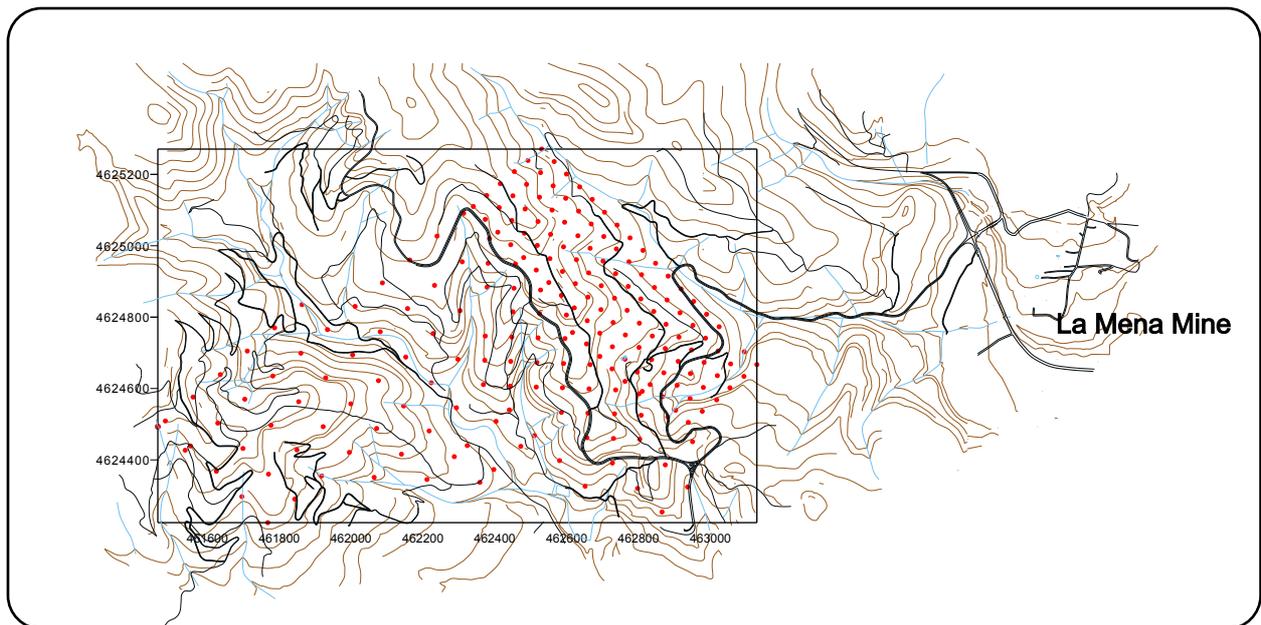
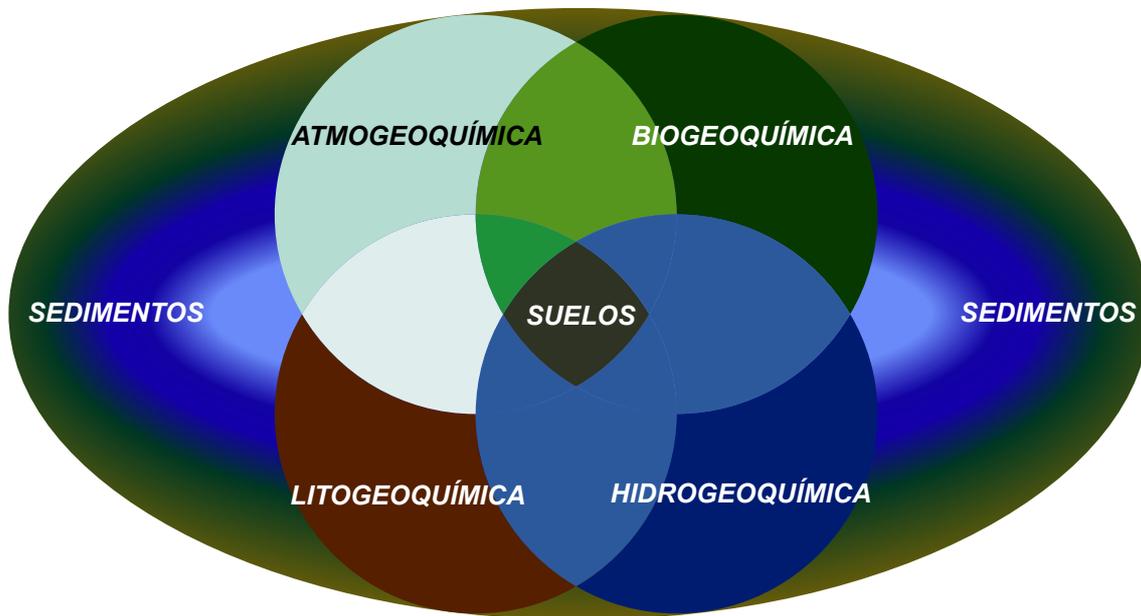


LA PROSPECCION GEOQUIMICA





TEMAS DE GEOLOGÍA ECONÓMICA

LA PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA

(La prospección geoquímica y sus métodos)

GEOCHEMICAL PROSPECTING

Dedicado a mi esposa e hijas por su paciencia y cariño, a mis amigos y colegas del Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica de la Universidad de Barcelona, por escucharme y apoyarme. El autor quiere hacer una especial mención sobre los grandes geoquímicos prospectores Dr. R.W. BOYLE y Dr. A.A. LEVISON, de los que ha aprendido muchísimo y que no he tenido el placer de conocer. También a los Drs. J. BERNARD y J.C. SAMAMA del ENSG, a la Dra. J. PLANT (BGS) y al Dr. C. DUNN con los que ha podido conversar e intercambiar conocimientos y conceptos.

por

Dr. Manuel Viladevall i Solé

Ingeniero Geólogo (ENSG)

*Grupo Consolidado en Geología Económica, Ambiental e Hidrología
Grupo Consolidado en Innovación Docente nº1066387275
Institut de l'aigua de la Universitat de Barcelona
Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica
Facultad de Geología. Universitat de Barcelona
Zona Universitaria de Pedralbes. Barcelona 08071 (Spain)
mviladevall@ub.edu
Barcelona 2008*

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Historia	6
1.2. La geoquímica Aplicada (el paisaje geoquímico)	7
1.3. La prospección geoquímica en la prospección minera y Geoquímica y medioambiente	11
2. LOS FUNDAMENTOS DE LA PROSPECCIÓN GEOQUIMICA	27
2.1. Los parámetros fisico-químicos. El Clarke.	28
2.2. El concepto de anomalía geoquímica. La serie estadística.	31
3. DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS. EJEMPLOS	50
3.1. El oro	57
3.2. El mercurio	61
3.3. El uranio	65
3.4. El molibdeno	67
3.5. La concentración y dispersión de los elementos	68
3.6. La asociación de los elementos	72
4. AMBIENTES GEOQUIMICOS	74
4.1. Ambientes primarios y secundarios	75
4.2. El control de los factores	78
4.3. Dinámica de la concentración	82
4.4. Movilidad de los elementos	87
4.5. Los productos de la alteración y adsorción	92
4.6. La adsorción	92
4.7. Los indicadores o “pathfinders”	94
5. LOS MÉTODOS EN PROSPECCIÓN GEOQUIMICA	96
5.1. Criterios de elección	98
5.2. El muestreo	99
5.3. Preparación y análisis	101
5.4. Tratamiento estadístico y representación gráfica	105

