

ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS DEL MAPA GEOLÓGICO: CONTENIDOS EMPÍRICOS Y TEÓRICOS



José E. Lazarte

Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, UNT – INSUGEO (CONICET)
jelazar@csnat.unt.edu.ar



Resumen

En el presente trabajo se propone una mirada al mapa geológico desde la Epistemología, intentando dilucidar aspectos empíricos y teóricos contenidos en esta forma de representación. El mapa, en Ciencias de la Tierra, contiene tanto observaciones directas que el científico realiza en el terreno, como teoría, en forma de interpretaciones de los rasgos observables. Para considerar la evolución del mapa en el tiempo, se utilizan ejemplos de publicaciones nacionales para mostrar cómo se modifica de acuerdo al marco teórico imperante. Su contenido teórico hace que pueda ser considerado un tema de investigación en sí mismo, tanto para ciencia básica como aplicada, siempre que la comunidad científica lo acepte como tal.

Abstract

In this paper a look at the geological map from the Epistemology is proposed. Empirical and theoretical aspects contained in this form of representation are figure. Map of Earth Sciences, contains both direct scientific observations made in the field, as a theory, as interpretations of observable traits. To consider the evolution of the map in time, examples of national publications are used to show how it is modified according to the prevailing theoretical framework. Its theoretical content means it can be considered a research topic in itself, both basic and applied science, provided the scientific community accepts it as such.

Introducción

En 2014, una comisión científica encargada de evaluar planes de investigación rechazó la realización de mapas temáticos de Geología como un fin en sí mismo, o propio de una tarea de investigación. Se consideró que esta tarea no constituía una investigación científica.

Esto dispara varias preguntas a las que se trata de abordar en este trabajo: por ejemplo, ¿qué es el mapa geológico?, ¿contiene sólo datos o también hipótesis?, ¿es razonable o correcto que contenga hipótesis?, ¿serían hipótesis a testear o ya probadas?, ¿hay diferencias si se trata de ciencia pura o ciencia aplicada?, y por último, ¿puede considerarse una investigación científica a la actividad que tenga al mapa como fin en sí mismo?

A estos interrogantes trataremos de dar alguna respuesta o al menos dejar bien planteadas las preguntas. Convendrá, además, distinguir qué consideramos dato y qué hipótesis.

Desde el nacimiento de la Geología como ciencia moderna, hecho que podría ubicarse en las postrimerías del S. XVIII, los científicos de las ciencias de la Tierra recurrieron a lo que podríamos denominar “ilustración científica”, en consonancia con colegas de otras ramas de las Ciencias Naturales. Los geólogos de la época volcaban al papel dibujos de afloramientos, se realizaban los primeros intentos de plasmar en papel lo que se veía en el terreno. Se conocen mapas geológicos desde el siglo XVII pero es de destacar que hay referencias del antiguo Egipto, tan tempranas como del S. XII a.C., dibujado en el papiro de Turín (Harrell y Brown 1992). Los griegos de la antigüedad, si bien no hicieron mapas geológicos, contribuyeron de manera significativa a la cartografía en general.

En esta contribución dejamos expresamente de lado los dibujos de afloramientos que luego serían reemplazados por la fotografía. Tomaremos los mapas, es decir dibujos de planos que representan las formas del terreno y elementos geológicos aflorantes. También consideramos en esta categoría lo que los científicos de las Ciencias de la Tierra llaman perfiles o cortes o secciones, que representan formas del terreno y otros elementos proyectadas sobre planos verticales.

En este trabajo se busca también exponer la manera en que evolucionan el mapa

y los perfiles, para ver la relación entre mapa y contenido teórico. Para ello se examinarán publicaciones de revistas especializadas y de actas de congresos y otras reuniones científicas de alcance nacional.

Los términos “ciencia pura” y “ciencia aplicada” se usan en el sentido de Bunge (1960).

Procedimiento habitual en la realización de un mapa

Un mapa es una representación gráfica de una porción del terreno, generalmente sobre una superficie bidimensional (excepto el globo terráqueo). Tiene propiedades escalares que permiten, mediante ciertos cálculos, conocer medidas del terreno, tomándolas desde el dibujo. Es decir, es una proyección sobre plano horizontal sobre la que pueden agregarse todo tipo de informaciones adicionales (orografía, hidrografía, población, geología, suelos, etc.).

