

POLÉMICA TRUNCA: LOS YACIMIENTOS MINERALES SEGÚN ERWIN KITTL

Ricardo Alejandro ERMILI¹ y Amancay Nancy MARTINEZ²

¹ Instituto de Enseñanza Superior N° 9-011 "Del Atuel", Dirección de Educación Superior, Dirección General de Escuelas de la Provincia de Mendoza, San Rafael, Mendoza. Email: richard.ermili@gmail.com

² Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, San Luis. Email: amartinez@unsl.edu.ar

RESUMEN

Mediante el análisis de fuentes documentales, se evoca una controversia sobre la modelización genética de los yacimientos minerales según la expuso el Dr. Erwin Kittl en su libro póstumo *Yacimientos minerales y su formación* de 1972. Este autor descreía de la relación genética de varios yacimientos minerales metalíferos con algún magma al cual supuestamente debían estar asociados, según lo sostenían Paul Niggli y otros renombrados geólogos de Europa occidental. La matriz de modelización propuesta por Kittl para la formación de yacimientos metalíferos puede sintetizarse en los siguientes pasos: i) liberación de elementos, ii) colección y concentración de elementos, iii) movilización de preconcentrados o yacimientos, y iv) transporte y depósito. Para comprender la escasa repercusión de esta obra, se examina el objeto de investigación desde dos perspectivas: la epistemológica, conforme a Juan Samaja, y la historia de la ciencia, según Martin Rudwick. En el primer caso se apela a la tipificación de la misma como perteneciente a la fase de exposición sistemática en el proceso de investigación científica y se examinan cuestiones que pudieron perjudicar la aceptación de la teoría de Kittl por parte de la comunidad geológica. Desde la historia de la ciencia se inscribe el caso en el marco de una lenta transición que va desde concepciones prominentemente magmatistas a otras que abrieron paso a metalogénesis sedimentarias. Para concluir, se aportan razones para reconocer en Erwin Kittl un precursor de la modelización de la formación de yacimientos en tanto aportó una matriz de donde se pueden derivar varios modelos vigentes, como los depósitos *sedex*.

Palabras clave: *Historia de la geología, controversia geológica, matrices de modelización de depósitos minerales, epistemología.*

ABSTRACT

Truncated controversy: ore deposits by Erwin Kittl.

Based on the analysis of different documentary sources, a controversy is evoked over genetic modeling of mineral deposits in relation to what Dr. Erwin Kittl explained in his posthumous book of 1972, *Yacimientos minerales y su formación*. This author disbelieved in the genetic link of various ore deposits to some magma, as proposed by Paul Niggli and other well known geologists in Western Europe. Kittl's model to the formation of metal deposits can be summarized in the following steps: i) release of elements, ii) collection and concentration of elements, iii) mobilization of preconcentrates or beds, and iv) transport and storage. In order of understand the limited impact of that work, the subject of investigation is examined according to two points of view: epistemology and science's history, in accordance with Juan Samaja and Martin Rudwick respectively. In the first perspective, the case is characterized as belonging to the phase of systematic presentation in the process of scientific research, and we examine some issues that could affect the acceptance of the theory of Kittl by the geological community. In the second perspective, the case is registered in the frame of the slow transition between prominent magmatic conceptions and others which opened a path to sedimentary metallic ore deposit genesis. Finally some reasons are given to recognize Erwin Kittl as a forerunner in the formation of reservoir modeling as he proposed a matrix from where several present models, such as *sedex* deposits, can be derived.

Keywords: *History of geology, geologic controversy, ore deposit modeling, epistemology.*

HISTORIA, EPISTEMOLOGÍA Y EDUCACIÓN

La tradición es un criterio objetivo, aun-

que no el único, para decidir qué es lo pertinente en cada disciplina. Los educadores en geociencias tienen una tradición y en ella se muestran importantes esfuerzos en señalar los beneficios que reporta

la integración de la historia y la epistemología como aportes a la didáctica de las ciencias. La producción de este tipo de conocimientos hunde sus raíces en el pensamiento de Gaston Bachelard (1992).

Sobre estas bases se han desarrollado muchos aportes. Así, por ejemplo, Cortés García y Martínez Peña (1999: 143-144), recopilando numerosos antecedentes y fundamentos acerca del valor de las controversias científicas en la enseñanza de las ciencias, suscribieron las ideas de Derek Hodson indicando que el estudio de casos históricos constituye una buena herramienta para evidenciar la influencia que la estructura sociocultural ejerce sobre la ciencia para humanizarla y acercarla al alumno. Si las teorías científicas han surgido como respuestas no arbitrarias a problemas formulados frente a los modelos teóricos vigentes, Pedrinaci señaló que “ofrecer sólo las respuestas que hasta ahora da la geología, ocultando los problemas para cuya solución se generaron, supone una importante mutilación de ese conocimiento, dificulta su comprensión y la valoración de las potencialidades que puede encerrar una teoría, así como sus limitaciones” (Pedrinaci 1996: 2). Por su parte, Sequeiros *et al.* (1997: 11) planteaban que “el uso de la Historia de las Ciencias y de la Geología en particular ayuda al profesorado a conocer la construcción histórica de los conceptos geológicos como de los obstáculos que encontraron muchos de estos conceptos para integrar el conocimiento compartido por la comunidad científica”. El rescate de las historias de esos procesos científicos es tarea del educador en geociencias. La presente contribución referida a las ideas de Erwin Kittl se inscribe en estos postulados y expresa el estado de nuestros hallazgos.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta contribución es evocar la publicación, acaecida en el año 1972, del libro *Yacimientos minerales y su formación*, libro póstumo del geólogo Erwin Kittl. Recordar este evento, que de por sí nos resulta de interés, es requisito necesario para focalizar la atención en lo que en realidad será el núcleo de este escrito, a saber: a) examinar algunas circunstancias y establecer algunas hipótesis que permitan comprender la muy escasa repercusión en la comunidad geológica de una obra de estas características, b) contex-

tualizar la polémica particular de forma tal que sea posible inscribirla en un escenario mayor. Para ello nos hemos valido metodológicamente del análisis de fuentes documentales, que fueron interpretadas a la luz de un enfoque epistemológico y otro perteneciente a la historia de la ciencia.

Yacimientos minerales y su formación fue publicado paralelamente por dos vías: como volumen extraordinario de la *Revista Minera. Geología y Mineralogía* (Kittl 1972a) y como libro -manual de estudio o tratado- de la Editorial Ciencia y Debate (Kittl 1972b). A partir de estos elementos, conjugados con el contenido de las ideas de Kittl, intentaremos responder a la siguiente pregunta: ¿Por qué fue ignorada la obra *Yacimientos minerales y su formación* de Erwin Kittl? Esperamos que responderla signifiquen sendas contribuciones al conocimiento de: i) la historia de la ciencia como tal, ii) la epistemología aplicada a la didáctica de las geociencias, y iii) algunas variables que condicionan o no la circulación de determinados textos en la educación superior.

RESEÑA SOBRE EL AUTOR

Erwin Kittl nació en 1890 en Austria y falleció en 1983 en la Argentina (Volkheimer 1984). Kittl fundó en 1929 la *Revista Minera. Geología y Mineralogía*, una de las primeras revistas de geociencias de la Argentina, órgano de la Sociedad Argentina de Minería y Geología que él mismo dirigió hasta 1980. En 1935 recibió el Premio E. Holmberg por su trabajo *Los yacimientos auríferos de la República Argentina, su génesis y posición geológica* (Kittl 1931, 1932). Fue profesor en las universidades de Buenos Aires, de Cuyo, del Litoral y de San Juan, y publicó cerca de ciento cincuenta artículos científicos y técnicos en diversos medios científicos nacionales y extranjeros desde 1912 hasta 1979, la mayoría de los cuales versaba en mineralogía y yacimientos minerales. Sus trabajos publicados sobre yacimientos, continúan siendo citados en la actualidad (Putz *et al.* 2009). Según comunicación personal de

los asistentes al *Segundo Congreso Argentino de Historia de la Geología* realizado en Buenos Aires en agosto de 2010, la Asociación Geológica Argentina lo ha distinguido como uno de los veinte maestros de la Geología Argentina.