5.5. Miscelánea	109
5.6. Los métodos	110
5.7. Litogeoquímica	113
5.8. Sedimentos en redes de drenaje	118
5.9. Hidrogeoquímica	136
5.10. Suelos (Pedogeoquímica)	146
5.11. Vegetación (Biogeoquímica)	163
6. CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN GEOQUIMICA EN LOS ANDES	194
6.1. Introducción y objetivos del proyecto	195
6.2. Criterios de selección de los métodos de prospección geoquímica	201
6.3. Aplicación de los métodos	206
6.3.1. Litogeoquímica	207
6.3.2. Hidrogeoquímica	211
6.3.3. Sedimentos en redes de drenaje	214
6.3.4. Prospección biogeoquímica	217
6.4. Conclusiones sobre la prospección geoquímica en Bolivia	237
6.5. La Puna Argentina. San Antonio de los Cobres	240
6.6. Conclusiones sobre la prospección geoquímica en la Puna argentina.	249
6.7. Prospección mediante Alisos en Tucumán (Argentina)	251
7. LA PROSPECCIÓN BIOGEOQUIMICA SOBRE EL MEDIOAMBIENTE	253
7.1. Campaña en el Maresme (BARCELONA)	253
7.2. Geoquímica (bio - atmogeoquímica) en Barcelona Ciudad (España)	255
7.3. El Valle del Azogue (Murcia)	263
7.4. Los chopos (<i>Populus nigra</i>) como indicadores medioambientales	264
7.5. La vegetación de la Península Ibérica.	267
8. BIBLIOGRAFIA	269
	273

1. INTRODUCCIÓN

¿QUE ES LA PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA?, en base a los principios de la distribución y del ciclo de los elementos químicos en la la corteza terrestre, la podemos definir como una parte de la Geoquímica Aplicada o “Geoquímica del Paisaje” sensu Fortescue (1980) que tiene como objeto la localización y estudio, en el espacio y en el tiempo, de las anomalías geoquímicas que indican la presencia de:

1 Minerales

2 Agua

3 Combustibles fósiles

4 Gestión y análisis de los efectos antrópicos o geoquímica ambiental y epidemogeoquímica

Teniendo en cuenta los conceptos anteriormente citados, se pueden desarrollar métodos retrospectivos para la localización en el espacio de objetos geoquímicos que hayan evolucionado a partir de la interacción de diversos procesos geológicos hacia un yacimiento (sensus económico).

La prospección geoquímica deriva pues de los principios de la distribución y del ciclo de los elementos químicos en la tierra, lo que CLARKE (1924) denominaba “ evolución y desintegración de la materia “.

- Hawkes (1957) define a la prospección geoquímica como uno de los métodos de la investigación minera que se basa en la medida sistemática de las propiedades químicas de los materiales naturales. El fin de dichas medidas sería la localización de anomalías geoquímicas o de áreas cuya estructura, hiciera pensar en la presencia de un cuerpo mineralizado en su vecindad. Las anomalías podrían estar generadas por la presencia de cuerpos ígneos en profundidad, procesos metamórficos o procesos superficiales tales como agentes de la alteración, erosión o transporte superficial.

- Boyle, 1979, indica que la prospección geoquímica es la aplicación de los principios y datos geoquímicos y biogeoquímicos, con el fin de detectar yacimientos económicos de minerales, petróleo y gas. Ya que la tierra, cita este autor, se halla caracterizada mediante 5 esferas: y teniendo en cuenta que un objeto geológico concreto, como el entorno de un depósito mineral, una acumulación de hidrocarburos o un objeto medioambiental, presentará un incremento de uno o varios elementos, quedando todos reflejados en las esferas. Los distintos métodos de prospección geoquímica se clasificarán pues, según estas esferas (ver figura de la portada).

Las anomalías, cita el autor, elemento principal en toda prospección geoquímica, se manifiestan en función de su ambiente, mediante aureolas primarias o secundarias en rocas, en suelos, en los recubrimientos glaciares (morrenas), en la red fluvial, en los sedimentos de las redes de drenaje y de los lagos, en la atmósfera, en plantas en animales y otros.

Al conjunto de aureolas primarias y secundarias, siempre que confluyan otros parámetros físico-químicos, podemos denominarlo "objeto geoquímico o paisaje geoquímico". Este reconocimiento es el que ha permitido el espectacular desarrollo en los últimos 40 años de los métodos de prospección geoquímica, propiciados por la necesidad de detectar una serie de materias primas, como para el desarrollo de extensas áreas vírgenes que con los métodos clásicos no hubiese sido posible detectarlos. Permite también detectar el objeto geoquímico de origen antrópico.

1.1. HISTORIA DE LA PROSPECCION GEOQUIMICA

Algunas de las técnicas de prospección geoquímica, son tan antiguas, que se remontan a la Prehistoria con los primeros descubrimientos de gemas y del oro mediante la técnica de prospección aluvionar a la batea. No obstante, fueron griegos y principalmente los romanos los que institucionalizaron el método como sistemático para la prospección del oro y otros metales. No es hasta el final de la Edad Media-albores del Renacimiento, cuando Agrícola, en el "De re Metalica" nos presenta ciertas indicaciones hidroquímicas y geobotánicas al relacionar la presencia de metalizaciones, por los efectos tóxicos que los metales en aguas producción a las plantas y el deterioro del ambiente en general.

En el siglo XX, los métodos y técnicas en prospección geoquímica, tienen su origen principalmente en la antigua URSS y en los países escandinavos con Vernadsky (1924); Fersman (1934); etc., mediante sus trabajos de determinación de aureolas primarias y secundarias y los primeros trabajos sobre biogeoquímica y geobotánica. El desarrollo y puesta a punto de técnicas analíticas de mejor sensibilidad tales como la colorimetría, fluorescencia de R.X, etc. así como métodos analíticos de extracción selectiva en la década de los 30, puso los cimientos de la moderna prospección geoquímica.

El gran desarrollo de la prospección geoquímica, no obstante se inicia en los países anglo-sajones de la mano de los grandes "trust mineros" y servicios geológicos nacionales, finalizada la II Guerra Mundial, tal como nos lo indica Govett (1977) y 1986; Boyle (1979) y Plant et al (1988). Así lo constata "The Association of Applied Geochemists" que recopila más de 13.000 trabajos publicados en revistas y libros, en su mayoría en Ingles, desde 1900 hasta 2003 (figs 1.1, 1.11, 1.12 y 1.13). Del resto de trabajos en forma de informes o publicaciones en ruso y en el chino, solo nos han llegado algunos pocos y no siempre los de mayor impacto.

La mayor diferencia según Govett (1986) entre los dos períodos pre-1952 y post 1952 es que en el primero más del 30% de las publicaciones se desarrollaron sobre temas de biogeoquímica con tan solo un 10% en el segundo período y ello era debido a las traducciones sobre trabajos Escandinavos y Soviéticos. En cuanto a los trabajos publicados entre 1972-1982, el 16,8%, corresponden a la industria; el 40,5% a los servicios geológicos estatales y regionales y un 42,8% a las universidades. El gran desarrollo alcanzado a partir de 1945 se debe, por una parte a las perspectivas de desarrollo y demanda de la industria de una gran variedad de metales, que los yacimientos activos no podían satisfacer a medio y largo plazo sobre la demanda, y por otra parte al desarrollo de materiales de laboratorio tales como polietileno, resinas intercambiables, etc., que permitían un mejor muestreo y análisis.

Un mejor desarrollo en las técnicas analíticas tanto en lo referente a niveles de detección como en rapidez en la obtención de datos, tales como la EAA; EE; INAA; ICP-OS e ICP-MS; FRX; Electrodo Específicos; Colorimetría; Fluorimetría; Cromatografía de gases, etc.; así como el desarrollo de técnicas informáticas que permitían una mejora en calidad y una mayor rapidez en los tratamientos estadísticos.

Por otra parte incidir en una mejora de la infraestructura geológica tanto cartográfica como de conocimientos así como el transporte (vehículos todo terreno, helicópteros, etc.), que permitían un mejor acceso a zonas vírgenes (Boyle op. citada). La geoquímica ambiental sería la parte de la geoquímica que no tan solo sintetizaría el papel sobre los materiales naturales y sus consecuencias sobre el ambiente, sino también los efectos y sus consecuencias que los elementos químicos de origen antrópico, darían lugar sobre el entorno. Este papel, de manera general puede sintetizarse de forma gráfica en el denominado "Paisaje Geoquímico" (Fig.1.2 y Fig.1.3), cuyo objeto tendría como finalidad, la de obtener modelos matemáticos para determinar, si los elementos químicos que actúan sobre éste, son de origen natural o antrópico, predecir su comportamiento y en su caso sus efectos o consecuencias, y diseñar las medidas correctoras apropiadas.