El mapa es un instrumento que sirve para:

- Representar accidentes y rasgos geológicos, geográficos, hidrológicos, atmosféricos, etc., de una porción de la Tierra. Por ejemplo: mapa geológico de la provincia de Tucumán.
- Presentar hipótesis y teorías sobre algún problema específico del planeta. Por ejemplo, mapa paleogeográfico de Gondwana.
- Resolver problemas geológicos y estructurales. Por ejemplo, mapa de geología y estructuras de las vetas de Mina Farallón Negro. Un relevamiento detallado en una mina puede ayudar a resolver problemas estructurales ya que ayuda a “visualizar” la geología de un modo más claro y simplificado que lo que se ve en las labores. En este sentido se puede equiparar a un “modelo”.

Las técnicas básicas de mapeo se desarrollaron en la segunda mitad del S. XIX. En la actualidad, el procedimiento para la realización de un mapa geológico podría resumirse en los siguientes pasos.

En primer lugar, se realiza una interpretación aerofotogramétrica y/o de imágenes satelitales, con un detalle que depende de la tecnología disponible. El resultado de este trabajo es un mapa preliminar, que debe apoyarse en datos de campo. Esta metodología tradicional ha sufrido cambios de la mano de la tecnología, especialmente en el

sentido del apoyo de campo para algunas disciplinas, ya que es posible presentar como producto terminado el resultado de la aplicación de software especializado que permite mapear con notable precisión diferentes tipos de terrenos. En este caso, el concepto de dato es diferente al del mapa con apoyo en el campo. Por ejemplo, al realizar apoyo de campo, datos de longitudes de onda pasan a ser tipos de roca.

Las nuevas tecnologías plantean posibilidades de variar estas prácticas. Paschier y Exner (2010) dan los siguientes pasos para el mapeo de campo clásico: en la etapa de campo se propone mapear en papel con un programa GIS (siglas en inglés de Sistema de Información Geográfica). Esto se lleva al campo y los contactos y estructuras se plotean normalmente con la ayuda de un dispositivo de posicionamiento global (GPS). Los datos van a la libreta de campo. En la segunda etapa, de laboratorio, se escanean y se referencian los mapas en papel. Las nuevas técnicas digitales permiten, en un solo soporte electrónico (*digital field mapper*), volcar datos de campo, mediciones, etc. Este se lleva al GIS y se elabora el mapa.

Contenido empírico y teórico de un mapa: casos tomados de publicaciones nacionales

En primer lugar, debemos considerar que hay contenidos del mapa geológico claramente asignables a las categorías de dato o de teoría. Consideraremos el contenido de dato en el sentido de Klimovsky 1995, y lo que tiene de teoría en el sentido de referido a entidades no observables directamente o teóricas, es decir, cuando hablamos de contenido empírico no es estrictamente en sentido popperiano sino que lo que se quiere significar con “contenido empírico” es el volumen o cantidad de información referida a objetos directamente observables (en sentido de Klimovsky 1995). Cabe aclarar que no todas las ciencias de la Tierra vuelcan de la misma manera la información y que la mayoría de los ejemplos de esta contribución son de la Geología.

Un dato en el mapa geológico será la representación de algo tomado de la realidad. Ejemplo: un afloramiento rocoso (la roca que efectivamente se ve en la superficie del terreno), o valores estructurales como rumbo o inclinación de elementos medibles, tales como planos (fallas, diaclasas, contactos, etc.), lineaciones, etc.

Pero también una roca, la definición de la misma, podría ser dato descriptivo y al mismo tiempo hipótesis. Ejemplo: mapear una roca como “milonita” u “ortoanfibolita”

implica tanto descripción como teoría. Al representar en el mapa un cuerpo de ortoanfibolita o granito, por mencionar dos tipos rocosos, estamos aportando un contenido no explícito, al que se accede de manera indirecta, esto es, que en los términos “granito” u “ortoanfibolita” quedan implicados composición mineralógica y procesos genéticos. De este modo, el mapa sirve para exponer mucho más que un tipo de roca aflorante. Dejaremos de lado el problema de las edades como tema aparte y motivo de otro trabajo. Basta decir que es frecuente ver mapas con unidades estratigráficas que implican edad y esto implica, necesariamente, teoría.

