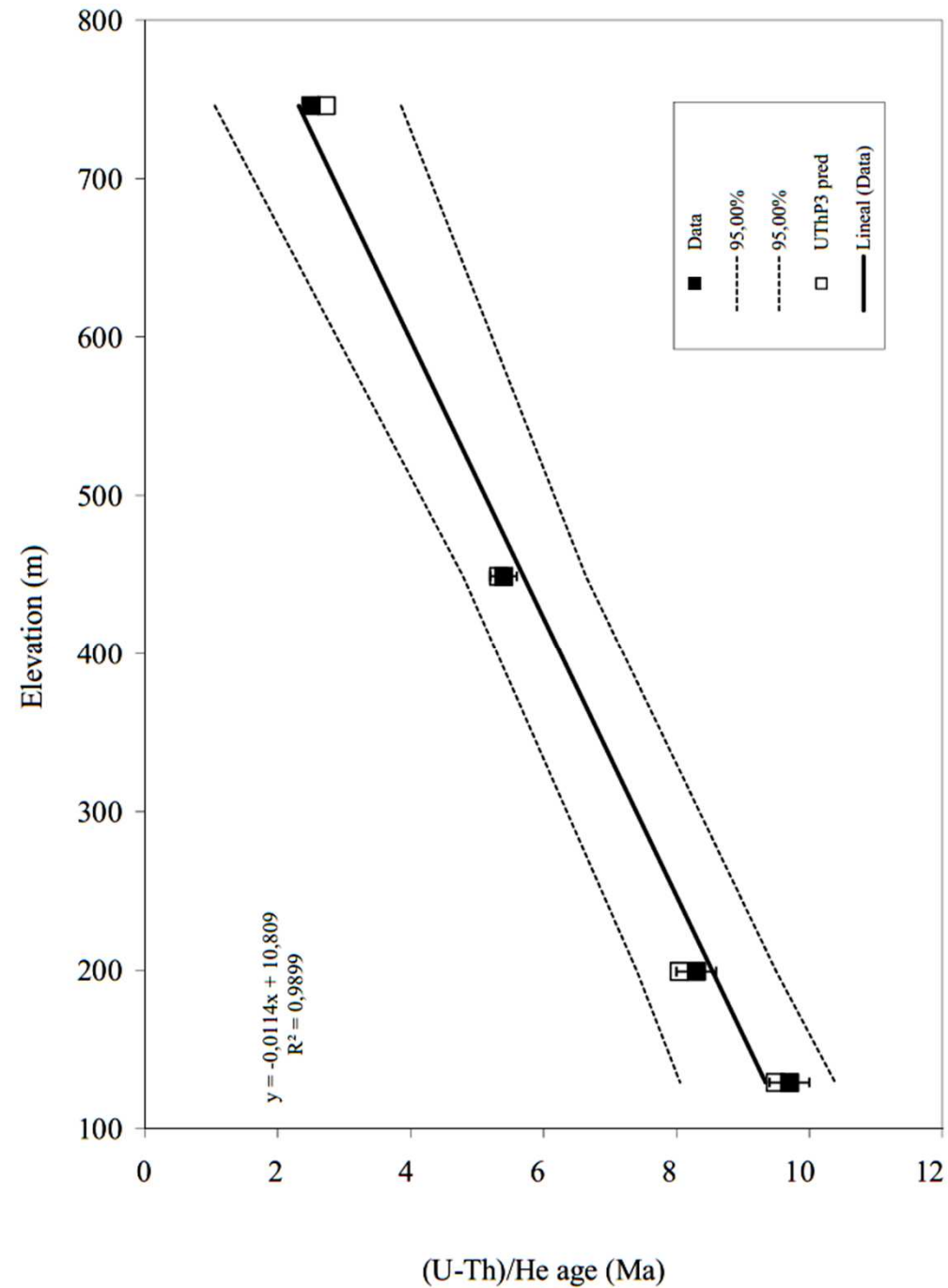
Number of models	11100
Dimensions	8
LMM	344,4170
AMF	2323,00
Topo 25 Ma	0
Topo 0,1-24,5Ma	0-2
Current topo 0 Ma	1
# of exh phases	2
Timing 0-24 Ma	0-10 km/Ma