1.2. LA GEOQUIMICA APLICADA

La geoquímica ambiental (fig.1.2), Es definida por Fortescue (1980), como la geoquímica aplicada a los efectos antrópicos o policía medioambiental. Esta debería ampliar sus objetivos, englobando a la Prospección Geoquímica y a la Geo-epidemiología y redefinirse como "Geoquímica aplicada al medio ambiente".

El interés sobre la geoquímica del oro lo muestra los mas de 900 trabajos publicados entre 1900 y 1994 (sin contabilizar los de la antigua URSS), la mayor parte de los cuales se hallan ubicados en la década de los 80-90 (Fig.1.1).

Introducción a la geoquímica del Oro.

El oro, de símbolo químico Au, ocupa el lugar 79 en la tabla periódica y se sitúa entre el platino y el mercurio; pertenece al grupo IB del Sistema Periódico, junto con el cobre y la plata. Es un metal moderadamente blando, muy dúctil y maleable, buen conductor del calor y de la electricidad.

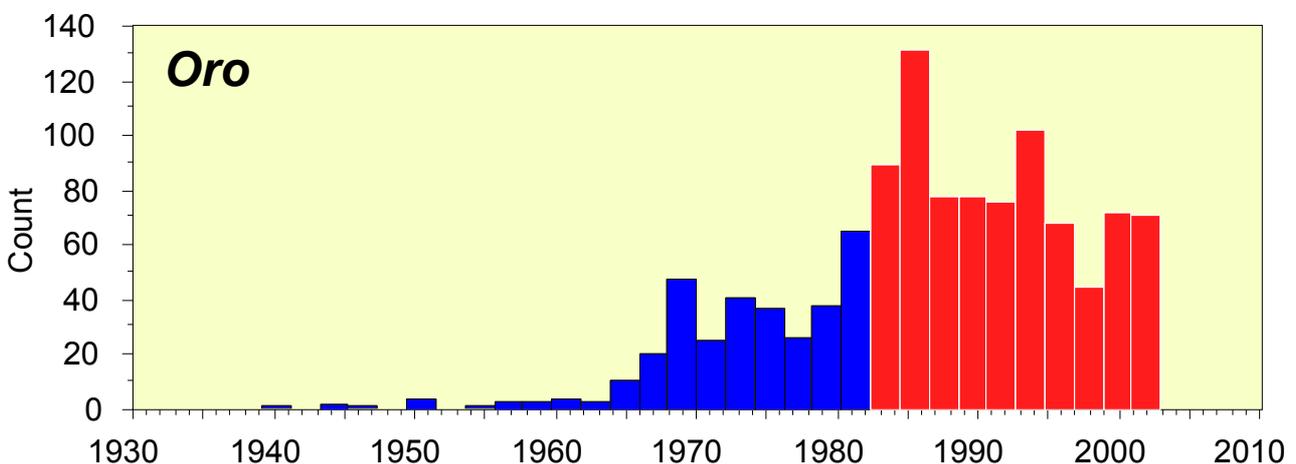
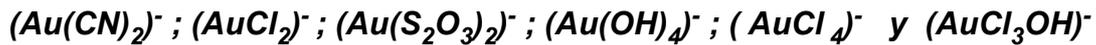


Figura .1.1. La gran exploración y en consecuencia la gran densidad en el número de publicaciones sobre el oro, se inicia con el alza de su precio a principios de la década de los ochenta. Es de esperar que con el alza de 2008, el incremento y número de publicaciones en los próximos años será aún mayor.

Tanto el oro como los dos elementos que pertenecen al grupo IB, muestran poca similitud con los metales alcalinos del grupo IA. Su masa atómica es de 196,967, con una densidad es de 19,5 g cm³ y un punto de fusión de 1064 °C y de ebullición de 2.960 °C. Bajo el punto de vista de su reactividad química Boyle, (1979), nos indica que el oro se asemeja mucho a la plata, pero su carácter químico es mucho más noble. Los principales estados de oxidación son el Au (I) auroso y el Au (III) o áurico, observándose estos estados bajo la forma de complejos del tipo:



Al estado natural se conoce tan solo un isótopo estable ¹⁹⁷ Au con una vida media superior a los 3*10¹⁶ años. Por el contrario se conocen varios isótopos inestables de vida muy corta (185 días), tales como los ¹⁹⁶ Au - ¹⁹⁸ Au - ¹⁹⁹ Au.

En la naturaleza, el oro se presenta por lo general en estado nativo o en aleación con otros metales principalmente con la Ag (cuando el contenido de Ag es superior al 20%, se denomina electrum), Cu, Sb, Bi, Pt, Rh e Ir.

Algunos de estos elementos son miscibles con el oro en todas las proporciones. El color del oro nativo aleado, es ampliamente dominado por la plata de tal manera que a partir de un 65% de Ag es prácticamente imposible diferenciarla de la propia plata nativa.

Aparece igualmente combinado con el Te y Se para dar telururos y seleniuros así como en forma de inclusiones en un buen número de sulfuros, sulfo-arseniuros de Fe, Cu, Ag, Sb, y As, en la arsenopirita, pirita, pirrotina, cobres grises etc. Por el contrario los sulfuros y sulfosales de Zn y Pb no acostumbran a ser auríferos aunque ciertas galenas y esfaleritas presenten contenidos elevados. Igualmente pequeños contenidos de oro aparecen en ciertos elementos nativos tales como el As, Bi, Cu, Ag y Pt (Boyle, 1979 op. citada y Bache, 1981). Su comportamiento es más siderófilo que calcófilo, así en la separación de un baño fundido en dos fases, una de hierro nativo y otra sulfurada, éste se concentra principalmente en la primera. Es además un constituyente traza de los meteoritos con contenidos medios en los condritos de 0,2225 ppm, de 0,9 ppm en las sideritas y de 8 ppb en las tectitas terrestres. Se ha constatado además, que su contenido en las rocas lunares es similar al de las rocas ígneas terrestres. (ver apartado del oro)

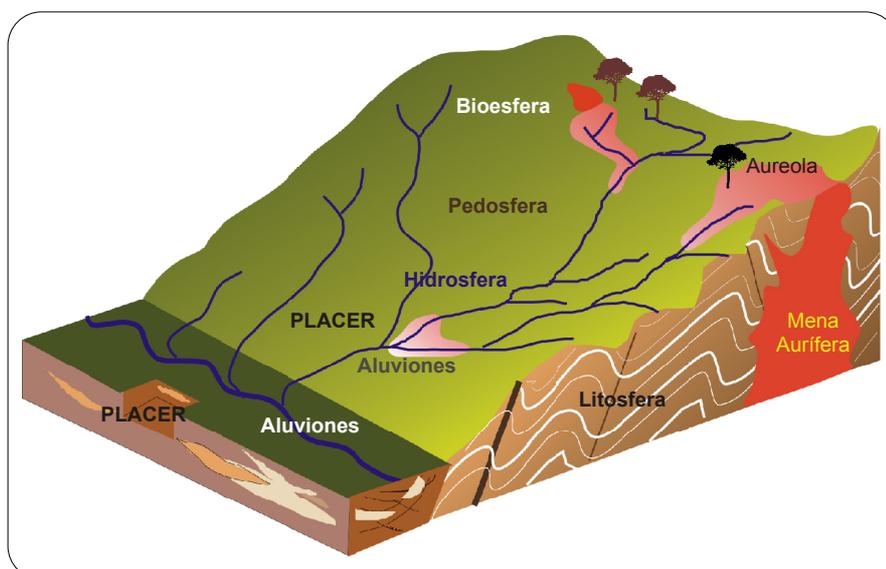


Figura 1.2. Paisaje geoquímico. (Landscape Geochemistry)

1.2.1. Geoquímica del paisaje (figs. 1.2 y 1.3)

Los ambientes geoquímicos que tienen lugar dentro del “paisaje geoquímico”, componen las cuatro esferas “sensus” Mattson (1938) in Fortescue (1980), denominadas, litosfera, biosfera, atmósfera e hidrosfera, cuya interacción dan lugar a una quinta esfera o pedosfera.