Una hipótesis en el mapa será la representación de elementos en cuya definición entran necesariamente elementos teóricos. Ejemplo: una faja metalogenética, un ambiente o facies sedimentarios, etc. Es decir que un mapa sería una representación gráfica de la base empírica de las ciencias de la Tierra.

Pero además, posee otro tipo de información no tan evidente y sin embargo crucial, porque a través de esta representación el científico o quien confeccione el mapa puede hipotetizar.

Del mismo modo, podemos estar incorporando especulaciones de mayor alcance si, por ejemplo, representamos en un perfil estructuras que se infieren a partir de lo que aflora o de datos provenientes de otras fuentes como información sísmica (figura 1).

Un caso particular es cuando se hace un mapa acompañado de un texto explicativo. Tomamos como ejemplo el de Angelelli *et al.* (1970). Los autores, en la Introducción, aclaran que en la primera parte “se abordan conceptos e ideas”, además se reseñan ciclos tectónicos y magmáticos que afectan a nuestro territorio. Es decir, la primera parte tiene un importante contenido teórico. A continuación agregan: “La segunda parte, la descriptiva, ... contempla la situación de los elementos ...”. Es decir, se deja aclarado que la descripción es dato. Obviamente, al incorporar un texto extenso complementario hay muchas mayores posibilidades de incorporar teoría. Esta modalidad ya se había utilizado en el mapa geológico de la República Argentina de 1964, donde se explica, por ejemplo, que se opta por seleccionar cierta unidad geológica por el tipo de ambiente geológico que representa, lo que implica un fuerte contenido teórico (Tezón 1964). Dejaremos por el momento esta variedad y nos detendremos en el mapa y los perfiles como ilustraciones de contenido variado.

Ahora bien, si comparamos mapas o perfiles realizados a lo largo de la evolución

de la Geología veremos que cambia el contenido teórico (Lazarte 2013), no porque los geólogos de hace 40 años fueran menos “audaces” o supieran menos, sino que estaban constreñidos por el marco filosófico imperante, dominado por el positivismo (en sentido amplio); se tendía a representar “lo visible”, y se consideraba el teorizar sobre el mapa algo excesivo o peligrosamente cerca del límite entre lo que es o no es científico (Figuras 1 y 2). Este cambio en el modo de confeccionar mapas tendría que ver con el cambio de teoría, al adoptarse la teoría de la tectónica de placas.

En el trabajo de González Bonorino (1950) vemos que usa perfiles con diferentes grados de especulación; los más llamativos son los que este autor llama “perfiles interpretativos”. Los otros, a los que llama simplemente “perfiles”, contienen sólo datos; esto último es típico de ese momento de la historia de las ciencias geológicas.

En contraposición, y como ejemplo de hipótesis en planos y perfiles, en las figuras 2 y 3 se muestra cómo los científicos interpretan el diseño de fallas en el basamento hasta una profundidad de 6 km. Si bien puede haber apoyo de datos sísmicos, el autor siempre se encuentra en situación de decidir, por ejemplo, qué falla es más importante o más reciente para lo cual deberá teorizar. Lo mismo puede decirse sobre la figura 3, donde se realizan “bloques” esquemáticos simulando 3D, mostrando la evolución paleogeográfica de una formación geológica; o la fig. 2c, que contiene la reconstrucción de una historia de intrusión de un cuerpo ígneo. La constante es que se trata de mostrar evolución en el tiempo, mientras que la fig. 2a muestra correlación de unidades litológicas a partir de datos de perforaciones. En este caso, la hipótesis está en la interpolación de datos puntuales.

Esta tendencia, si bien frecuente, tiene notables excepciones. Por ejemplo, en el libro de Rudwick (2005), *Bursting the limits of time*, se reproduce, como figura 9.13, una de las “*theoretical sections*” de Webster, que data de 1816. En ella se observa claramente la reconstrucción de un perfil con plegamientos a partir de afloramientos saltuarios. Lo excepcional de esta ilustración es que es casi contemporánea de la primera sistematización de los conocimientos de la Geología como ciencia, expuestos en *Teoría de la Tierra*, de Hutton (Cailleux 1964), cuando aún era escasa la información del subsuelo. Es posible que en esa época aún no estuviera consolidada la contraposición hecho-teoría que imperaría años después.