LOS TÉRMINOS DE UNA CONTROVERSIA

Kittl publicó en 1972, *Yacimientos minerales y su formación*, obra que había terminado de escribir en 1968 y en la que sintetizó un conjunto de ideas que por entonces ya eran el resultado de la maduración de trabajos e investigaciones de larga data, trasladando a nuestro país una controversia que para los depósitos de metales-base de Alemania se había particularmente acentuado desde la década de 1920 (Park y MacDiarmid 1970). El objeto principal de la obra era aclarar las relaciones genéticas existentes entre los yacimientos minerales, sobre todos los metalíferos, y las rocas que los incluyen o acompañan, bajo la convicción de que muchos yacimientos minerales a los que se les consideraba un origen magmático, no lo eran. Para Kittl, acordando con Vladi Marmo, la dificultad, advertida más tarde por otros autores, consistía en considerar a un yacimiento ubicado cerca de un granito como magmático cuando el granito no contenía el metal del yacimiento. Sólo la proximidad entre el yacimiento y la roca ígnea habría inducido a creer, según Kittl, que existía esta relación genética (Kittl 1972b: 7).

La forma de presentar sus objeciones al modelo magmatista hegemónico de formación de yacimientos minerales y el estilo que tenía Kittl para exponer sus ideas fueron frontales y controversiales. Creemos de interés ilustrar este aspecto reproduciendo algunos párrafos escogidos. Kittl señaló el peso que tenían las “autoridades” en la construcción de “mitos geológicos”: “En el transcurso de los tiempos se han desarrollado muchas teorías que en la actualidad no pueden resistir a una crítica imparcial. Estoy convencido de que será necesario eliminar o modificar muchos conceptos anticuados sobre la

formación de yacimientos, aunque muchos científicos, y entre ellos las llamadas "autoridades" no deseen cambiar o abandonar las ideas sostenidas durante muchos años y consideradas prácticamente como axiomas (...) Queremos investigar ante todo ciertos mitos geológicos y opiniones arraigadas que se mantienen justamente debido a la "autoridad" de sus autores o adictos. Por otra parte las observaciones cada día más exactas y fidedignas realizadas por muchos científicos y técnicos permiten una interpretación que está de acuerdo con ideas nuevas que corresponden más a la realidad y no se basan solamente en suposiciones" (Kittl 1972b: 1-2).

Según Kittl, un eventual "magma invisible" sería el medio usado para explicar la génesis de algunos depósitos: "...cuando no se ha podido encontrar una roca ígnea como "portadora", considerada como generadora de yacimientos metalíferos, se ha inventado un magma invisible en la profundidad, pero necesario para mantener el sentido amplio de mito sobre el origen magmático de ciertos yacimientos" (Kittl 1972b: 6).

Teorías "anticuadas e insostenibles" serían, según Kittl, las que se tenían en cuenta para la evaluación genética de los yacimientos metalíferos: "las consideraciones de Marmo coinciden completamente con mis ideas publicadas desde el año 1928. Más adelante muchos autores comenzaron a hablar de regeneraciones y movilizaciones, términos conocidos y usados en petrología pero en los trabajos sobre yacimientos encontraron resistencia y hasta oposición abierta para no abandonar las viejas teorías, ya anticuadas e insostenibles, sobre la relación entre ciertos yacimientos metalíferos y su "roca portadora" (Kittl 1972b: 8).

Kittl señaló también que "la suposición de que los elementos rastos se separan, como sucede con las impurezas en procesos metalúrgicos, de los elementos frecuentes sin intervención de factores especiales, es errónea (Cissarz)" (Kittl 1972b: 14-15), acotando luego "que los minerales metalíferos se enriquecen... en las rocas de las cuales se separaban las soluciones de álcalis, es una idea absurda, sacada de circunstancias locales e interpretada en forma rara" (Kittl 1972b: 65).

Estas citas, además de introducirnos en el contenido del texto, exhiben elementos característicos de las obras que -en el pro-

ceso de la investigación científica- pertenecen a la nominada fase de exposición sistemática. En ésta se da: a) un marco retórico con adversarios; b) una precisa elección de las tesis adversarias que se confrontarán, tal como el mito del magma invisible en profundidad para sostener el origen magmático de ciertos yacimientos; y c) la manifiesta intención de cuestionar y transformar la cultura científica vigente en la materia. Sobre este punto nos referiremos más adelante para el análisis del caso.

ADVERSARIOS BIEN DEFINIDOS

Los postulados de Erwin Kittl -y como luego veremos, también de otros- focalizaron específicamente su disidencia con la idea sustentada por la mayoría de los especialistas, quienes sostenían que los magmas eran portadores de los elementos escasos en la corteza terrestre, que se diferenciaban y depositaban especialmente en las fases más volátiles características de las últimas fases magmáticas, formando los yacimientos minerales concebidos como endógenos. En este sentido, aunque valorando explícitamente aportes realizados en geoquímica, cristalografía y estudios de fases, según el caso, Kittl se oponía, implícita o explícitamente, a las interpretaciones de los autores más reconocidos de la primera mitad del siglo XX en occidente. Aunque no dedica críticas específicas a Waldemar Lindgren, debemos deducir que necesariamente forma parte de sus adversarios toda vez que éste fue el autor de la primera clasificación genética de amplia aceptación mundial presentada en la obra clásica *Mineral Deposits* (Lindgren 1919). De Lindgren en adelante, las críticas están destinadas a todos los autores que, aunque con fundadas modificaciones y correcciones, se basaron en este modelo.

Pero a quien menciona explícitamente como destinatario de sus críticas, como autor representativo de las interpretaciones metalogenéticas que criticaba, es al suizo Paul Niggli. Dice Kittl: "Las interpretacio-

nes resultaron a veces erróneas cuando seguían, por ejemplo, las teorías de Niggli que consideraba la mayor parte de los yacimientos metalíferos como magmáticos" (Kittl 1972b: 6).

Niggli se destacó especialmente por sus aportes a la cristalografía, la mineralogía y la petrología ígnea y metamórfica, sin embargo, también dedicó parte de su prolífica producción académica al conocimiento de los depósitos minerales. En relación con este último campo, publicó en 1925 una obra de enorme influencia, *Versuch einer natürlichen Klassifikation der im weiteren Sinne magmatischen Lagerstätten*, traducida años más tarde al inglés (Niggli 1929), por lo que fue internacionalmente citado y utilizado. El prestigio de Niggli llegó a tal que fue premiado con la *Roebling Medal* de la *Mineralogical Society of America* en 1948, y en 1976, en su homenaje, se impuso el nombre de Dorsal Niggli a un rasgo topográfico en el *Oceanus Procellarum* de la Luna.

Curiosamente, a pesar de mencionarlo, Kittl no citó obra alguna de Niggli, pero consideramos que es plausible creer que haya conocido su último libro, *Rocks and Mineral Deposits*, que terminara de escribir un año antes de su muerte, en 1952 (Niggli 1954), quien tituló el capítulo 14 de dicha obra como "Las rocas endógenas y depósitos minerales?".

BASES DE UNA MATRIZ DE MODELIZACIÓN DE YACIMIENTOS

Para Kittl, la disposición de minerales metalíferos en zonas -halo- alrededor de un supuesto magma madre merecía estudios detenidos. Conforme a observaciones de campo, los minerales más estables a mayor temperatura no siempre se depositan cerca de la roca ígnea o del contacto entre ésta y las rocas preexistentes, mientras que los minerales menos estables o más volátiles lo hacen más lejos. Así, se establecieron sucesiones de mineralización en orden decreciente: estaño, wolframio, bismuto, cobre, cinc, plomo, arsénico, antimonio, mercurio. Según Kittl, esta teoría, aparentemente lógica, nunca pudo ser

comprobada, habiéndose constatado grandes diferencias entre ella y las observaciones efectivamente realizadas, lo que condujo a hipótesis auxiliares.