En el proceso de interrelación de estas esferas es cuando en gran medida, tiene lugar la formación de los elementos mayores y menores que caracterizarán a cada uno de los microcosmos del paisaje. El último estadio evolutivo o respuesta de la interrelación de las esferas en el ciclo geoquímico, hay que situarlo en las cuencas vertientes (fig.1.2), en las que tiene lugar la erosión, transporte y sedimentación de los sedimentos aluviales o de redes de drenaje. Estos sedimentos son, en definitiva, una conjunción de las cuatro esferas (fig. 1.4) en la que el movimiento de los elementos presenta no tan sólo un componente químico, a partir del cual se desarrolla la prospección geoquímica en redes de drenaje o de arroyo, sino también una componente mecánica a partir de la cual se desarrolla la prospección aluvionar s.s.



Figura 1.3 . Elementos que comporta la geoquímica del paisaje

Puesto que la caracterización de la Tierra se realiza a partir de las 5 esferas y que cada una de ellas, bien de forma individualizada o en su conjunto, pueden ser el reflejo de distintos objetos geológicos tales como el entorno de un depósito mineral, la acumulación de hidrocarburos, o el de un efecto antrópico, los distintos tipos de prospección geoquímica se clasificarán a partir de ellas como: Litogeoquímica, Pedogeoquímica; Hidroggeoquímica; Atmogeoquímica y Biogeoquímica.

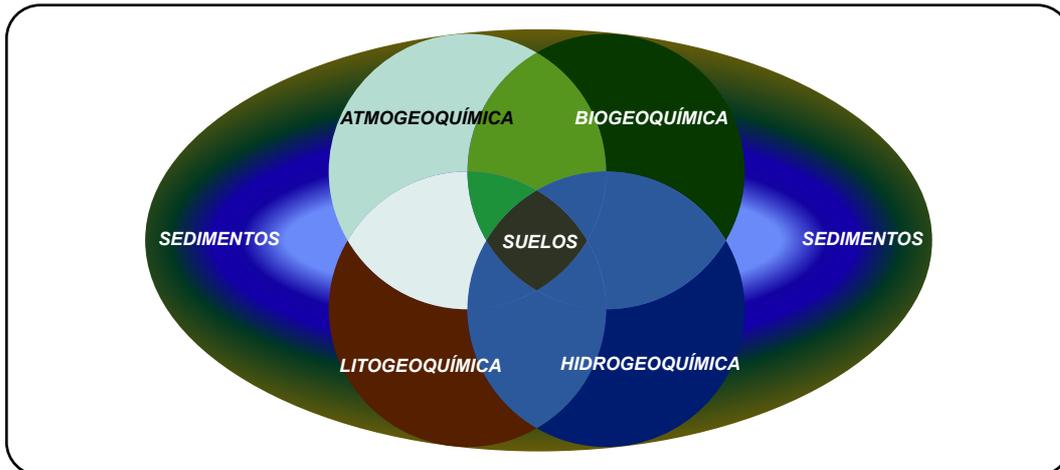


Figura 1.4. Las esferas

1.3. AMBITO DE APLICACIÓN DE LA PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA:

CIENCIAS DE LA TIERRA, RECURSOS NATURALES Y MEDIOAMBIENTE

DIRIGIDO A:

LICENCIADOS O GRADUADOS EN :

GEOLOGIA

CIENCIAS AMBIENTALES

QUÍMICAS

BIOLÓGIA

FÍSICA

FARMÁCIA

INGENIEROS GEÓLOGOS

INGENIEROS de MINAS

INGENIEROS CIVILES Y DE OBRAS PÚBLICAS

INGENIEROS QUÍMICOS

INGENIEROS INDUSTRIALES

FORESTALES

AGRÓNOMOS

1.3.1. LA PROSPECCION GEOQUIMICA EN LA PROSPECCION MINERA

La prospección geoquímica, es una de las principales herramientas de la prospección minera y en el reconocimiento, tanto de las provincias geoquímicas como de las provincias metalogenéticas de las que derivan (Figura 1.6).

En consecuencia la prospección geoquímica se aplica en todas las fases de la prospección minera (Figura 1.5), desde la prospección a nivel estratégico hasta en la valoración de un yacimiento (Figuras 1.7, 1.8 y 1.9) y una miscelánea reflejada en la figura 1.10. El gran desarrollo de sus métodos, tiene lugar a partir de la década de los 70 del siglo XX (figuras 1.11, 1.12 y 1.13 y Tabla 1.1), en paralelo con el desarrollo de la prospección minera. Boyle, op. citada, estima en unos 100.000 km², las anomalías detectadas y delimitadas en los cuatro continentes desde 1957-1977 con la localización de unos 150 cuerpos mineralizados y unos 80.000 km² con más de 220 cuerpos mineralizados en la URSS.

En la década de los noventa y en el dos mil, estas cifras se han duplicado según AAG (Association of Applied Geochemists). En el 2008 y debido a la gran demanda de minerales como son el uranio, minerales preciosos y minerales base, las empresas de exploración han saturado los laboratorios de análisis geoquímico con muestras de suelos, rocas y vegetación. (Fuentes de AAG).



Figura 1.5. Las fases de la prospección minera. Los costos y en consecuencia los riesgos aumentan a medida que se avanza en la investigación siendo inversamente proporcional a la superficie investigada o prospectada