Una salvedad que debe ser aclarada es el caso de mapas que se realizan con fines

específicos como aquellos destinados a estudios geotécnicos donde sí se requiere reproducir estrictamente lo aflorante con sus respectivas estructuras, ya que así lo requieren los fines a que está destinado el trabajo.

Grado de corroboración de las hipótesis en el mapa geológico

Cabe preguntarse por la naturaleza de las hipótesis que encontramos en un mapa. Si se mapea un cuerpo granítico o un cono aluvial o una unidad estratigráfica, el contenido teórico de ese mapa y que hace de ese mapeo un conjunto de hipótesis, es lo que el científico o el profesional quieren mostrar, es decir, pondrán en el mapa lo que consideren suficientemente testeado o, en términos de Popper, tenga un adecuado grado de corroboración. En general, si se vuelcan en el mapa rasgos o conceptos muy especulativos, se señalará en el texto o la leyenda este aspecto. A mayor grado de aplicación o aplicabilidad de las hipótesis, mayor grado de corroboración de lo que se muestra en el mapa. Es decir, el mapa geológico puede contener hipótesis de variado grado de corroboración. Esto nos lleva al siguiente punto: ¿habría diferencia si hacemos ciencia pura o ciencia aplicada?

Las diferencias entre Ciencia pura y Ciencia aplicada, reflejadas en un mapa

Un aspecto a considerar es el marco de la investigación en el que se realiza el mapa, es decir, si es de ciencia pura o básica, o bien, de ciencia aplicada o de tecnología.

En el primer caso el investigador difícilmente vea al mapa como producto final de su investigación ya que no es plausible que se le acepte para una publicación, tal como se vio en el caso que da inicio a esta contribución.

En el ámbito de la ciencia aplicada, hay un cambio de situación, puesto que el mapa puede ser una herramienta formidable para distintas actividades tales como el aprovechamiento de recursos naturales renovables o no, estudios del medio ambiente, etc.

Debemos destacar que el mapa sigue considerándose el mismo, si bien puede variar el tipo y volumen de información, pues básicamente permanece su estructura epistemológica. Es probable que el mapa destinado a ciencias aplicadas tenga mayor caudal de datos. Las nuevas técnicas y tecnologías permiten la realización de mapas

temáticos en diferentes “capas” y así integrar mayor caudal de información relevante que cuando se disponía únicamente del soporte de papel u otro tipo de mapa impreso.

Discusión: ¿qué se representa?, ¿el mapa puede constituir un plan de investigación en sí mismo?

Retomando el primer interrogante que dispara las reflexiones de esta contribución, nos preguntamos si el mapa geológico o de las ciencias de la Tierra en general puede ser un fin en sí mismo en un proyecto de investigación.

A la definición de mapa dada más arriba podríamos agregar un sentido epistémico: es representación de la base empírica, pero aún así esta definición no sería completa.

Pero si decimos que el mapa representa y, según Hacking (1996), “representar es acerca de teorías”, esto nos lleva a la cuestión de la realidad de esta representación. La cuestión sería hasta qué punto se representa la realidad. La realidad puede ser acerca de lo representado o acerca de la representación.

¿Es posible dudar de la realidad de un afloramiento rocoso? Por más que nos esforcemos en considerar aspectos subjetivos del observador, la roca se impone por sí misma. Difícilmente haya un científico que dude de su realidad, “sólida como una roca”; con más razón, cuando el geólogo sabe que esa roca tiene posiblemente una edad de millones de años, y se formó cuando aún estaba lejos el primer observador.

El panorama cambia si hablamos de la teoría contenida en el mapa. Habrá autores que se enfoquen en el carácter de representación que expone el mapa, en lo cambiante y fenomenológico que puede ser su contenido y podrá decirse que “expone lo que el geólogo ve o cree ver”. Sin embargo, hay aspectos que se resisten y si el científico se equivoca en alguna apreciación, por ejemplo si mapea un tipo rocoso como algo “que no es” (granito por granodiorita, digamos), surgirá tarde o temprano la refutación (porque es en definitiva hipótesis) y la corrección, ya que los caracteres de la roca siguen siendo los mismos. Se podrá objetar que estos caracteres forman parte de una convención (llamamos “granito” a una roca que tiene tales caracteres), pero el concepto de granito está y el geólogo sabe de qué se trata. La convención sólo llega para ordenar y dar claridad a la categoría.