1-D Marginals



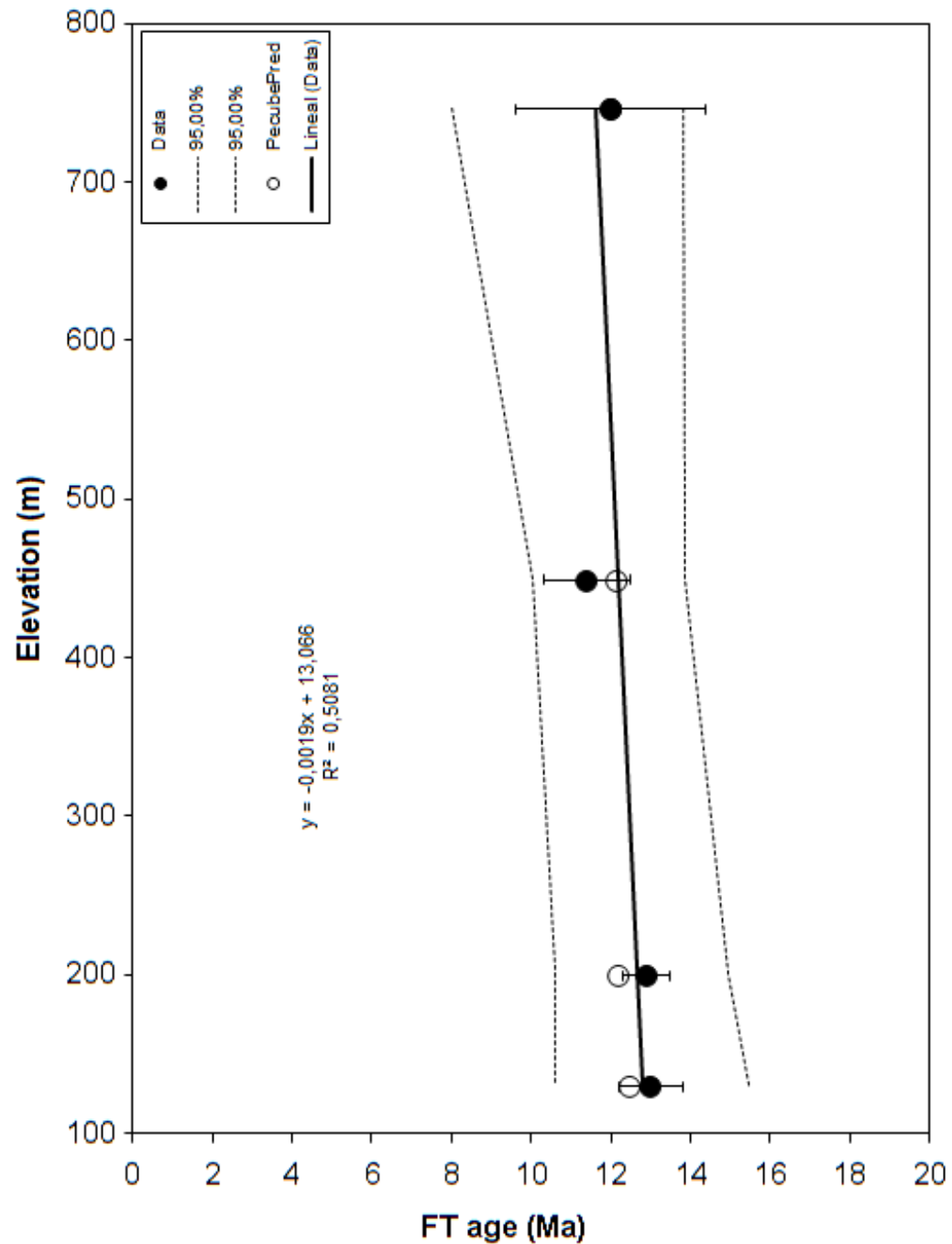
2-D Marginals





(U-Th)/He age (Ma)