ASOCIACIONES GEOQUÍMICAS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE YACIMIENTOS MINERALES

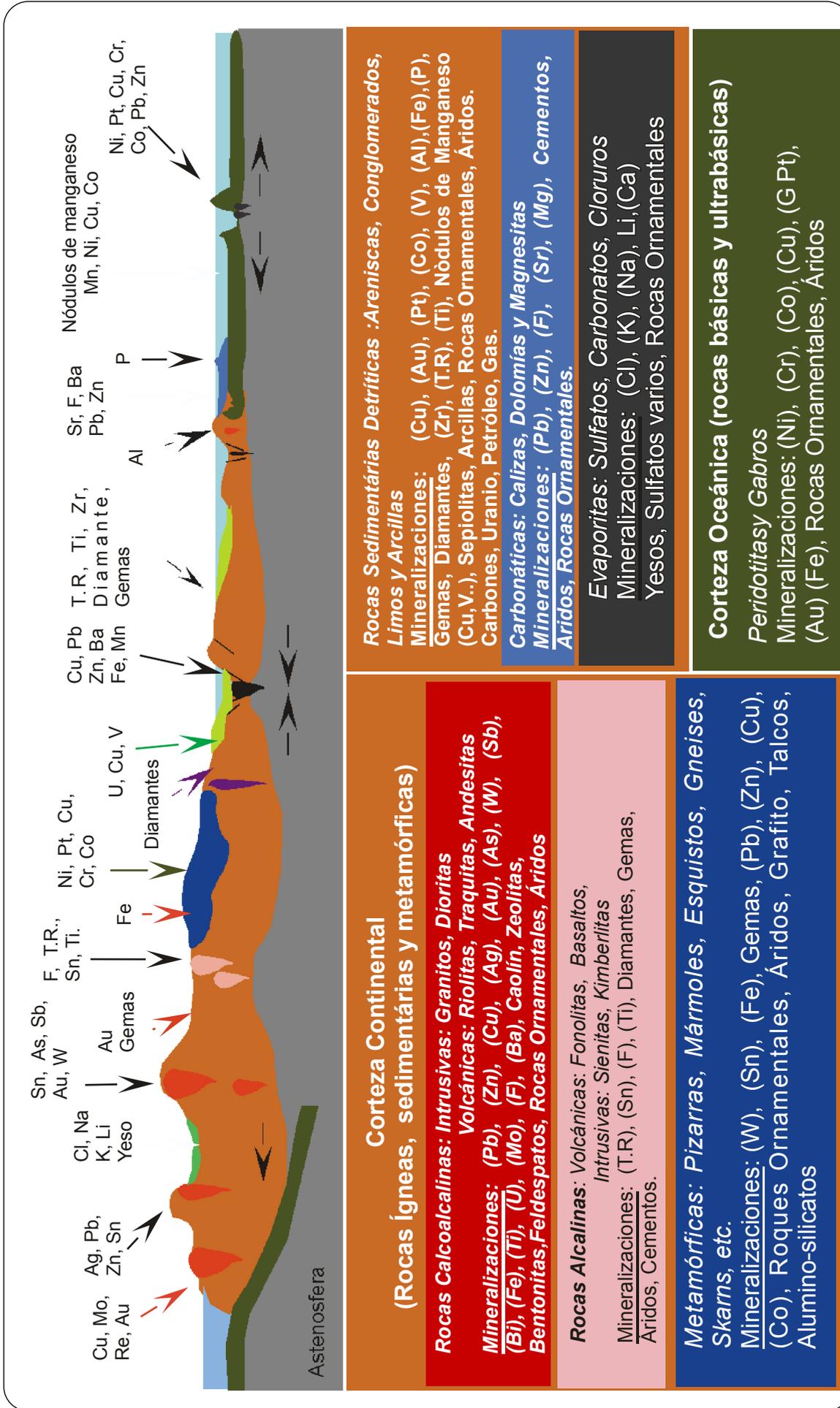


Figura 1.6. Provincias metalogénicas coincidiendo con provincias geoquímicas. Los Andes por ejemplo es una provincia geoquímica en Cu y en consecuencia son los principales productores de Cu del Mundo con los mayores depósitos de Pórfidos cupríferos.

LAS FASES EN PROSPECCIÓN MINERA : PROSPECCIÓN ESTRATÉGICA

(Regional Appraisal)

ESCALA: 1:50.000 - 1:100.000

SUPERFICIE: 200 - 1000 Km²

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Fotogeología: Convencional; Color; Falso color; Infrarrojos, etc.

GEOFISICA AEROTRANSPORTADA: Magnetometría; E.M.; Radiometría.

Prospección al Martillo: Cartografía geológico-metalogenética de indicios y metalotectos posibles.

Geoquímica Multielemento (fig1.3.): **Sedimentos en redes de drenaje:** dicotómica. 1 Muestra cada 1 - 2 cada Km²

Litogeoquímica: columnas 1 mstr./2 Km² malla aleatoria 1 mstr./2 Km²

Hidroggeoquímica: dicotómica 1mstr. / 1 ó 2 Km²

Atmogeoquímica: malla regular o aleatoria 1mstr./1-2 Km²

Aluvionar:

Fondo de batea: geoquímica multielemento: 1mstr. 30 L cada 2- 3 Km²

Mineralometría: 1 mstr. 10 l cada 2-3 Km²

OBJETIVOS QUE SE PRETENDEN ALCANZAR: "Reducción de la superficie a prospectar y selección de objetos geológicos.

- **Fotogeología:** definir estructuras ocultas; alteraciones; recubrimientos; lineaciones, etc.
- **Geofísica Aereotransportada:** detectar estructuras o prospección indirecta; anomalías radiométricas etc.
- **Prospección al Martillo:** identificar indicios conocidos o anomalías detectadas mediante la Geofísica.
- **Prospección Geoquímica:** definir y acotar anomalías geoquímicas con respecto al fondo regional en metales base y sus indicadores.
- **Prospección Aluvionar:** detectar anomalías geoquímicas y mineralógicas como soporte de los dos anteriores.

ACTUACION:

Desarrollo de los objetivos en función de las perspectivas de mercado.

Archivo total o parcial

COSTOS DE OPERACION:

Entre 100 y 300 €/ Km²

EQUIPO DE TRABAJO:

Ing. Geólogo de recursos; Geoquímicos; Geólogos prospectores; Geofísicos;

Geólogos especialistas.

TIEMPO:

Entre seis a diez meses

Figura 1.7. Hoja de flujo de la prospección Estratégica dentro de las primeras fases de la prospección minera. El método más común es la geoquímica en redes de drenaje

PROSPECCION TACTICA (Subfase 3) o RECONOCIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

ESCALA: 1:5.000 - 1:10.000

("early exploration stage")

SUPERFICIE: 10 - 50 Km²

METODOS Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

- ESTUDIOS GEOLOGICO DE LAS ANOMALIAS Y SUS ENTORNOS

GEOQUIMICA (fig. 1.3.)

Suelos:	100	-	1.000	Muestras/Km ²
Litoquímica:	100	-	1.000	Muestras/Km ²
Biogeoquímica:	50	-	500	Muestras/Km ²
Atmogequímica:	100	-	1.000	Muestras/Km ²

Pozos, Catas y Sondeos : malla regular

GEOFISICA: SONDEOS:

Magnetismo; E.M.; V.L.F.; Gravimetría; Polarización; Resistividad; Mis a la Masse; Radar, etc...
Percusión y Rotación (diagrañas).

OBJETIVOS QUE SE PRETENDEN ALCANZAR: "Definir y clasificar los posibles yacimientos en función de los estudios pre-económicos realizados"

- Cartografía:
- **Geoquímica:** definir el entorno del yacimiento y primeras clasificaciones yacimentológicas.
- **Aluvionar:** **localización en el espacio de las anomalías y sus posibles alos.** **primeros ensayos de valoración.**
- Geofísica: localización y delimitación de los cuerpos susceptibles de contener menas de interés.
- Sondeos: reconocimiento de estructuras y/o cuerpos de interés.
- Primeros ensayos de tratamiento y beneficio.

ACTUACION : Desarrollo de los objetivos más prometedores en función de sus posibilidades de extracción y beneficio. Archivo de los objetivos sin interés a medio plazo.

COSTOS DE OPERACION : Entre 3.500 - 25.000 €/Km²

EQUIPOS DE TRABAJO: Ing. Geólogos; Geólogos prospectores; Geoquímicos; Geofísicos; Ing. de Minas Economistas; Mineralúrgicos; Juristas; Ingenieros especialistas.
Entre seis y doce meses por objetivo

TIEMPO:

Figura 1.8. Hoja de flujo de la prospección Táctica dentro de las primeras fases de la prospección minera. El método más común es la geoquímica de suelos.

RECONOCIMIENTO DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS

ESCALA: 1:500 - 1:5.000

("late exploration stage").

SUPERFICIE: 0,5 - 5 Km²

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACION

LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS Y CORTES GEOLOGICOS DE DETALLE.

SONDEOS CON TESTIGO CONTINUO: Muestreo Estadístico y/o Geoestadístico; Estudio Petrológico, **Estudio Geoquímico (Litogeoquímica)**; Estudios Mineralógicos; Diagramas, Ensayos de Beneficio.

PRIMEROS ESTUDIOS ECONOMICOS DE FIABILIDAD.

COSTOS DE OPERACION: Entre 100.000 - 200.000 €/Km².

EQUIPO DE TRABAJO: Ing. Geólogos; Geólogos prospectores y especialistas; Ing. Minas economistas y especialistas; Mineralúrgicos; Geoquímicos; Geofísicos.

TIEMPO: entre seis y dieciocho meses.

15

VALORACIÓN DEL YACIMIENTO

("pre-developement stage")

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

SONDEOS CON TESTIGO CONTINUO:

Malla regular; Muestreo estadístico y/o Geoestadístico, **Litogeoquímica**

LABORES MINERAS DE INVESTIGACION:

Cortas; Trincheras; Pozos; Galerías.

ENSAYOS EN PLANTA PILOTO DE BENEFICIO. **Litogeoquímica**

ESTUDIOS DE FIABILIDAD

COSTOS DE OPERACION: en función de la dimensión, tipo de recursos a determinar y del riesgo , entre los 750.000 € - unos 40.000.000 €.