Volviendo al mapa, en general se admite que un proyecto de investigación, sea para una tesis, una beca u otros fines, busca corroborar una o más hipótesis.

El mapa, en tanto expositor de hipótesis, podría tener dos caminos: exponer la tarea de campo más las especulaciones más o menos fundamentadas de los científicos. En este caso se cierra en sí mismo y queda como una herramienta para ser usada en trabajos posteriores.

La otra posibilidad es que, superada la etapa preliminar del apoyo de campo y una o más etapas de corroboración de hipótesis y teorías que se elaboran sobre un área determinada, se concluya la tarea de investigación con un mapa que nunca puede ser definitivo puesto que siempre se podrá retomar el tema y el área de trabajo, en cuyo caso el mapa servirá para exponer hipótesis con alto grado de corroboración y esto podría ser un fin en sí mismo, una tesis en el sentido gnoseológico del término. Pero he aquí que la comunidad científica, el árbitro de cualquier trabajo, podrá aceptar o no esto como una tesis bien planteada. No obstante, son los profesionales del ámbito académico los más proclives a incorporar teoría en sus representaciones, algo que se nota en su evolución en el tiempo. La aparición de perfiles o representaciones que incorporan mayor grado de hipótesis se relaciona al auge de los modelos.

De cualquier manera, el mapa crea contexto para continuar con las observaciones (Paschier y Exner 2010).

¿Qué objeciones se podrían suscitar? Por ejemplo, que alguien se pregunte ¿cómo sé que esta unidad que se mapea como “vulcanitas cretácicas” es realmente lo que dice ser? En un trabajo escrito, esto se subsana con citas a la bibliografía o, si es parte de los resultados del propio trabajo, constarían metodologías y los datos pertinentes. ¿Cómo se podría subsanar en un mapa este inconveniente? Las técnicas modernas permitirían crear capas con datos numéricos, diagramas, etc. Pero aún así, podría haber datos que resistan una representación factible de ser leída en la clave del mapa.

En conclusión, no se ven objeciones epistemológicas o científicas que impidan que el mapa sea un fin en sí mismo en la tarea de investigación pero, para ser aceptable, el proyecto debe ser presentado con la suficiente claridad y detalle. Aún así, estará sujeto al veredicto de la comunidad científica y dependerá de valores extra científicos y extra epistemológicos para lograr su aceptación como tesis. Este consenso o veredicto de la comunidad sólo es operativo desde el punto de vista de la sociología de la ciencia, pero no influye en el contenido científico de las hipótesis reflejadas en el mapa.

Epígrafes de figuras

Figuras 1a y 1b: se presentan perfiles descriptivos donde se muestra lo que aflora. No obstante, hay conceptos teóricos como “faja de milonitización”. Se conservaron las leyendas originales de las figuras.

Figura 1c: el autor aclara que el perfil es “interpretativo”. La interpretación (teoría) se muestra con líneas de puntos y prolongaciones de las líneas estructurales en el extremo NW (izquierda) del perfil. Idéntica aclaración que en 1a y 1b.

Figura 2a: ejemplo de interpretación a partir de un conjunto finito de datos. En este caso los datos están representados por líneas verticales que indican perforaciones que brindan información del terreno. Se conservaron las leyendas originales de las figuras.

Figura 2b: ejemplo de interpretación de estructuras (fallas) con indicación de sentido de movimientos relativos. La fuente de datos está en los afloramientos y la proveniente de estudios sísmicos. Esta también implicaría carga teórica. Idéntica aclaración que en 2a.

Figura 2c: Cuatro esquemas que muestran una secuencia que implica tiempo, el que se indica como t_0 , t_1 , t_2 y actualidad, y está referido al emplazamiento de un granito. Se observa fuerte contenido teórico simbolizado por flechas, puntos, etc. Idéntica aclaración que en 2a.

Figura 3: La leyenda de la figura original dice: “Modelo de evolución paleogeográfica de la Formación Cuesta del Viento”. Es una secuencia de ilustraciones en formato de bloques-diagrama (muestran perfiles y planos) donde se muestra la evolución paleogeográfica de una porción de la corteza terrestre. Notar que se presenta como “modelo”, es decir una representación que simplifica y explica procesos de la naturaleza. Se conservaron las leyendas originales de la figura.