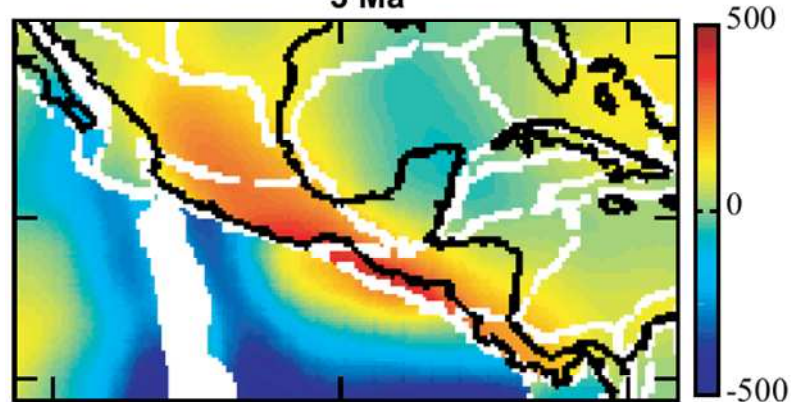
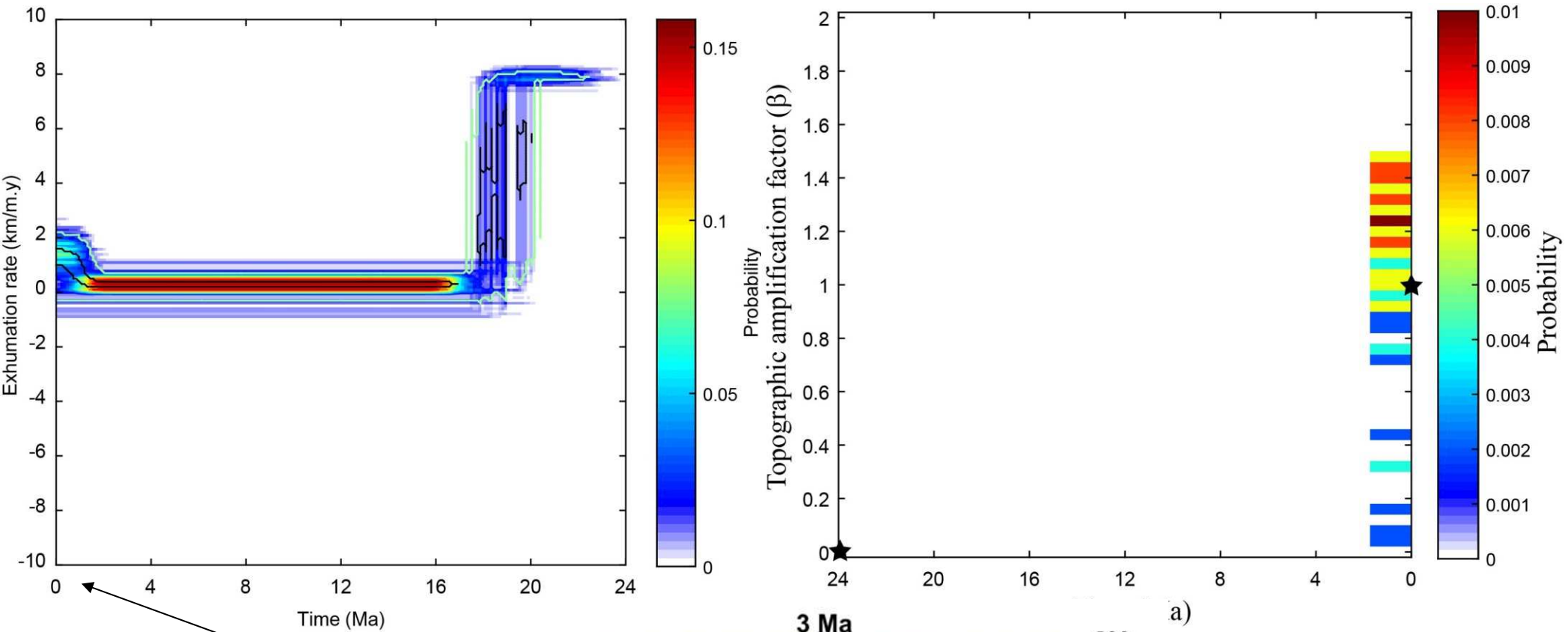
- t2: 0,9679 Ma
- e2: 1,1590 Km/Ma