EQUIPO DE TRABAJO :Ing. de Minas especialistas; Ing. Geólogos; Geólogos prospectores y mineros; Mineralurgistas; Juristas; Economistas.

TIEMPO: entre diez meses a unos cinco años

Figura 1.9. En ambas fases el método más común es la litogeoquímica a partir de sondeos.

El esfuerzo realizado por el Servicio Geológico de la UNESCO entre 1960-1970 se cifra en más de 430.000 muestras tomadas y más de 1.900.000 datos analíticos (Lepeltier 1971) con una intervención de la prospección geoquímica en un 89% de los proyectos.

En la década de los noventa y en el dos mil, estas cifras se han duplicado según AAG (Association of Applied Geochemists). En el 2008 y debido a la gran demanda de minerales como son el uranio, minerales preciosos y minerales base, las empresas de exploración han saturado los laboratorios geoquímicos con muestras de suelos, rocas y vegetación. (Fuentes de AAG).

La prospección geoquímica en la metodología general de la prospección minera de yacimientos de oro reflejada en el esquema de la Fig 1.10. Tal como se observa en las distintas fases de exploración sus distintos métodos son fundamentales en los resultados para localizar y finalmente evaluar un yacimiento (figuras 1.7, 1.8 y 1.9).

METODOLOGIA EN LA PROSPECCIÓN DEL ORO

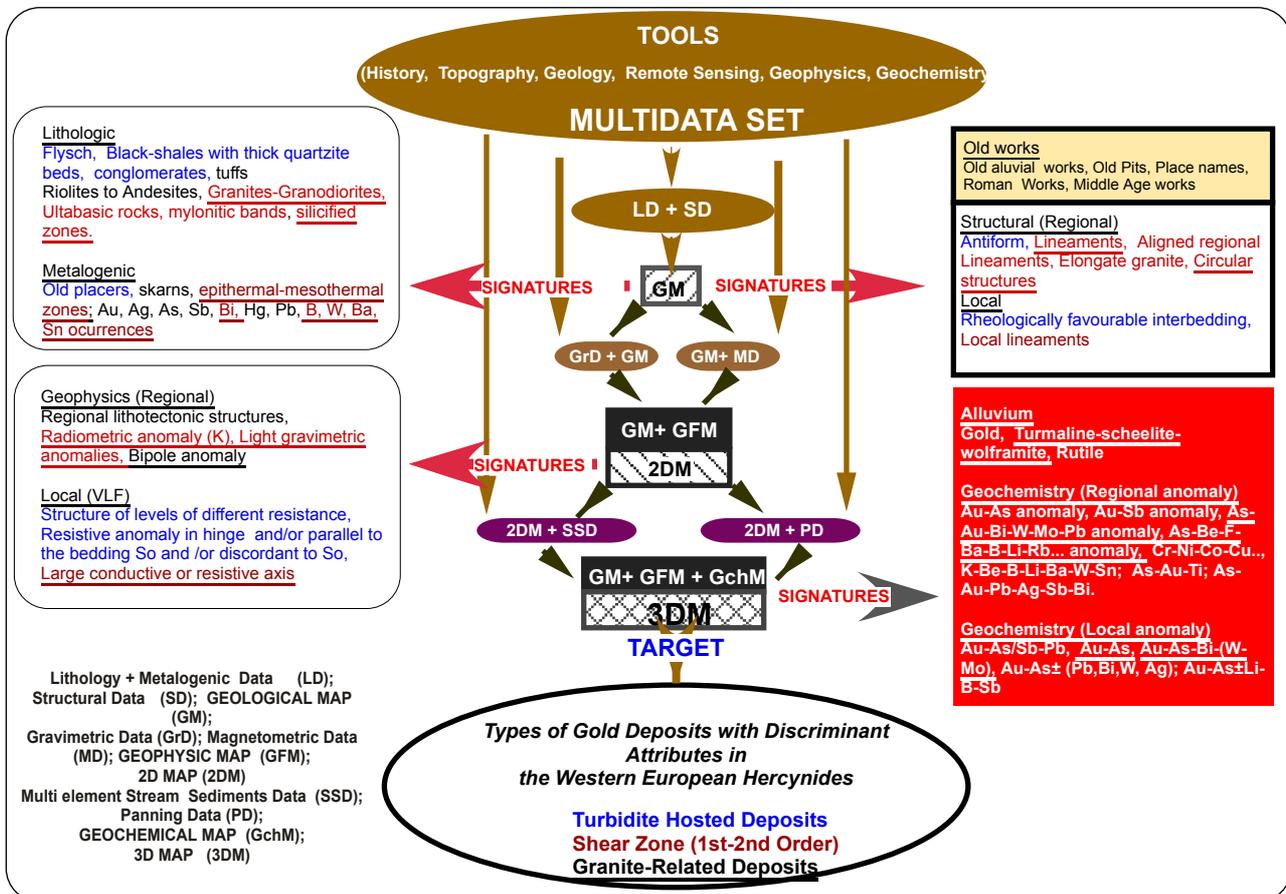


Figura 1.10. En este esquema la geoquímica regional como local darán lugar a una de las señales de identidad de los diferentes depósitos a prospectar. (Viladevall et al (1999, 2006)

En cuanto al porcentaje global de la prospección geoquímica en toda campaña de prospección minera globalizada hasta sus últimas fases se cifra entre un 2-5% del coste. A título de ejemplo Govett (1986), nos indica que una multinacional australiana gastaba unos 3.000 \$ en geoquímica en 1975, 170.000 \$ en 1982 y más de 230.000 \$ en 1983.

Otras empresas multinacionales Australianas según el autor gastaban un 15% del total (excluida la fase de valoración), en 1970 con un global de más de 70 M\$ en el período 1950-1970. Si además tenemos en cuenta que otros servicios como el “US Geological Survey” presentan unos gastos en exploración geoquímica con un porcentaje de un 50% del total, sondeos excluidos, vemos que la participación oscila alrededor del 15% del presupuesto en toda fase de prospección minera, excluida la fase de valoración.

En pequeñas empresas, los datos son algo diferentes, así el autor nos indica que en Australia la geoquímica representa entre el 15-20% de los salarios y entre el 10-15% del total del presupuesto, incluyendo sondeos.

La crisis de la investigación minera a principios de los noventa no afectó a la prospección geoquímica, por su bajo costo y sus resultados espectaculares. A nivel de fase estratégica, en distintas zonas de la Península Ibérica, hay que indicar que el presupuesto dedicado a esta: muestreo, análisis e interpretación, sobrepasaba el 70% de los gastos en dicha fase. Dentro de las fases de la investigación minera (figura 1.3), válidas también en investigación medioambiental, la prospección geoquímica, tal como se puede observar, tiene su importancia cualitativa y cuantitativa en cada una de ellas.

En efecto: en la prospección estratégica los distintos métodos nos permitirán diferenciar, lo que más adelante enunciaremos, el fondo geoquímicos de las anomalías geoquímicas. Estas últimas nos permitirán a su vez, acotar en un primer momento las zonas de relativo interés económico sobre las de bajo valor o estériles y en caso contrario las no contaminadas de las contaminadas.