En su modelización, Kittl sostuvo que, en términos generales, las rocas arcaicas *-sensu lato-* habrían sido desintegradas y descompuestas con la liberación simultánea de elementos y compuestos. Estos habrían sido acopiados y preconcentrados, en una acumulación sedimentaria que se habría diferenciado tanto por mecanismos gravitatorios como químicos. Esta etapa fue definida como de constitución de preconcentraciones y en ellas se encontraría la materia prima de los futuros yacimientos, ya que posteriormente las mismas serían movilizadas por procesos geológicos tales como ascensos magmáticos u otros que las alojarían en las rocas en las que hoy las encontramos.

Los pasos básicos que planteó Kittl y sobre los cuales derivó sus consideraciones a yacimientos de diversa índole, fueron los siguientes:

1) Liberación de elementos. En las etapas tempranas de formación y consolidación de la corteza terrestre los elementos raros y traza no habrían estado libres, sino en estado disperso, fuera como impurezas o reemplazando a los elementos principales en redes cristalinas. Al discutir condiciones en las que se habrían producido los procesos que pueden causar la liberación de elementos, Kittl postuló que sería mucho más factible mediante procesos sedimentarios, en particular a través de la desintegración y descomposición de las rocas por factores mecánicos y químicos, que la que se podría producir en las fases líquido-magmática, pegmatítica, e hidrotermal, y aún en el metamorfismo progresivo. Estos procesos de liberación habrían actuado con mayor intensidad en el Precámbrico (Kittl 1972b: 14-25) (Figs. 1a, b).

2) Colección y concentración de elementos. Definió por colector a todo proceso que reúne elementos dispersos, especialmente raros y traza, además de minerales. Como uno de los puntos centrales de su teoría, planteó que los procesos de recole-

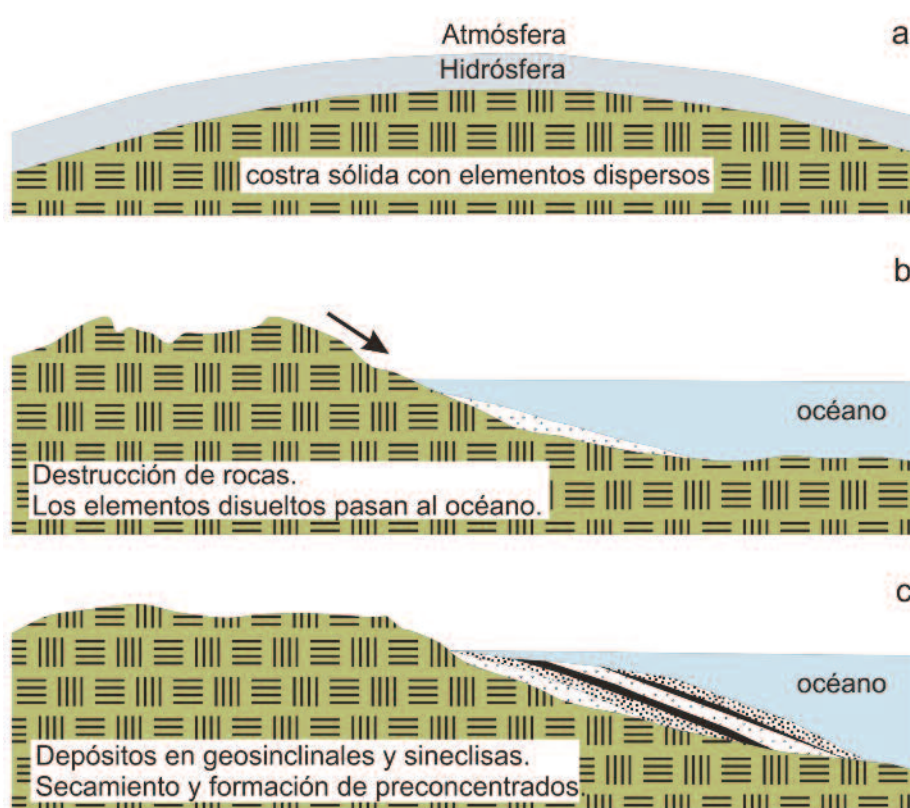


Figura 1: a) Representa la distribución de los elementos dispersos en la costra sólida. b): Destrucción y desintegración de las rocas, disolución de las rocas, disolución de los elementos en el océano. c) Depósitos en geosinclinales, secamiento de las capas sedimentarias y de las preconcentraciones. Adaptado de Kittl (1972b: 78).

ción por procesos sedimentarios serían responsables de la mayoría de los yacimientos metalíferos. Dividió a estos procesos en: a) mecánicos, b) químicos y c) químico-mecánicos. Para los procesos de concentración y precipitación expuso seis mecanismos posibles, proporcionando ejemplos de yacimientos formados en tales circunstancias en varios lugares del mundo (Kittl 1972b: 26-52) (Figs. 1c y 2).

3) Movilización de preconcentrados o yacimientos. Por cambios de temperatura, presión, factores químicos o cambio de estado de agregación, un compuesto, elemento o mineral podría fundirse, disolverse o desplazarse, generalmente con cambio parcial o total de su composición y estabilidad. En los procesos de movilización de las preconcentraciones actuarían los procesos volcánicos, el metamorfismo -progresivo-, la anatexia, pegmatitas o líquidos hidrotermales, entre otros, incluyendo las aguas superficiales (Kittl 1972b:

52-68) (Figs. 3 y 4).

4) Transporte y depósito. Tras la movilización de elementos, compuestos o minerales, se produciría un desplazamiento o un reordenamiento a causa de reacciones y las sustancias podrían migrar hasta su emplazamiento actual. La forma del yacimiento dependería de la estructura y la textura de las rocas en las que se emplazan, de que las soluciones generadoras fueran ascendentes o descendentes, de las características del magma que incluye a la concentración y de su recorrido, entre otros factores (Kittl 1972b: 68-76) (Figs. 5 y 6).

A partir de esta matriz base para la modelización, Kittl desarrolló algunos modelos específicos para yacimientos de diversos elementos y variados contextos estructurales cuya evocación excede los objetivos de este trabajo.

Tras exponer la sucesión de las fases de formación de yacimientos, Kittl conside-

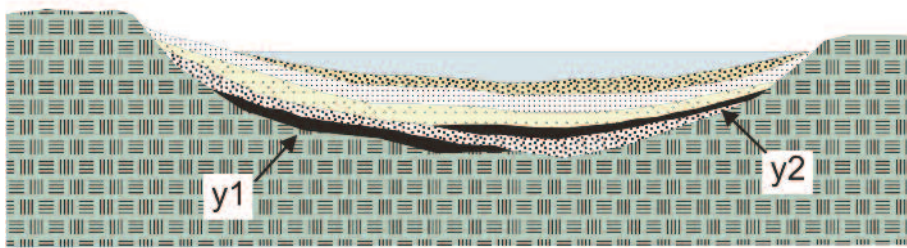


Figura 2: Depósitos sedimentarios en parageosinclinales y sineclisas, secamiento de la cubeta. Recolección de rocas de distintos granos y caracteres, formación de preconcentraciones o yacimientos. Y₁: preconcentración o yacimiento inferior; Y₂: preconcentración o yacimiento superior. Adaptado de Kittl (1972b: 79).