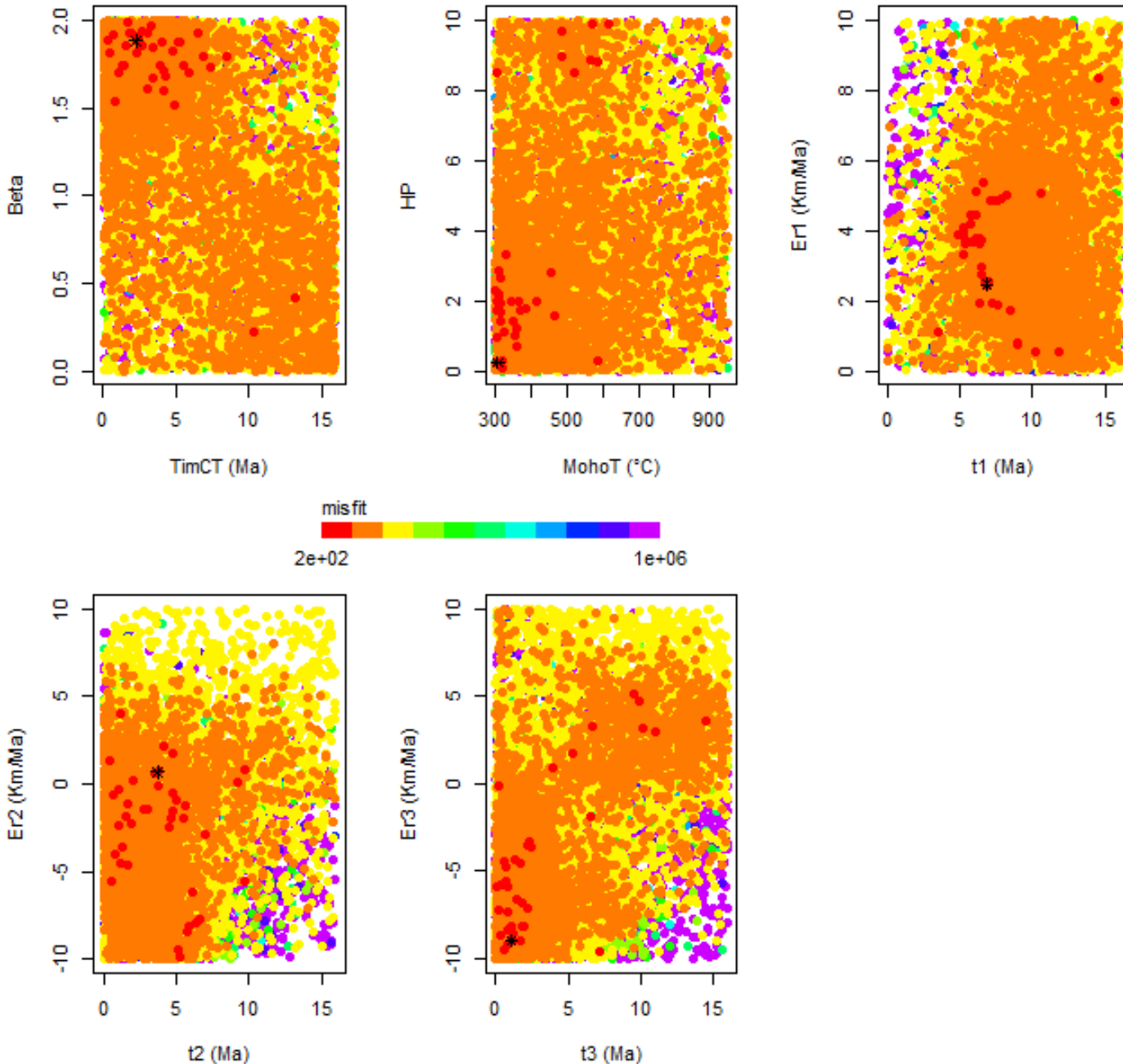
FT age (Ma)