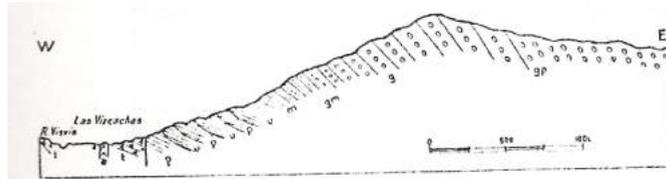


FIG. 2. — Perfil transversal de la faja de milonitización a la altura de Las Vizcachas. *gp*, granito porfiroide; *g*, orthoanis; *gm*, guais milonítico; *m*, milonita; *u*, ultramilonitas; *p*, pizarras; *t*, tabas y brechas volcánicas; *a*, dique andesítico. Los cambios en el grado de milonitización son absolutamente graduales. La parte inferior del perfil muestra una estructura de escamas imbricadas.

Figura 1a

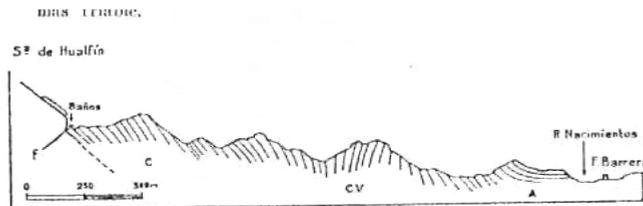


FIG. 4. — Perfil de la falda sudoriental de la sierra de Hualfín, en los Nacimientos de Abajo. *C*, Calchaquense; *CV*, arcuica y tufitas correlacionadas con el Complejo Volcánico; *A*, Araucanense.

Figura 1b

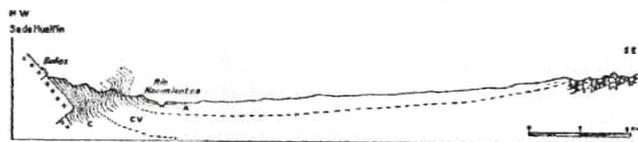


FIG. 7. — Perfil interpretativo de la falda sudoriental de la sierra de Hualfín, mostrando la estructura y la correlación de las capas terciarias con las del área de Agua de Dionisio. Referencias igual que en Fig. 4.