ro el tiempo y momento geológico en el que habrían sucedido: “*Algunos procesos son relativamente recientes, pero el comienzo de la liberación de elementos, que condujo a la formación de preconcentrados, puede pertenecer a las eras arcaica y precámbricas inferiores, probablemente cuando se formaron los océanos y continentes. Las condiciones de aquellos tiempos probablemente eran más favorables para la destrucción de las rocas y la liberación de los elementos que las posteriores. Las distintas fases de formación se extendieron sobre largos tiempos, se repitieron, modificaron y transformaron los yacimientos, y condujeron finalmente a las muy variadas formas y contenidos de ellos*” (Kittl 1972b: 85). Kittl argumentó que sus ideas se sustentaban en numerosas observaciones de campo a escala macro-regional. Entre éstas destacó las realizadas en los yacimientos de estaño y de wolframio de los Andes y de las Sierras Pampeanas de Argentina, alineados de norte a sur, formando el denominado distrito metalífero estannífero cordillerano de Sudamérica. Las rocas movilizadoras a lo largo de toda la provincia metalífera son de edad y de carácter muy diferentes: se trata de rocas intrusivas o efusivas que no contenían estaño o wolframio, por lo que no se trataría de la separación de los metales de una roca ígnea, indefinida y siempre variada. Una situación similar refirió, citando a Lombard, en relación con la alineación de los depósitos de estaño en África, también con dirección norte-sur, en la que los yacimientos se encuentran en o cerca de rocas ígneas de distinta edad y composición algo diferente (Kittl 1972b: 87). Otros depósitos minerales que avalarían

su matriz de modelización por el alineamiento de los yacimientos serían los siguientes: a) los de estaño con cierta disposición alineada en el sur de China, la península Malaya, Banka y Billiton; b) los yacimientos cupríferos de Perú, Chile y Argentina; y c) los yacimientos de plomo, cinc y barita de Túnez referidos por Nicolini (Kittl 1972b: 87). Kittl concluyó que “*los distritos (provincias) metalogenéticos eran probablemente regeneraciones de preconcentraciones extendidas sobre largos trechos geosinclinales y movilizadas por rocas ígneas de distinta edad o por el metamorfismo progresivo*” (Kittl 1972b: 88). Por su parte, los ciclos metalogenéticos estarían representados por los yacimientos metalíferos que se formaron en los mismos tiempos geológicos, relacionando por lo tanto a través de este concepto a los yacimientos con la edad o acontecimientos tectónicos (Kittl 1972b: 88).

En la segunda parte de la obra, en treinta y siete capítulos -páginas 99 a 233-, Kittl examinó distintos yacimientos minerales. Kittl aplicó su matriz de modelización en la descripción particular de cada uno, pero excluyó entre otros al diamante, platino y cromo. Sobre este último indicó que “*es uno de los pocos ejemplos de segregación magmática*” (Kittl 1972b: 117).

APROXIMACIONES DESDE LA EPISTEMOLOGÍA

En torno a *Yacimientos minerales y su formación* convergen algunos aspectos destacables que deben ser señalados. El primero, de carácter general, es que en el proceso

de la ciencia, y considerando la cantidad de publicaciones, aquellas que pertenecen a lo que Samaja (1993) denominó fase de exposición sistemática, en formato de tratado o manual, son escasas. Y entre estas, menos frecuentes aún son aquellas que se presentan para cuestionar y transformar un cuerpo teórico. Otra singularidad es el contraste entre la semblanza académica del autor y el hecho de que su tratado sobre la génesis de los yacimientos minerales prácticamente no circuló como texto para la enseñanza en las universidades argentinas. En esta sección se examinarán las circunstancias con herramientas de interpretación provenientes de la epistemología. Nos es necesario por lo tanto hacer una somera exposición previa de los fundamentos de los que nos valemos para analizar una polémica que se propuso pero, aparentemente, según veremos en la siguiente sección, no se consumó.

Se ha analizado y sistematizado el proceso de investigación científica, planteando que en el mismo se pueden reconocer cuatro instancias: 1) de validación conceptual, 2) validación empírica, 3) validación operativa, y 4) validación expositiva (Samaja 1993: 215-219). No es posible en este trabajo desarrollar el contenido de estas instancias, pero por razones didácticas nos permitiremos decir que en el proceso de la ciencia es tan vital la instancia de validación operativa, en la que se hace la recolección, registro, control y procesamiento de la información, entre otras actividades más evidentes y reconocidas por los científicos, como la de validación expositiva, sobre la que nos ocuparemos. Esta última instancia reconoce dos fases, la de elaboración de informes parciales y la de exposición sistemática. La fase de exposición sistemática es de un nivel de integración y complejidad superior al de la elaboración de informes parciales porque en ella se integran, sintetizan y presentan los resultados obtenidos tal como el científico piensa que ellos se deberían incorporar al cuerpo teórico principal del cual se ha partido. Esta fase de exposición sistemática incluye tanto a los trata-

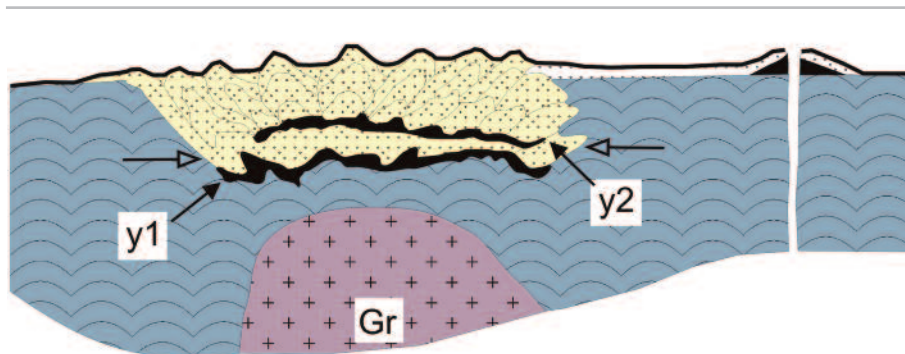


Figura 3: Plegamiento y hundimiento de los depósitos geosinclinales. Y₁: preconcentración inferior; Y₂: preconcentración superior; Gr: zona de granitización. Adaptado de Kittl (1972b: 80 supra).

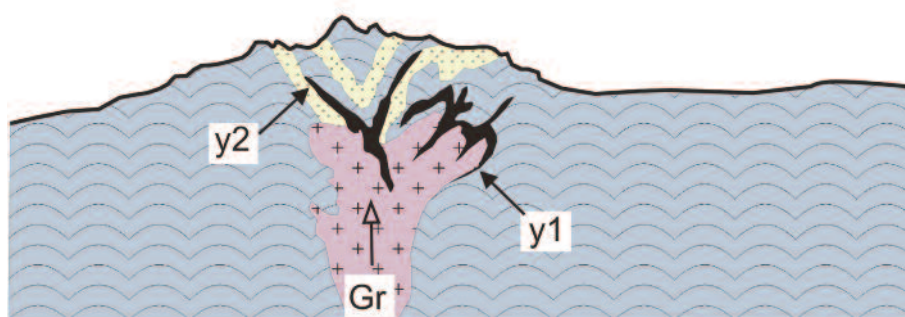


Figura 4: Ascensión del magma granítico formado por granitización. Las intrusiones graníticas entran en contacto con las preconcentraciones, las movilizan y desplazan. Gr: cuerpos de granito ascendente; Y₁: preconcentración o yacimiento inferior; Y₂: preconcentración o yacimiento superior. Adaptado de Kittl (1972b: 80 infra).