Cuando el análisis de las distintas publicaciones lo realizamos en función de los distintos elementos observamos que el oro, principalmente en la década de los ochenta y noventa es el mineral que presenta un mayor número de publicaciones, mientras que el uranio, elemento de uso militar y civil (energético) presenta su mayor número de publicaciones en la década de los setenta a los ochenta hasta la moratoria nuclear. (Figuras 1.12 y 1.13 y tabla nº 1.1)

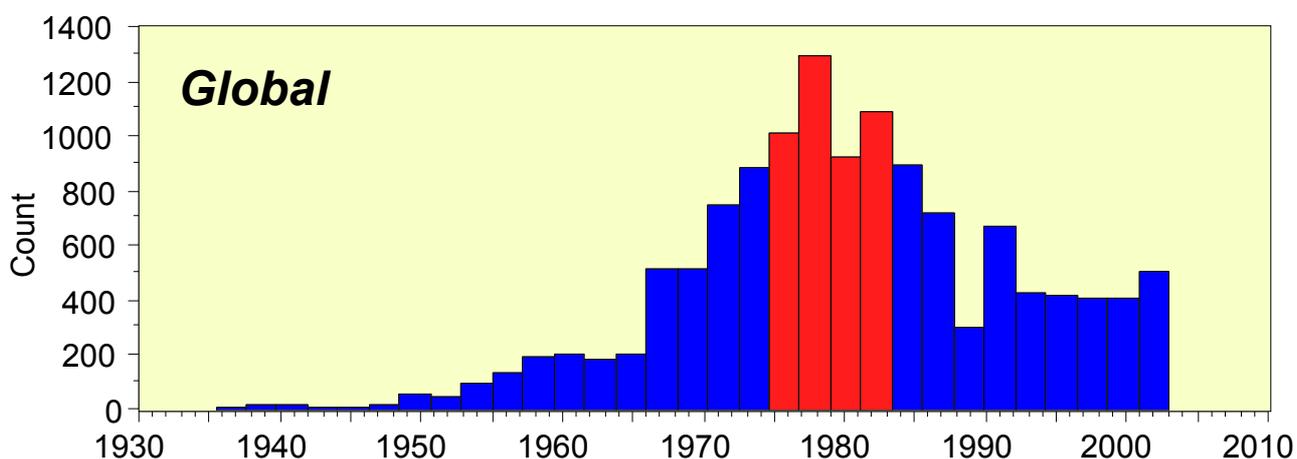


Figura 1.11. La gran exploración minera que se realizó en la década de los setenta ha propiciado la gran cantidad de trabajo que se pueden observar. El relanzamiento de la prospección geoquímica en los noventa y en el siglo XXI se relaciona claramente con los estudios medioambientales.

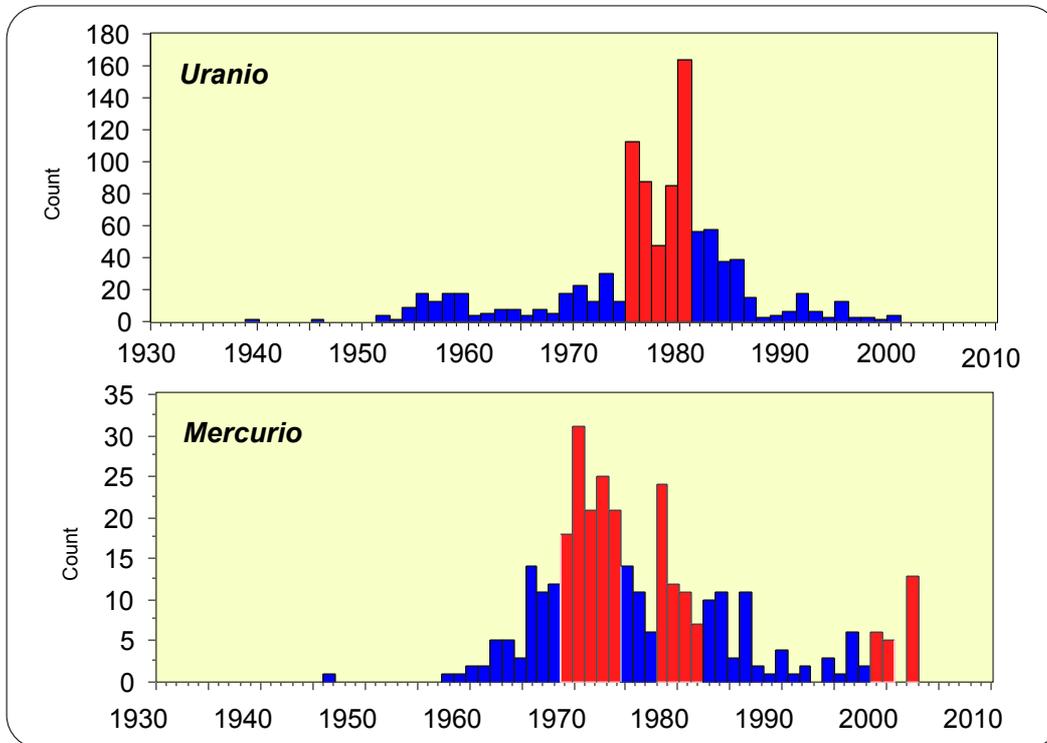


Figura 1.12. La prospección geoquímica del uranio se inicia en la década de los cincuenta como objetivo militar para pasar a definirse para objetivos civiles en la década de los setenta. En el nuevo siglo, la geoquímica del uranio y torio, tiene su interés en el terreno del medioambiente y en un futuro muy próximo de nuevo hacia la exploración con el objetivo de fuente energética primordial. La geoquímica inicialmente tenía como objetivo la exploración minera al tratarse el Hg, uno de los mejores indicadores. En la década de los ochenta y dos mil el interés, se ha centrado claramente a aspectos medioambientales debido a los procesos industriales en general y a los mineros en particular.

Tabla n° 1.1. trabajos según sectores. Figura 1.13

	N° Trabajos	Más antiguo	Más Moderno
Global	12.954	1894	2003
Oro	1.145	1900	2003
Uranio	981	1946	2003
Mercurio	339	1946	2003
Sedimentos aluviales	1.408	1927	2003
Suelos	1.071	1929	2003
Hidrogenoquímica	758	1927	2003
Biogeoquímica	959	1894	2002
Atmogequímica	394	1945	1994
Medioambiente	431	1948	2003

A partir del dos mil, se reemprende la investigación a causa de la necesidad de este elemento menos contaminante para la atmósfera en la emisión de gases de efecto invernadero.

Otros elementos como el cobre, cinc, plomo así como los elementos correspondientes a minerales siderúrgicos, base, preciosos o bien los especiales e industriales se reparten de muy distinta manera. El cobre es el que mayor número de publicaciones presenta junto con el mercurio que su incidencia la tiene principalmente como elemento indicador de otros o "parhfinder" o por los problemas medioambientales que da lugar.