- t1: 16,9 Ma
- e1: 0,2009 Km/Ma

Historia de exhumación/cambio de relieve



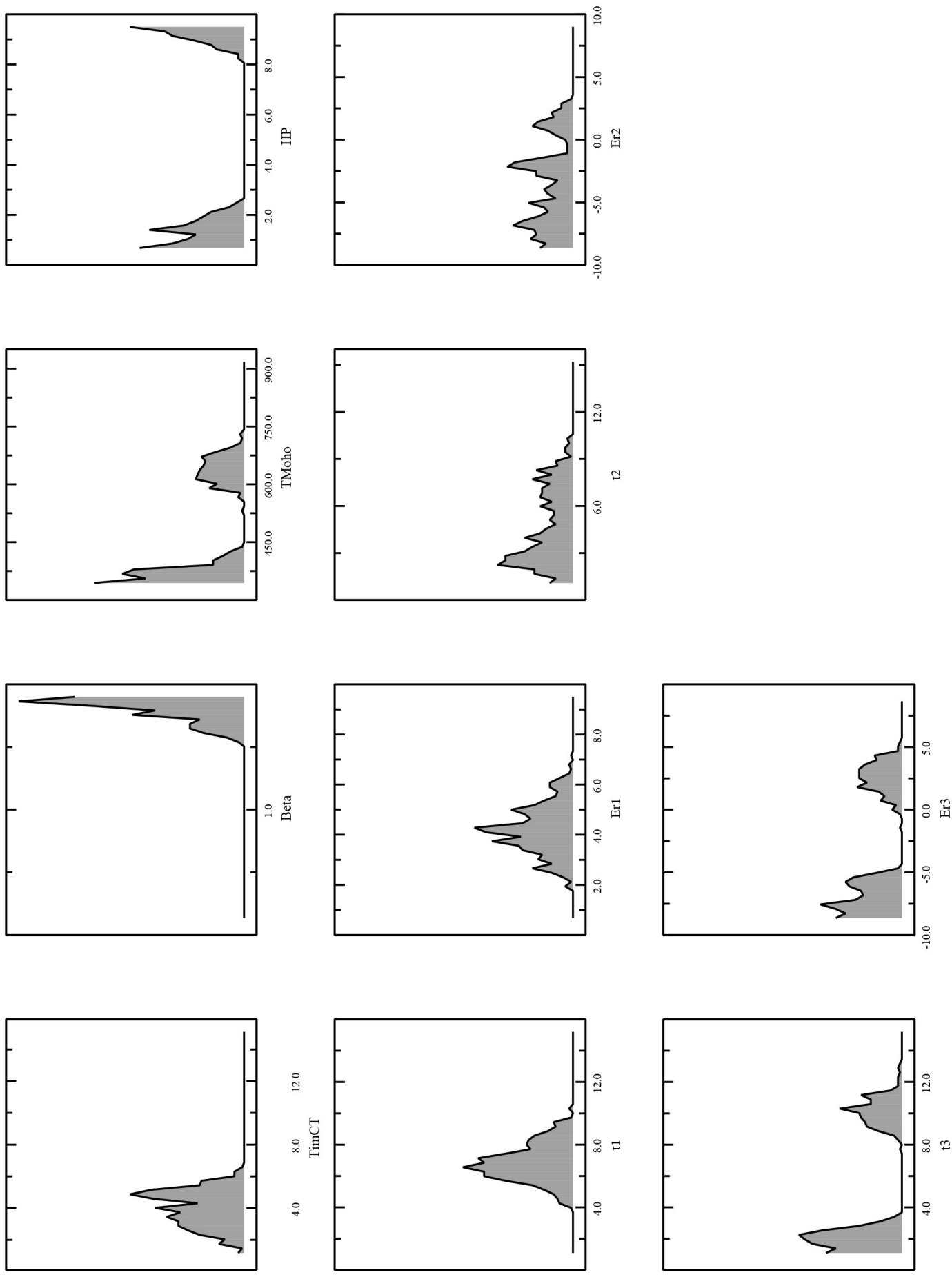
3 pulsos de exhumación



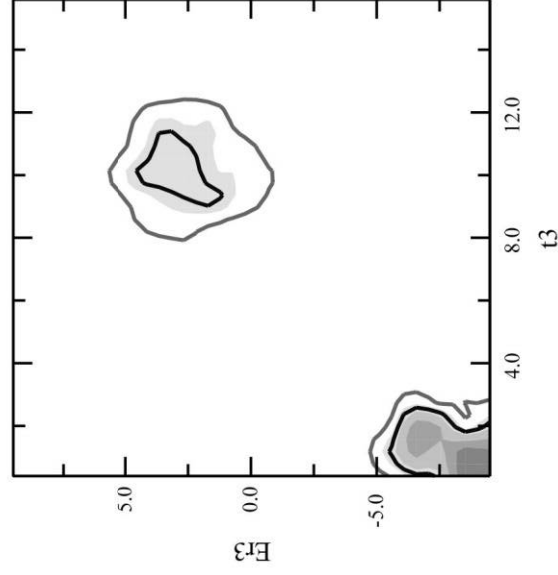
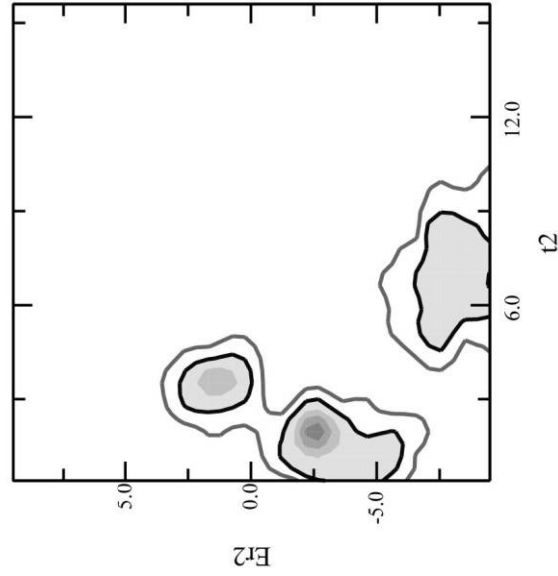
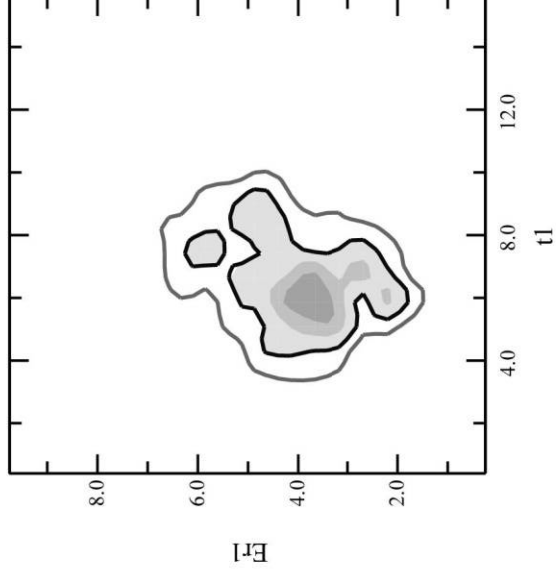
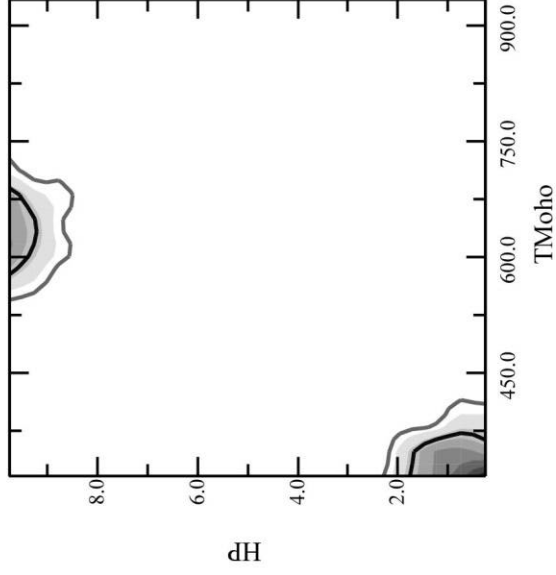