dos como a las publicaciones que un investigador puede emplear para dar a conocer su pensamiento de síntesis. Según Samaja, la fase de exposición sistemática incluye varios momentos entre los que destacó los de: i) relevamiento de adversarios y jueces -marco retórico-, ii) elección de tesis adversarias a confrontar -preparación de la tesis-, y iii) producción del discurso científico propiamente dicho. Añade Samaja que esta producción transcurre en un proceso de preparación que reconoce la explotación de los lugares comunes, la trama lógica y la teatralidad discursiva. Samaja vinculó a la instancia de validación expositiva con las hipótesis retóricas. Con ello quiso significar que cuando el investigador se dispone a exponer los resultados de su investigación, se encuentra en medio de ese campo normativo que rige la actividad científica cuando ella está dispuesta a lograr la persuasión, la adhesión o el reconoci-

miento. En este punto la actividad del investigador científico ocupado en la exposición sistemática de los resultados de su tarea, se regiría por los temas tratados por la Pragmática o lo que otros autores han designado como la Retórica. Transcribiremos un párrafo de Juan Samaja que iluminará lo que consideramos que es la primera de las circunstancias que rodean el oscurecimiento de la obra que nos ocupa, para los cual sugerimos al lector que focalice su atención en el concepto de lugares comunes: “*Toda investigación científica transcurre en un cierto ambiente cultural y en él cobra sentido y relieve. Su producto apuntará a preservar esa cultura, a ratificarla o a cuestionarla y transformarla. Pero incluso en este segundo caso deberá poder fundamentarse con respecto a algunos valores primordiales de esa cultura. Esos valores son -para decirlo con los términos de la retórica aristotélica- “lugares comunes”, sobre los que se construye la argumentación. Estas hipótesis retóricas se vin-*

culan con lo que Kubn concibe con el tercer componente de las matrices disciplinarias, a saber, los valores. Estos valores funcionan en todo momento de la investigación, pero en el momento de la exposición, ellos funcionan como la principal guía para optar entre una u otra estrategia expositiva (...) De todas las hipótesis, éstas, quizá, sean las menos notorias: solo las tornan visibles los periodos de crisis o los conflictos que surgen al momento de tener que escoger entre formas incompatibles de practicar su disciplina” (Samaja 1993: 225-226).

Con esta base teórica, proponemos que parte de la frustración en el reconocimiento de la obra se asocia a interrupciones en el terreno de los lugares comunes, en particular porque Kittl no tuvo en cuenta los nuevos valores por entonces emergentes de la comunidad científica. En efecto, aunque el libro se terminó de imprimir en diciembre de 1972, según Kittl, la redacción fue terminada en 1968. Muy poco tiempo antes, en 1967, en un célebre discurso pronunciado ante una convención de geólogos, J. Tuzo Wilson había declarado que la tectónica de placas y la expansión del fondo marino podían ser de tanta importancia para la geología, como el descubrimiento de la circulación de la sangre de Harvey lo fue para la fisiología o la evolución para la biología. En los cuatro años que mediaron entre la culminación de la redacción y la publicación propiamente dicha comenzaba a cambiar radicalmente el escenario cultural, o sea, los lugares comunes, de los interlocutores de la comunidad geológica. Kittl publicó en 1972 una obra que utilizaba un lenguaje que -además de polemizar con los modelos de formación de yacimientos minerales más difundidos y los autores más reconocidos- no tuvo en cuenta uno de los cambios más drásticos acaecidos en la historia de la geología contemporánea. El tiempo transcurrido entre los años 1968, en que terminó de escribir su obra, y 1972, en que la publicó, es entonces significativo. Por otra parte, los autores citados en su apoyo, como Lombard, Marmo y Nicolini, entre otros, sin perjuicio de su idoneidad y la calidad de sus producciones, no parecen haber

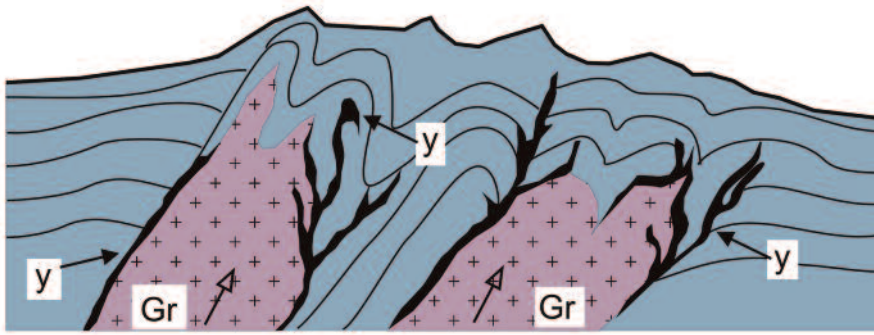


Figura 5: Ascensión asimétrica del magma, movilización, migración y redépósito selectivo de yacimientos. Gr: granito; Y: yacimientos. Adaptado de Kittl (1972b: 81 supra).

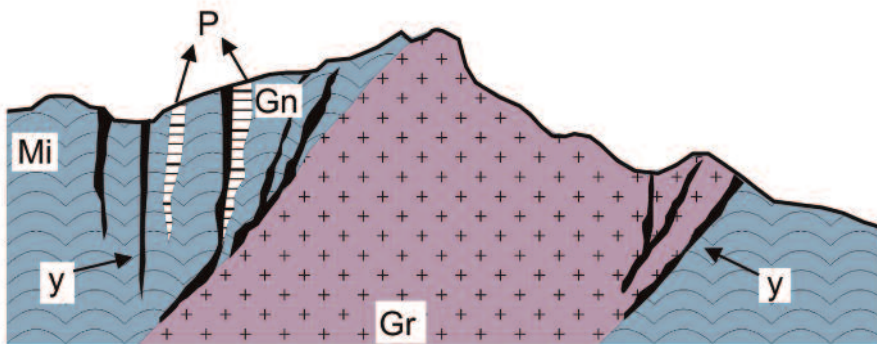


Figura 6: Intrusión de roca granítica acompañada por yacimientos metalíferos regenerados. La denudación removió la parte superior del cuerpo granítico y una parte de los yacimientos. Gr: roca granítica. Mi: micaesquistos; Gn: gneises; Y: yacimientos metalíferos movilizados y redepositados cerca del granito; P: pegmatitas. Esquema de afloramientos actuales. (Modificado de Kittl 1972b: 81 infra).

tenido el mismo reconocimiento que aquellos cuyas interpretaciones criticó, casi todos autores de tratados geológicos muy difundidos a través de prestigiosas editoriales.

Precisamente otra situación que parece constituir una ruptura con los lugares comunes de la comunidad científica en la que pretendió ventilar sus ideas, son los sellos editoriales a través de los que se expresó. Por un lado, la *Revista Minera. Geología y Mineralogía* de la Sociedad Argentina de Minería y Geología que dirigía Kittl era en 1972 un medio de comunicación científica de escasa difusión. Del mismo modo, la editorial Ciencia y Debate, donde publicó el manual -y en idioma castellano-, no estaba jerarquizada como espacio para presentar una contienda científica a nivel internacional. La obra que examinamos presenta también un sistema de citas bibliográficas poco con-

venencial y con deficiencias y omisiones notables. En la página 241 hay un “índice de autores” en el que se señala solamente el nombre de los mismos y todas las páginas del libro donde éstos han sido citados; la primera de ellas es donde, al pie de página, se encuentra la referencia propiamente dicha. En este arreglo hay, sin embargo, errores notables, por ejemplo en la página 7, donde, de los nueve autores citados, se omiten las referencias de cinco de ellos -Bederke, Fischer, Rahmdor, Schneiderhöhm y Schrol-, en tanto que, la cita de uno de ellos -Routhier- solo informa “Chronique des mines; N° 363”, omitiendo el título de la obra y su año de publicación. Algunas de estas referencias pueden ser halladas en Kittl (1974: 22-28), de donde inferimos que muy probablemente otros ejemplares de la *Revista Minera. Geología y Mineralogía* podrían contener otras de las citas omitidas.

Pero como anticipábamos más arriba, mayor sorpresa produce advertir que habiendo criticado explícitamente las interpretaciones de Paul Niggli, no hizo referencia bibliográfica alguna al respecto.

Un segundo aspecto que opaca la obra, aunque parezca trivial, se vincula a la impresión en sí. Se puede constatar que, en las hojas 22 y 23 de la versión libro-manual de la editorial Ciencia y Debate, hay un párrafo ininteligible, por intercalación errónea de fragmentos. En rigor, las piezas del rompecabezas están todas, aunque eso no es evidente de forma inmediata para el lector (Cuadro 1). Algo similar ocurre en las páginas 71 a 73, en la sección 4 referida a “*Movilización de preconcentrados de yacimientos*” (Cuadro 2). Estas erratas de edición e impresión desalientan a proseguir la lectura, y eso es una circunstancia desafortunada especialmente cuando se desea persuadir a sus interlocutores de la superioridad de una matriz de modelización alternativa referida a la formación de yacimientos minerales. Podría decirse, en forma metafórica, que si existiera un guión para aquella teatralidad discursiva que señalaba Samaja, éste ya estaba fatalmente fallado en sus primeras páginas.