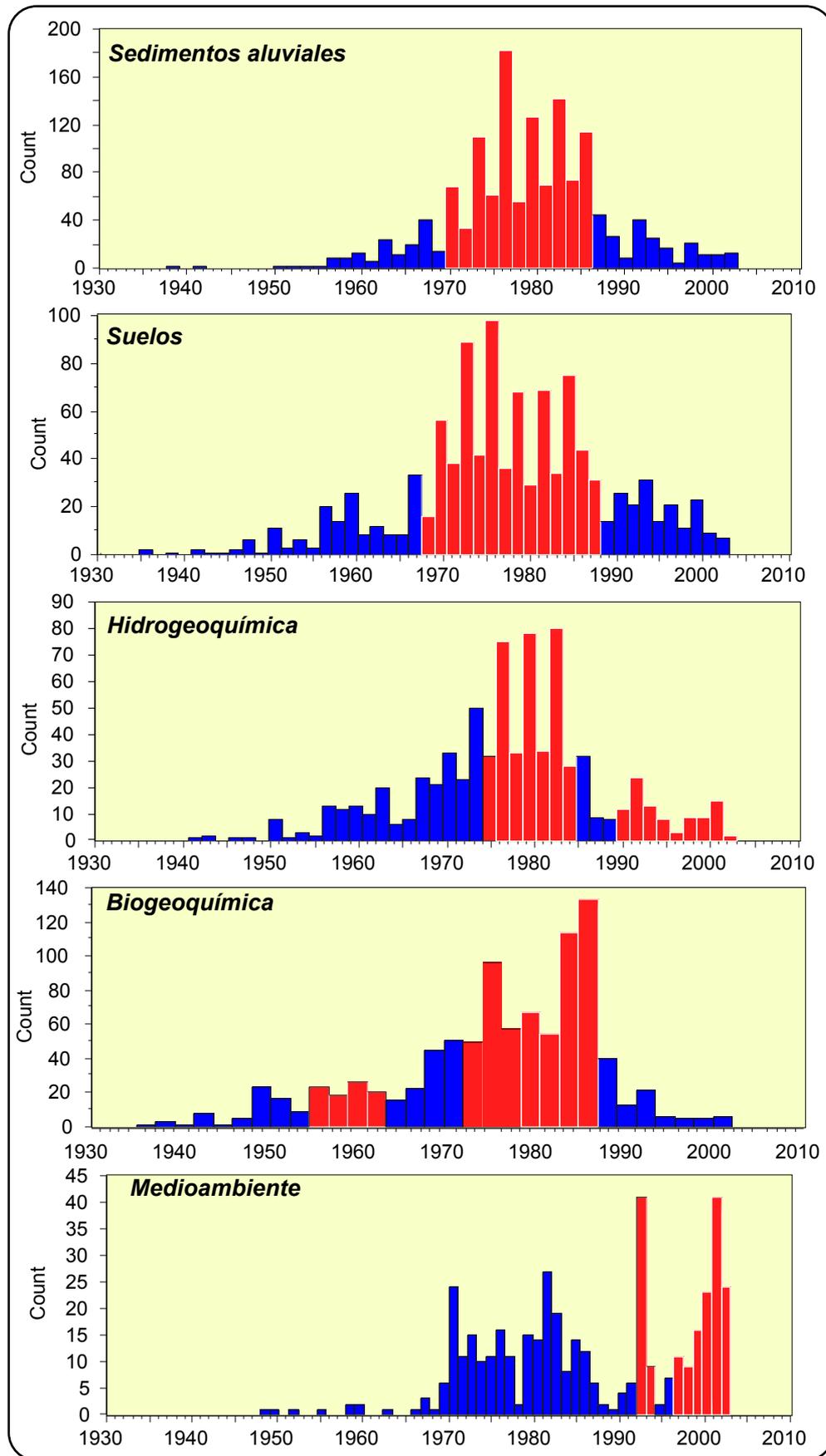


Figura 1.13. Publicaciones sobre exploración geoquímica en redes de drenaje; suelos; biogeoquímica; hidrogeoquímica; atmogeoquímica y medio ambiente. Obsérvese que el mayor número de publicaciones de los distintos métodos tienen lugar entre los años setenta hasta mediados de los ochenta, coincidiendo con la gran eclosión de la industria minera. Esta situación se vuelve a repetir a partir del 2000, coincidiendo esta vez con los trabajos dedicados al medioambiente.

1.3.2. LA GEOQUÍMICA EN LA EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO

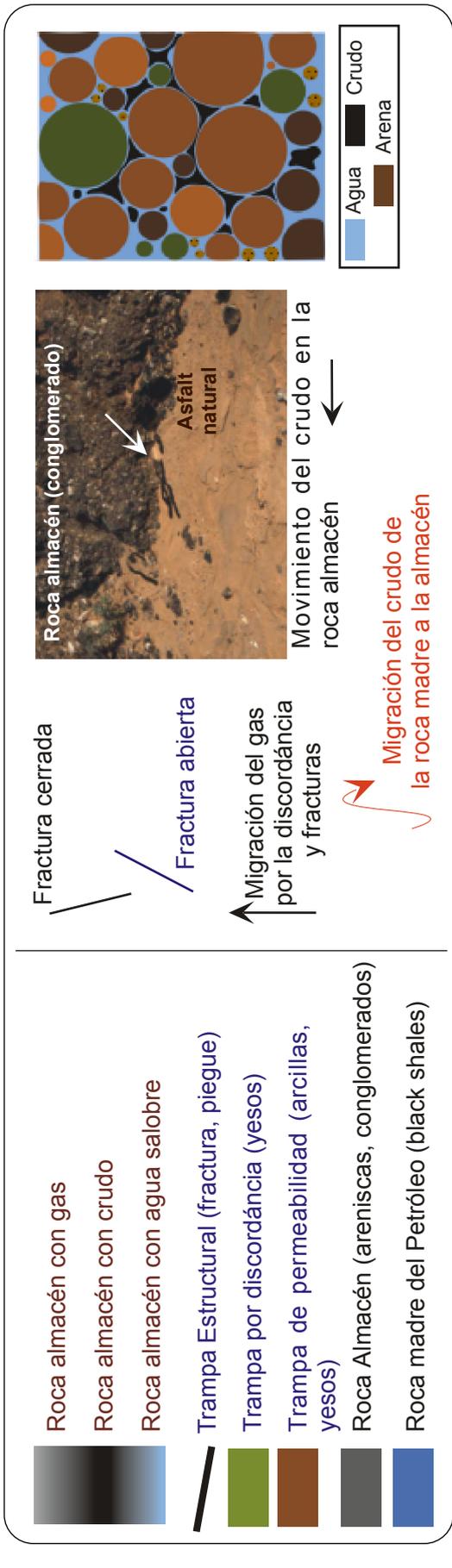
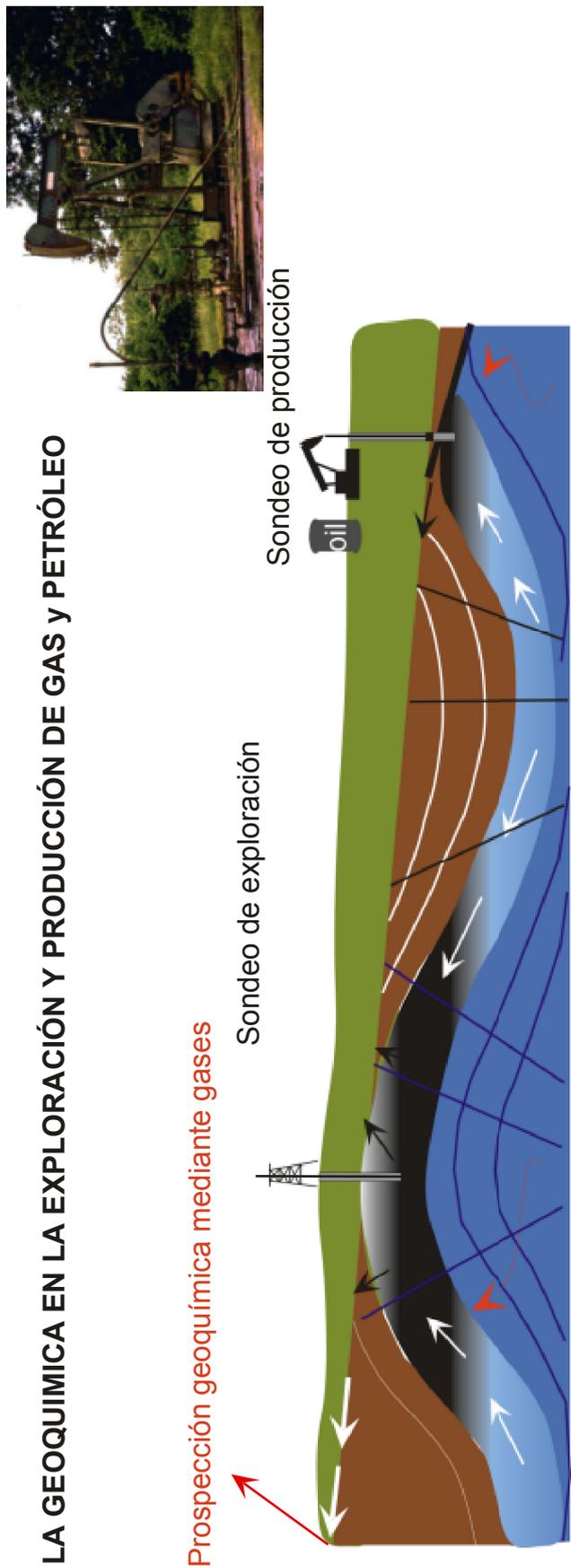


Figura 1.14. La geoquímica en exploración de petróleo se fundamenta en compuestos volátiles del metano.