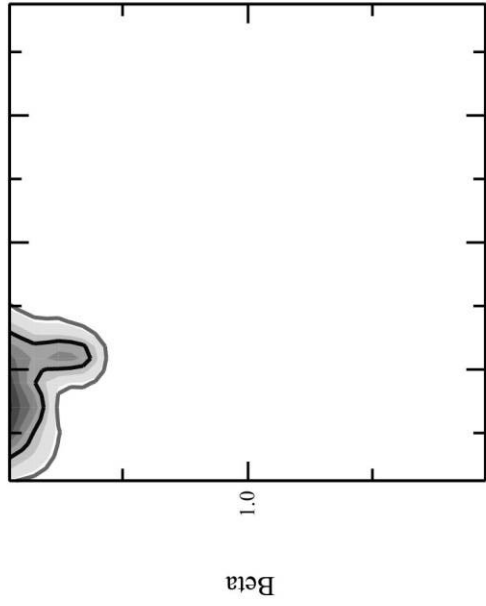
- Model with minimum misfit (438)
- Time Changing Topo: 6,482Ma
- Beta: 1,927
- Moho Temp: 306,1 $^{\circ}$ C
- Heat production: 1,726
- t1: 11,76 Ma
- Er1: 0,5401 Km/Ma
- t2: 4,088 Ma
- Er2: 2,6791 km/Ma
- t3: 1,362 Ma
- Er3: -1,6899 km/Ma