APROXIMACIONES DESDE LA HISTORIA DE LA GEOLOGÍA

Cambiamos la escala de análisis. La propuesta teórico-metodológica para la historia de la ciencia que planteó Rudwick establece que “*lo que se necesita para un entendimiento más completo de los procesos mediante los cuales se modela el conocimiento científico (...) son estudios empíricos que no se focalicen en un científico en particular, sino en un problema específico que plantearon juntos un grupo de individuos en una red de trabajo interactiva de intercambio. Tales estudios necesitan prestar atención al rol de todos los participantes, aunque sus contribuciones parezcan ser menores; seguir, con igual atención, la dinámica de la interacción pública y privada, formal e informal, ritual y espontánea; y sobre todo, tratar de discernir el significado, para los participantes mis-*

mos, del drama social que es la investigación científica” (Rudwick 1985: 6). Este autor propuso que los cambios en la ciencia se producen mediante un lento proceso de debate en el que la comunidad científica va asimilando y sintetizando los aportes de sus integrantes porque las respuestas halladas satisfacen a toda la comunidad. Aunque Rudwick (1985: 9), tomó distancia de los conceptos de revolución científica e inconmensurabilidad de paradigmas de Tomas Kuhn, adhirió a su concepto de ciencia normal, que englobaría al conjunto de prácticas científicas ordinarias. Éstas transcurrirían dentro de un marco metodológico compartido, máximas heurísticas, procedimientos rutinarios, protocolos observacionales y experimentales, y criterios de juicio interpretativo, entre otros atributos. Rudwick defendió la idea de que el trabajo científico sería como el de una fraternidad de artesanos capacitados, practicado dentro de una tradición compartida que es mantenido por un colectivo social (Rudwick 1985: 9-10). El núcleo más influyente de esta fraternidad, sus valores y tradición es lo que denominaremos *main stream*, concepto que utilizaremos al final de este trabajo. A nuestro parecer entonces, la obra *Yacimientos minerales y su formación* pasó desapercibida por denotar cierto grado de marginalidad en el colectivo social de la ciencia, en el sentido de Rudwick, que sería el que validaría, siguiendo a Samaja, la fase de exposición sistemática.

Dadas estas herramientas metodológicas, creemos que el caso Kittl puede examinarse más fructíferamente si su polémica se inscribe en un estado más generalizado sobre algunos problemas referidos a las relaciones genéticas posibles entre yacimientos metalíferos y los magmas. Las respuestas a tales problemas fueron, y son, moldeadas en el lento, vacilante y trabajoso proceso de la ciencia, por lo que proponemos analizar el asunto inscribiendo la controversia que nos ocupa en una transición que reconoce como uno de sus extremos la hegemonía de las interpretaciones magmatistas y en el otro la caducidad de dicha supremacía.

CUADRO 1: Transcripción de la primera alteración del texto por error de edición (Kittl 1972b: 22-23). Se indica el orden lógico de los fragmentos intercalados para su correcta lectura.

Tal como se imprimió (páginas 22 - 23)	Orden real del fragmento
(...) A causa de la presión producida por el asentamiento de calizas o en grietas. La migración de agua por poros disuelve indudablemente en su recorrido las sustancias fácilmente solubles y así puede liberar ciertos elementos que pasan a la solución acuosa.	1
La migración de agua por poros disuelve indudablemente en su recorrido las sustancias fácilmente solubles y así puede liberar ciertos elementos que pasan a la solución acuosa.	3
La migración de agua por poros disuelve indudablemente en su recorrido las sustancias fácilmente solubles y así puede liberar ciertos elementos que pasan a la solución acuosa. El agua desprendida de las arcillas migra y se aloja en los interiores y poros de rocas porosas (arenas, areniscas,	2
La migración de agua por poros disuelve indudablemente en su recorrido las sustancias fácilmente solubles y así puede liberar ciertos elementos que pasan a la solución acuosa. La llamada segregación lateral de Sandberger significa algo similar. (...)	4

CUADRO 2: Transcripción de la segunda alteración del texto por error de edición (Kittl 1972b: 71-73). Se indica el orden lógico de los fragmentos intercalados para su correcta lectura.

Tal como se imprimió (páginas 71 - 72 - 73)	Orden real del fragmento
(...) Las reacciones entre ambas rocas, especialmente cuando su composición es muy diferente, son múltiples: líquido-magmáticos y supracríticos (pneumatolíticos según la nomenclatura anterior) a temperaturas de 500 a 1000° C, con formación de minerales de contacto: granate, epidota, espinel y otros más. Se observa la sucesión de silicatos, óxidos, sulfuros, sin o con carbonatos.	1
La profundidad del techo de las rocas intrusivas a veces no es mucho mayor que 3 km, de manera que los procesos se realizaron cerca de la superficie. Los minerales que se formaron en este yacimiento de contacto son de: Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Sn, W, Bi, Au, grafito y otros minerales. En tales yacimientos se observaron los llamados procesos metasomáticos, con reemplazo parcial o total: carbonatos por cuarzo o silicatos, sulfuros de un metal por otro metal (ZnS -Cu ₂ S) y muchos otros ejemplos. El reemplazo se produce a temperaturas	3
La profundidad del techo de las rocas intrusivas a veces no es mucho mayor que 3 km, de manera que los procesos se realizaron cerca de la superficie. Los minerales que se formaron en este yacimiento de contacto son de: Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Sn, W, Bi, Au, grafito y otros minerales. En tales yacimientos se observaron los llamados procesos metasomáticos, con reemplazo parcial o total: carbonatos por cuarzo o silicatos, sulfuros de un metal por otro metal (ZnS -Cu ₂ S) y muchos otros ejemplos. El reemplazo se produce a temperaturas	2
La profundidad del techo de las rocas intrusivas a veces no es mucho mayor que 3 km, de manera que los procesos se realizaron cerca de la superficie. Los minerales que se formaron en este yacimiento de contacto son de: Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Sn, W, Bi, Au, grafito y otros minerales. En tales yacimientos se observaron los llamados procesos metasomáticos, con reemplazo parcial o total: carbonatos por cuarzo o silicatos, sulfuros de un metal por otro metal (ZnS -Cu ₂ S) y muchos otros ejemplos. El reemplazo se produce a temperaturas	4

Como antecedente de la discusión, entendemos que la enorme superioridad explicativa y predictiva del magmatismo Huttoniano en relación al neptunismo Werneriano, sobre el que se polemizó vehementemente a fines del siglo XVIII y principios del siglo XIX, ejerció cierta predisposición a inferir que muchos yacimientos metalíferos se derivaban necesariamente de algún magma. A principios y mediados del siglo XX, lo forzado de estas interpretaciones se manifestó en ocasiones con expresiones moderadas y precavidas y en otras con posturas extremas. Todas ellas muestran los contornos del escenario de la controversia en la se inscriben las ideas de Kittl. Puntualizaremos algunos pocos hitos representativos de la transición teórica y comenzaremos a reseñarla nada menos que con una destacable apreciación de Waldemar Lindgren, quién consideraba que ciertos cuerpos de

sulfuros metálicos eran “los más enigmáticos de los depósitos minerales” (Lindgren 1919: 819, Hutchinson 1973: 1223). Es muy valioso contar con el testimonio del padre de las clasificaciones genéticas magmatistas, quién reconoció el carácter enigmático de estos depósitos, porque muestran una insatisfacción congénita a su clasificación, con lo que dejó abiertas las posibilidades de interpretaciones alternativas a su propio modelo.