Figura 1c

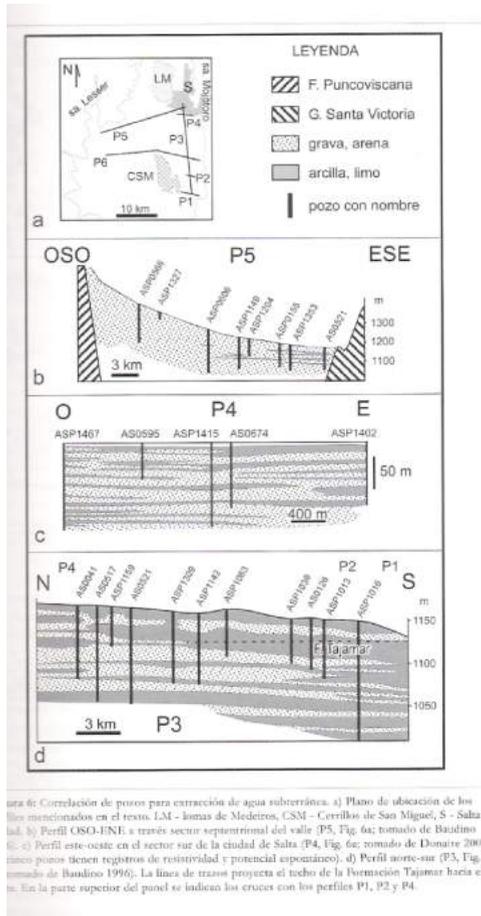


Figura 2a

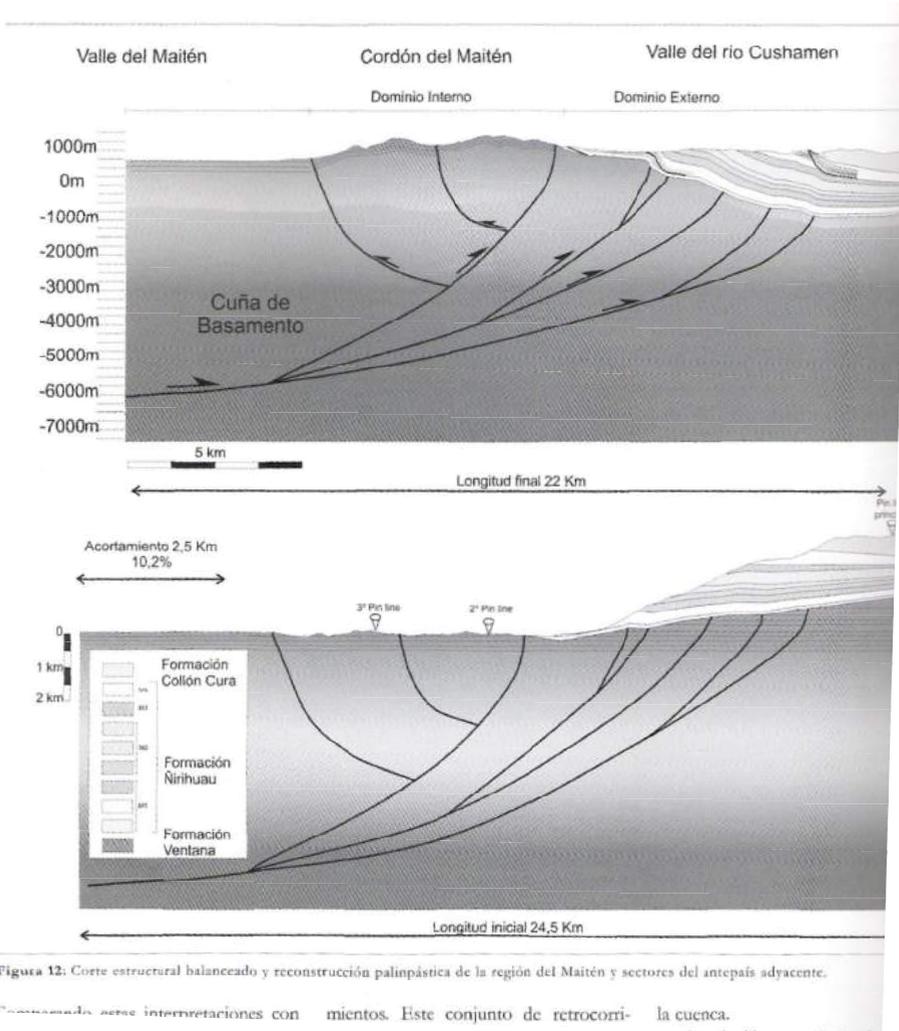


Figura 12: Corte estructural balanceado y reconstrucción palinopástica de la región del Maitén y sectores del antepaís adyacente.

Considerando estas interpretaciones con mientos. Este conjunto de retrocorri- la cuenca.