Number of models	12100
Dimensions	10
LMM	438,0192
AMF	166740,5
Topo 16 Ma	0
Topo 0,1-15,9 Ma	0-2
Current topo 0 Ma	1
# of exh phases	3
Timing 0-24 Ma	0-10 km/Ma

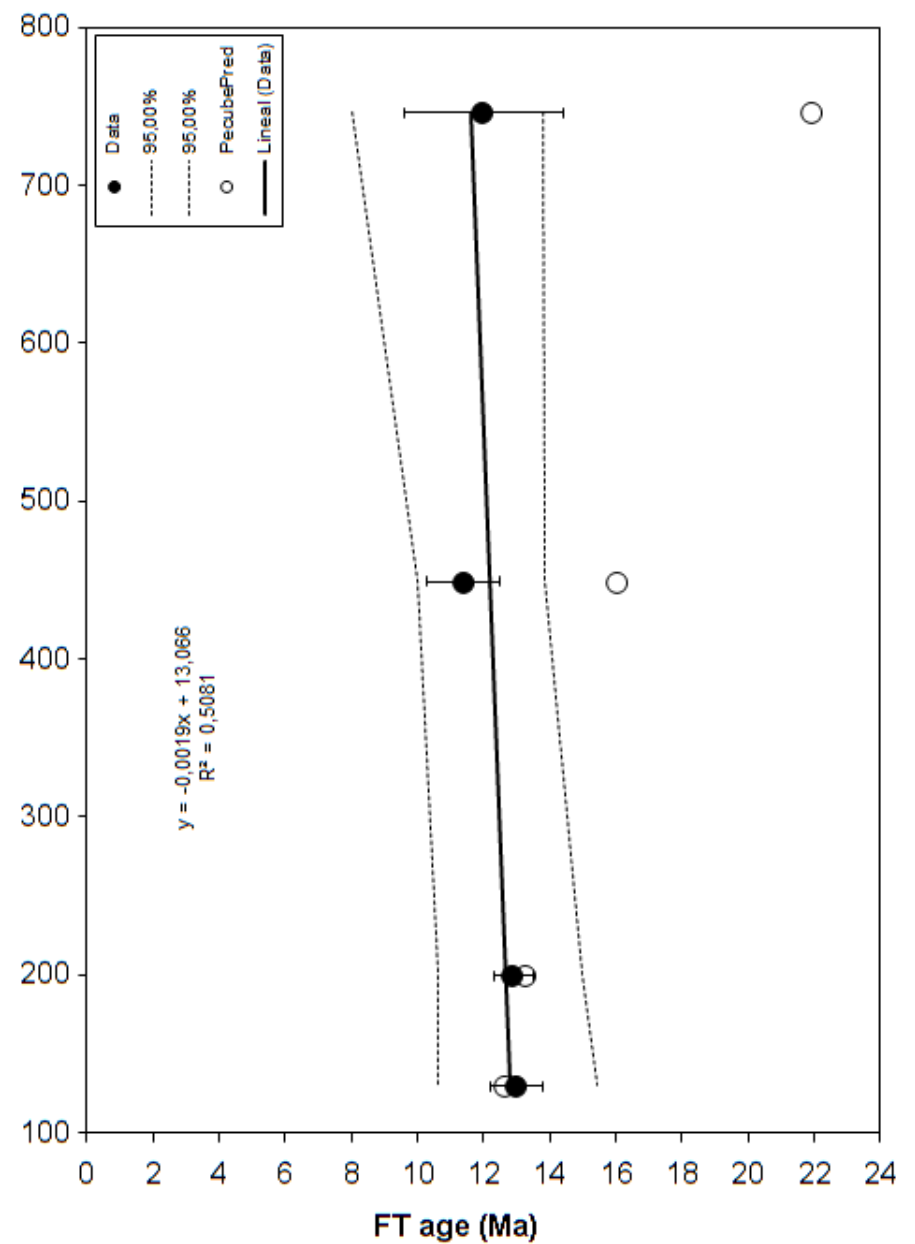
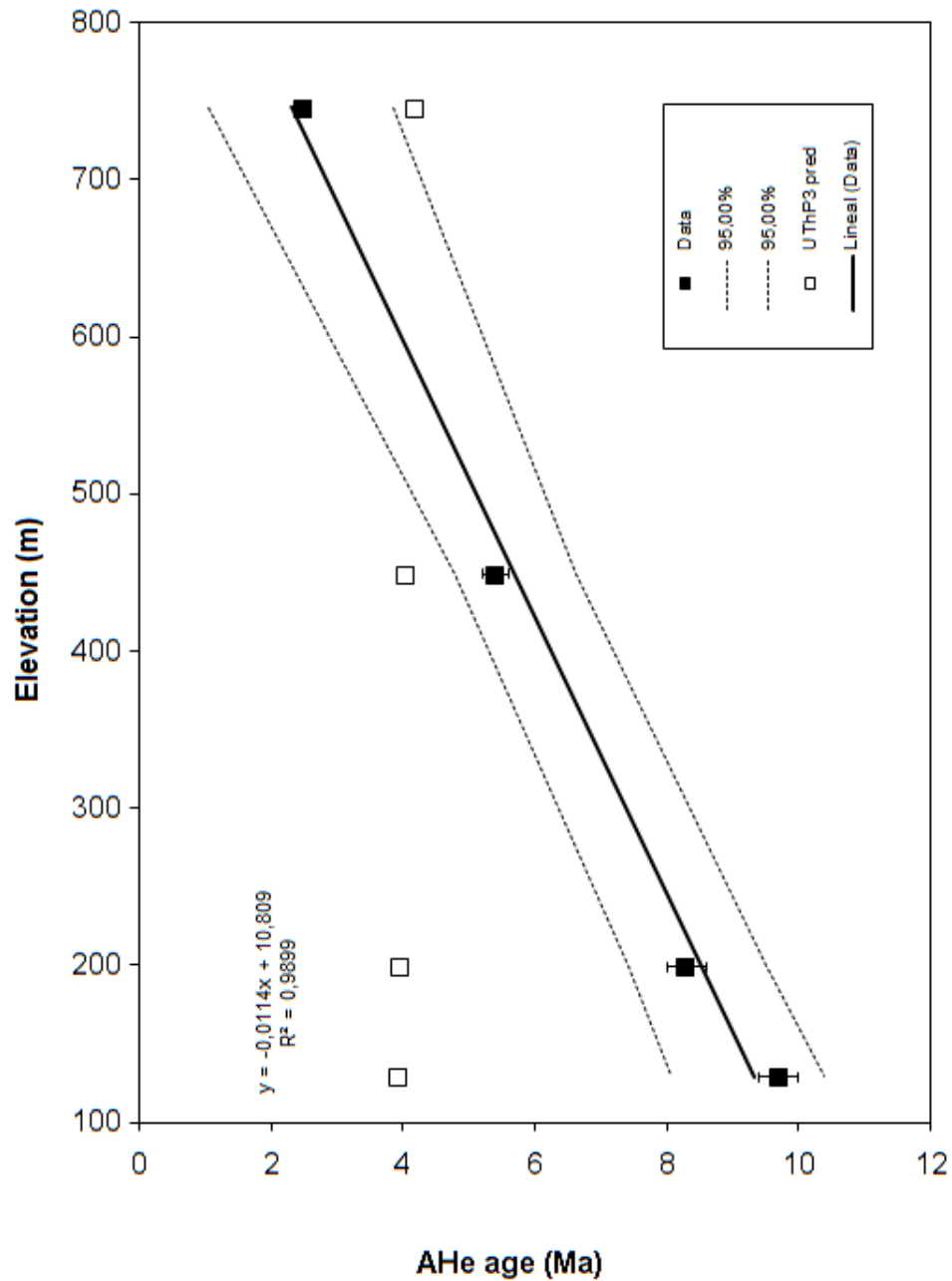
1-D Marginals



2-D Marginals



Observaciones versus predicciones



Conclusiones

- En ciencias cada día se genera big data, la integración de esos datos, el análisis y el uso de los mismos en la generación de modelos permite comprender mejor un problema en particular.
- La big data (observada) es el resultado de un intenso trabajo por años de muchos investigadores, es importante dar crédito a los mismos.
- Lo novedoso es integrar esa big-data observada con predicciones realizadas mediante sistemas computacionales de alto rendimiento.

Conclusiones (Cont.)

- El valor agregado son los métodos utilizados para producir esa integración.
- Los mejores modelos son aquellos que sean físicamente posibles, a pesar de que numéricamente sean robustos.
- Es posible estudiar la tasa de evolución de un paisaje y su sensibilidad a las precipitaciones, a las fuerzas tectónicas, al flujo mantelar.

Gracias