También desde el extremo magmatista, el mismo Paul Niggli, en su último libro, advirtió con mucho énfasis que las denominadas soluciones hidrotermales y pneumatolíticas no necesariamente debían provenir del magma: “Es importante notar que conceptos tales como “hidrotermal” y “pneumatolítico” refieren a ciertos estados de las fases moleculares (...) y no al origen de las fases. (...) Los minerales de fisura alpinos, para citar un ejemplo, son formaciones hidrotermales que al

tiempo de su formación estaban desconectados de magma alguno” (Niggli 1954: 514). El contexto en el que Niggli afirmó esto es el del apartado titulado “Depósitos minerales magmáticos catatermales importantes (incluyendo transiciones a mesotermal): secuencia normal después de Niggli-Schneiderhölm” (Niggli 1954: 513). En otras palabras, estamos en presencia de signos de una clasificación -perteneciente al linaje magmatista de Lindgren- que en honor a la verdad contradicen sus propios principios, reconociendo nada menos que -en un apartado de su clasificación sistemática referido a depósitos magmáticos- la existencia de yacimientos que no están conectados con magma alguno. La desvinculación de los fluidos hidrotermales de un magma abrió enormes perspectivas para nuevas formas de interpretación referidas a la metalogénesis.

Para ilustrar los puntos de vista de los geólogos más críticos a la hegemonía de las interpretaciones magmatistas, resulta útil la información de Cailleux, quien, aportando datos útiles para visualizar la transición que nos ocupa, se refirió a que “gran número de estudios llevados a cabo desde 1945 muestran que en ciertos yacimientos internos hay concentraciones inexplicables si no se admite que un elemento considerado (...) estaba ya concentrado en el sedimento original (...) la cristalización final es de origen decididamente interno, pero la concentración previa sería, en todo o en parte, sedimentaria. La hipótesis persedimentaria (1950) consiste en generalizar esta interpretación; ahora bien, parece que ha sido exagerada y que también son posibles concentraciones de origen puramente interno” Cailleux (1972: 74).

Implícitamente alineado con los adherentes a la hipótesis persedimentaria, el texto de Kittl, proporciona la siguiente información, que también señala las inflexiones conceptuales: “Entre los primeros autores que señalaron la dificultad de relacionar ‘roca portadora’ con el yacimiento metalífero derivado de estas figuran: Schneiderhölm, V. Marmo y el autor. (...) La idea de regeneración de yacimientos o preconcentraciones existentes adquirió más partidarios y ha sido aplicada a yacimientos metalíferos considerados antes como

de origen magmático (...) ante todos, Vladi Marmo puntualizó la gran dificultad de considerar a un yacimiento ubicado cerca de un granito como magmático cuando el granito no contiene nada del metal del yacimiento y solo la cercanía ha inducido a creer que existiera una relación genética, como generadora, entre el yacimiento y la roca ígnea vecina. (...) Las consideraciones de Marmo coinciden completamente con mis ideas publicadas desde el año 1928” (Kittl 1972b: 8).

La evolución que va desde las interpretaciones puramente magmatistas hacia modelizaciones más flexibles y ajustadas a las evidencias disponibles, también está atestiguada entre geólogos argentinos. Un ejemplo lo encontramos en documentos referidos al origen del yacimiento de plomo y zinc de Mina Aguilar, en la provincia de Jujuy, Argentina. Brodtkorb *et al.* (1978: 297), reseñando las ideas sobre su origen, informan que en general el depósito había sido considerado hidrotermal o de metasomatismo de contacto, puntualizando -y esto interesa mucho- que “hasta entonces el granito Aguilar siempre ha sido asociado al agente metalogénico”. Brodtkorb y colaboradores finalizaban su trabajo diciendo: “Al estado actual de los conocimientos, el marco geológico del yacimiento y sus presentaciones minerales sugieren un origen sedimentario singenético para las menas de plomo y zinc de la sierra de Aguilar, con posterior reacondicionamiento de la mineralización por el metamorfismo derivado de la penetración del granito Aguilar en la secuencia sedimentaria paleozoica” (Brodtkorb *et al.* 1978: 297).

Comentando el referido artículo, Lyons decía críticamente: “... que las menas de Aguilar han sido removilizadas, en base a las variadas dataciones isotópicas, no parece ofrecer dudas, pero de que asimismo tengan un origen sedimentario singenético es otra cosa” (Lyons 1980: 160).

En el mismo volumen de la Revista de la Asociación Geológica Argentina, Brodtkorb y colaboradores expresaron, en réplica a Lyons: “Como se señala con meridiana claridad en los dos párrafos finales del trabajo, en el caso de la mina Aguilar la interpretación es prematura y requiere ciertamente nuevos estudios y elementos de juicio, especialmente de carácter estratigráfico, sedimentológico, geoquímico e isotó-

pico” (Brodtkorb *et al.* 1980: 161).

Mientras este debate acaecía con críticas y réplicas prudentes, Kittl (1972b: 166), en su capítulo referido a los “Yacimientos de Plomo y Zinc”, ya se había anticipado en varios aspectos al modelo de formación que proponían Brodtkorb y colaboradores. En efecto, tras varias consideraciones geoquímicas y geológicas, había sostenido: “Su origen se deriva probablemente de una preconcentración de un conjunto de metales con posterior movilización, transporte y redépósito selectivos. La movilización de preconcentraciones metalíferas... puede haberse realizado... por la cercanía de rocas ígneas...” (Kittl 1972b: 167-168). Refiriendo, más adelante, que entre los tres tipos principales de yacimientos de Pb-Zn están los “de contacto entre rocas ígneas y sedimentarias o metamórficas”, mencionó como ejemplo de este tipo en la Argentina al de las Sierras de Aguilar (Kittl 1972b: 168), reiterando, en general, lo que él mismo había dicho sobre este yacimiento en 1965: “Según Brown (1962) este último yacimiento es de origen sedimentario, metamorfoseado por contacto... probablemente se trata de un yacimiento originado por la de una preconcentración o un yacimiento sedimentario preexistente” (Kittl 1965: 24).

Tras la definición de los yacimientos sedimentarios-exhalativos o sedex (Cane y Cathro 1982), los trabajos de Sureda y Martín (1990) sobre la Mina Aguilar permitieron clasificar a este yacimiento como uno de ellos. En este sentido, en las exposiciones sistemáticas más actualizadas sobre depósitos sedex de Pb, Zn y Ag (Emsbo 2009), podemos reconocer diáfananamente algunos de los elementos más característicos pertenecientes a la matriz de modelizaciones de Kittl, en el entendimiento de que, para él, “... la diferencia entre las nuevas y viejas teorías sobre la formación los yacimientos minerales reside en la inclusión de la liberación y concentración (recolección) de elementos raros o rastros a partir de rocas preexistentes” (Kittl 1972b: 85). En efecto, por mencionar algunas correlaciones con el pensamiento de Kittl, refiriéndose a la fuente de los metales y otros componentes de la mena, Emsbo sostuvo que “...los sedimentos clásticos gruesos oxidados (tales como

red beds, conglomerados, areniscas) en secuencias infrayacentes de relleno de rift son la fuente más probable del recurso de la mena metálica” (Emsbo 2009: 7). En cuanto a la movilización, este autor refirió que se ha verificado que “*los depósitos sedex se forman por soluciones hipersalinas de 100° a 200° C con un porcentaje en peso entre 10 -30 por ciento total de sólidos disueltos*” (Emsbo 2009: 3), y que “*hay un consenso general de que los metales de la mena son transportados predominantemente como complejos clorados, de donde la salinidad (expresada en cloruros) es un control primario en sus solubilidades.*” (Emsbo 2009: 5). Algo semejante había propuesto Kittl, quién, en referencia a la movilización de preconcentrados, expresó: “*Mucha importancia tiene para la formación o alteración de yacimientos o preconcentraciones la movilización por reactivos o por disolución en medio acuoso o gaseoso. Ejemplo de estos reactivos sería ante todo la acción del agua siempre con varias sustancias disueltas; otros ejemplos serían reacciones de: Cl, en forma de gas libre o cloruros...*” (Kittl 1972b: 53).