Figura 2b

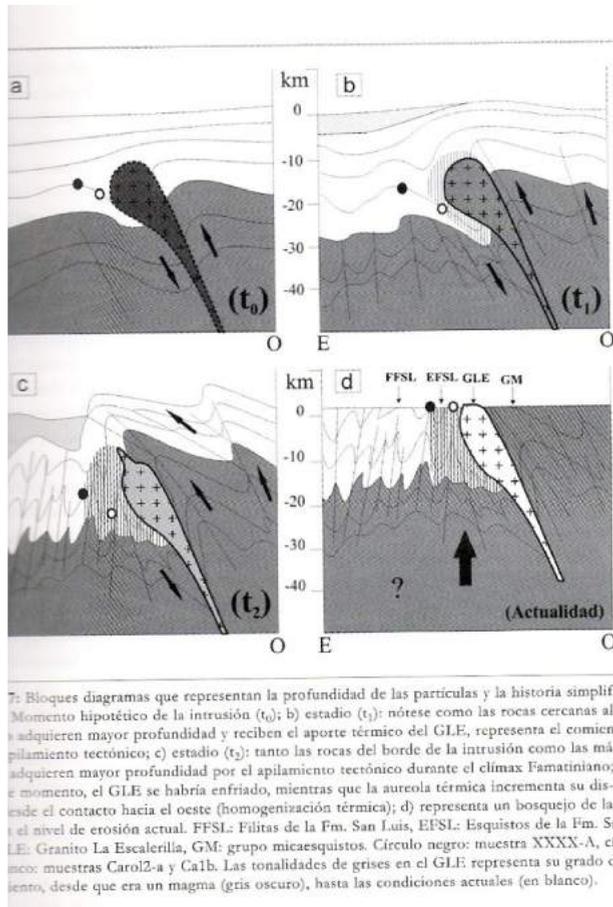


Figura 2c

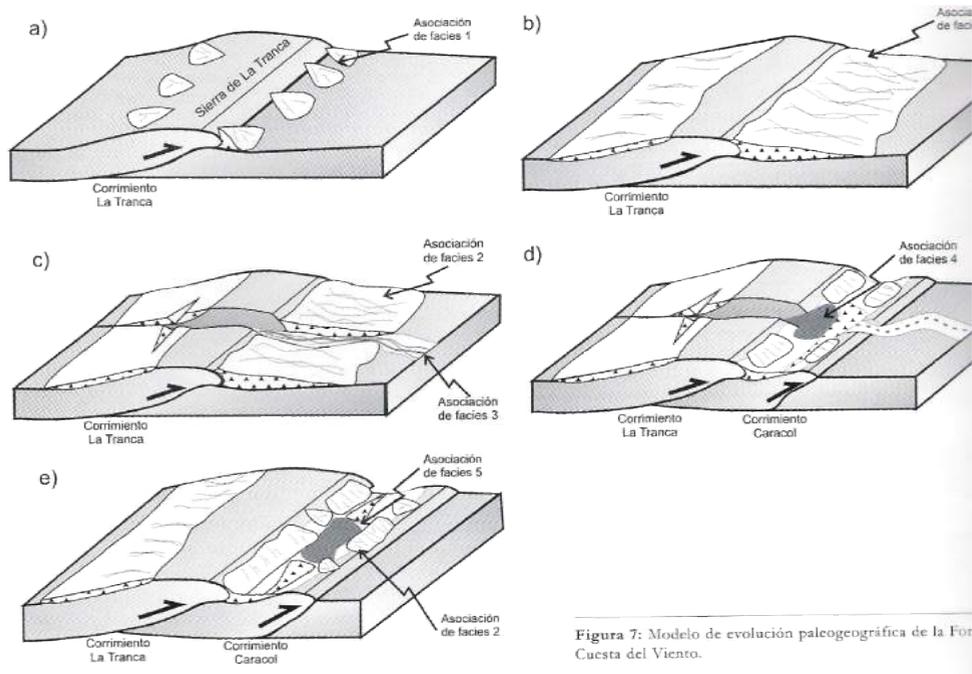


Figura 7: Modelo de evolución paleogeográfica de la Fort Cuesta del Viento.

Figura 3

Bibliografía

- Angelelli, V., Fernández Lima, J. C., Herrera, A. y Aristarain, L. (1970): *Descripción del mapa metalogenético de la República Argentina. Minerales metalíferos*. Buenos Aires: Dirección Nacional de Geología y Minería, Secretaría de Minería de la Nación. Anales 15, 172 pp.
- Cailleux, A. (1964): *Historia de la Geología*. Buenos Aires: EUDEBA, 104 pp.
- Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir*. Madrid: Paidós, 321 pp.
- Harrell, J. A. and Brown, V. M. (1992): "The world's oldest surviving geological map- the 1150 BC Turin papyrus from Egypt". *Journal of Geology*, v. 100, pp. 3-18.
- Klimovsky, G. (1995). *Las desventuras del conocimiento científico*. Buenos Aires: A-Z Editora, 418 pp.
- Paschier, C. W. and Exner, U. (2010): "Digital mapping in structural geology. Examples from Namibia and Greece". *Journal of Geological Society of India*, 75: 32-42.
- Rudwick, M. J. S. (2005): *Bursting the limits of time*. Chicago: The University of Chicago Press, 708 pp.
- Tezón, R. (1964): *Explicación del mapa geológico de la República Argentina, escala 1:5.000.000*. Buenos Aires: Ministerio de Economía de la Nación, Secretaría de Industria y Minería, 17 pp.