CONCLUSIONES

Tres años antes de la publicación de *Yacimientos minerales y su formación*, Kittl refería “*la existencia de preconcentraciones y de yacimientos en rocas sedimentarias nos abre mejores perspectivas que la antigua teoría del magmatismo, cuyo rol se ha sobrevalorado*” (Kittl 1969: 38). Los correlatos que hemos expuesto entre lo que hoy se define como yacimiento tipo sedex y los principios generales de la propuesta de Kittl son también extrapolables a otros varios tipos de yacimientos -Modelo 30a, entre otros, Briske 1986- porque Kittl, más que un modelo, planteó una matriz para las modelizaciones de donde se pueden derivar varios de ellos. Esta matriz complementa a la magmatista, tradicional y potente, de la que a su vez se derivan otros tantos. Ciertamente, la influencia que la arquitectura y evolución de las cuencas ejerce en la modelización de yacimientos, es un tópico subdesarrollado en la obra de Kittl, pero los actuales progresos en la materia no son exigibles para la época en que se pu-

blicó la obra. Tal vez en el contexto del magmatismo sobrevalorado, como una reacción visceral y pendular, se puede comprender que Kittl llegara a afirmar que: “*El 95 % de los yacimientos metalíferos es de origen sedimentario*” (Kittl 1972b: 31), exageración que también tiende a desacreditar su exposición y profundizar la ruptura de los lugares comunes.

Más allá del reconocimiento que la comunidad geológica argentina le otorgara por otros méritos profesionales, indudablemente Erwin Kittl no fue una voz significativa en el *main stream* de la producción científica que desemboca en el estado actual de conocimiento en la materia. Sin embargo, sus ideas podrían haber aportado bases y antecedentes relevantes para comprender el modo de formación de varios tipos de depósitos minerales, entre los que se destacan lo sedex -y por lo tanto el del yacimiento metalífero no-ferroso más grande de la Argentina, Mina Aguilar en la provincia de Jujuy-. Por esa razón, esta contribución es un aporte para que Erwin Kittl y otros geólogos que desde principios del siglo XX perseveraron en su protesta contra el reduccionismo magmatista, sean reconocidos en la historia de la modelización de yacimientos minerales.

AGRADECIMIENTOS

A Mónica Huertas por su colaboración en la supervisión de la traducción del *Abstract*. A Carlos Rodolfo Vergne por su lectura crítica de los aspectos epistemológicos. Tras la exposición y debate de este trabajo en el *Segundo Congreso Argentino de Historia de la Geología*, nuestra gratitud a Víctor A. Ramos, Ricardo Sureda, Ricardo Alonso y Emilio González Díaz por sus críticas, consejos e información relevante para concluir el manuscrito. A la Dra. Nilda Urbina por su asesoramiento y disposición a responder dudas de los autores. A los árbitros Magdalena Koukharsky y Teresita Montenegro y al editor Guillermo Ottone, por sus correcciones y sugerencias.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bachelard, G. 2000. La formación del espíritu científico. Siglo XXI, 304 p. México.
- Briske, J.A. 1986. Descriptive model of sandstone-hosted Zn-Pb. En Cox, D.P. y Singer, D.A. (eds.) Mineral deposit models. United States Geological Survey Bulletin 1693, 201 p., Denver.
- Brodtkorb, M.K. de, Lanfranco, J. y Sureda, R. 1978. Asociaciones minerales y litología del Yacimiento Aguilar, Provincia de Jujuy, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 33(4): 277-298.
- Brodtkorb, M.K. de, Lanfranco, J. y Sureda, R. 1980. Réplica. Asociaciones minerales y litología del Yacimiento Aguilar, provincia de Jujuy, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 35(1): 160-161.
- Brown, J.S. 1962. Ore leads and isotopes. Economic Geology 57(5): 809-828.
- Cailleux, A. 1972. Historia de la Geología. Segunda edición. Eudeba, 104 p. Buenos Aires.
- Carne, R.C. y Cathro, R.J. 1982. Sedimentary exhalative (sedex) zinc-lead-silver deposits, northern Canadian Cordillera. CIM Bulletin 75 (840): 66-78.
- Cortés García, A.L. y Martínez Peña, M.B. 1999. Controversia científica para el aula: ¿tiene la cubeta de Azuara un origen extraterrestre? Enseñanza de las Ciencias de la Tierra 7(2): 143-144.
- Emsbo, P. 2009. Geologic criteria for the assessment of sedimentary exhalative (sedex) Zn-Pb-Ag deposits. United States Geological Survey Open-File Report 2009-1209, 21 p., Reston.
- Hutchinson, R.W. 1973. Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance. Economic Geology 68(8): 1223-1246.
- Kittl, E. 1931. Los yacimientos auríferos de la República Argentina, su génesis y posición geológica. Revista Minera 3: 97-124, 129-154, 161-191, 193-222.
- Kittl, E. 1932. Los yacimientos auríferos de la República Argentina, su génesis y posición geológica. Revista Minera 4: 1-30.
- Kittl, E. 1965. Sobre los ciclos metalogénicos en la Argentina. Revista Minera. Geología y Mineralogía 27(2): 21-27.
- Kittl, E. 1969. La importancia del estudio de la formación de recursos naturales no renova-

- bles. *Revista Minera. Geología y Mineralogía* 29(3): 38-38.
- Kittl, E. 1972a. Yacimientos minerales y su formación. *Revista Minera. Geología y Mineralogía* 31: 1-241.
- Kittl, E. 1972b. Yacimientos minerales y su formación. *Ciencia y Debate*. 241 p., Buenos Aires.
- Kittl, E. 1974. La regeneración de yacimientos metalíferos en Sudamérica. *Revista Minera. Geología y Mineralogía* 32(2): 28-33.
- Kittl, E. 1977. Consideraciones sobre la teoría de placas y movilizaciones en la formación de yacimientos metalíferos. *Revista Minera. Geología y Mineralogía* 35(1-2): 5-10.
- Lindgren, W. 1919. *Mineral deposits*. Second Edition. McGraw-Hill, 957 p., New York.
- Lyons, W.A. 1980. Comentario: Asociaciones minerales y litología del Yacimiento Aguilar, provincia de Jujuy, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35(1): 157-160.
- Niggli, P. 1929. *Ore deposits of magmatic origin: their genesis and natural classification*. Murby, 93 p., London.
- Niggli, P. 1954. *Rocks and mineral deposits*. W.H. Freeman and Company, 559 p., San Francisco.
- Park, C.J. y MacDiarmid, R.A. 1970. *Ore Deposits*. Second Edition. W.H. Freeman and Company, 522 p., San Francisco.
- Pedrinaci, E. 1996. Por su historia la conocerán. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 4(1): 2-3.
- Putz, H., Paar W.H. y Topa, D. 2009. A contribution to the knowledge of the mineralization at mina Capillitas, Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64(3): 514-524.
- Rudwick, M. 1985. *The great Devonian controversy: the shaping of scientific knowledge among gentlemanly specialists*. Chicago University Press, 494 p., Chicago.
- Samaja, J. 1993. *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Eudeba, 414 p., Buenos Aires.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., Álvarez Suárez, R.M. y Valdivia, J. 1997. James Hutton y su Teoría de la Tierra (1795). Consideraciones didácticas para educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 5(1): 21-31.
- Sureda, R.J. y Martín, J.L. 1990. Mina El Aguilar, Jujuy, Argentina: depósito sedex ordovícico, con metamorfismo de contacto sobreimpuesto, en la Provincia Metalogénica Quiaqueña. *Revista de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas. Publicación Especial: "Contribución al Conocimiento de la Mineralogía y Geología Económica de la República Argentina"*. Homenaje al Prof. Ing. Victorio Angelelli: 78-92, Buenos Aires.
- Volkheimer, W. 1984. Nota Necrológica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39(3-4): 323-327.

Recibido: 4 de octubre, 2010.

Aceptado: 16 de junio, 2011.