

OS SOLOS NA TÁBOA PERIÓDICA

DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA, FRANCISCO

Catedrático Emérito da USC

1. INTRODUCCIÓN

Seguindo a clasificación dos elementos químicos, de acordo con o seu predominio nas diferentes “esferas xeoquímicas” de Goldschmidt VM (1954); atmófilos, hidrófilos, biófilos, litófilos, calcófilos e siderófilos, pódese establecer unha primeira relación entre a composición elemental destes compartimentos do planeta Terra e a Táboa Periódica (Figura 1). Seguindo este mesmo procedemento, Blake Gr et al (2008), propoñían recentemente a definición dos elementos “solófilos”, que á súa vez poderíanse situar sobre os grupos e períodos da Táboa e definir nela as súas posibles regularidades ou relacións.

Esta proposta que, teoricamente, non debería xerar ningún problema, na práctica atópase con dificultades que aínda non son doadas de solucionar. Sobre todo pola composición elemental que se lle debería atribuír a suposta esfera dos “solófilos” derivada, como foi o caso das outras esferas, dun número de análises químicas o suficientemente importante como para establecer conclusións de validez xeral. No caso dos solos a situación non é tan clara como nas outras esferas porque as poucas análises xeoquímicas que existen a nivel mundial non semellan reunir tódolos atributos que se lles esixirían a estas determinacións. Fundamentalmente, por que en moitas análises prescínlese sistematicamente da capa orgánica do solo como lle ocorre ao propio Blake GR et al (2008) así como aos precedentes de Jackson (1964), Mitchell (1964), Brooks (1972) ou Rose (1979) (Shacklette HT e Boerngen JG, 1984). Algo, que aínda que pode estar xustificado pola prospección mineral ao que estaban orientadas moitas destas investigacións, resulta inadmisíbel desde un concepto xenuíno do solo, no que a interacción entre os elementos propios da biosfera e da litosfera constitúen o cerne das súas reaccións máis representativas (Díaz-Fierros F, 2011). So, un autor da escola rusa como Vinogradov AP (1959) achega unha primeira información de carácter mundial coa materia orgánica incluída, aínda que non ofrece datos sobre a profundidade das mostras nin do seu número e distribución rexional, polo que non se pode coñecer con seguridade a súa representatividade. Máis recentemente, Bowen HJM (1979), despois dunha ampla consideración sobre datos de diferentes autores (entre os que se inclúe a

Vinogradov AP) ofrece a súa propia valoración sobre o contido elemental dos solos do mundo, considerando os materiais orgánicos, que será a que terán en conta a maioría dos autores posteriores que traten esta temática e, en consecuencia, a que se utilizará neste traballo.

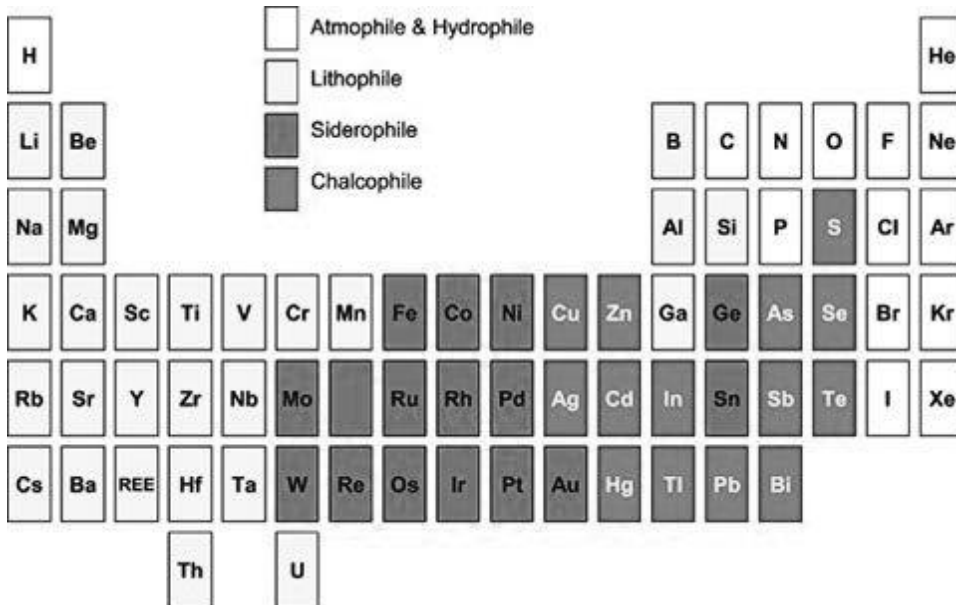


Figura 1. Táboa Periódica cos elementos que predominan nas diferentes esferas xeoquímicas de Goldschmidt (agás os biófilos) segundo Blake GR et al (2008).

2. COMPOSICIÓN DOS SOLOS E TÁBOA PERIÓDICA

De acordo con Bowen HJM (1979) os principais compoñentes do solo superiores ao 1 % en peso serían:

Osíxeno (O)	49.0 %
Silicio (Si)	33.0
Aluminio (Al)	7.1
Hidróxeno (H)	5.0
Ferro (Fe)	4.0
Carbono (C)	2.0 ¹
Calcio (Ca)	1.5
Potasio (K)	1.4

De todas maneiras, para relacionar a composición dos elementos solófilos coa Táboa Periódica e poder incluír outros elementos minoritarios de indubidable interese nos procesos edáficos, consideramos moi axeitada a clasificación proposta por Gerasimov JSL e Glazoskaya MA no seu

¹ Carbono orgánico. Para Vinogradov (1959) o C total sería 5.0

libro *Fundamentals of Soil Science and Soil Geography* (1965) ao referirse a composición elemental dos solos do mundo segundo os datos de Vinogradov (neste traballo utilizaranse os datos de Bowen HJM, 1979):

1. Elementos predominantes (superiores ao 10% en peso): osíxeno e silicio
2. Elementos nunha proporción entre 5 e 10% : aluminio, hidróxeno e carbono.
3. Elementos entre 1 e 5%: calcio, ferro e potasio.
4. Elementos entre 0.01 e o 1%: sodio, magnesio, titanio, nitróxeno, manganeso, fósforo, xofre, bario, circonio, estroncio, flúor e cloro.

Representándoos sobre unha Táboa Periódica (Figura 2) amósase unha distribución bastante irregular dos mesmos, da que pouco máis se pode deducir que todos eles teñen un número atómico baixo (inferior a 12 nos grupos 1 e 2 anteriores e a 38, nos 3 e 4).

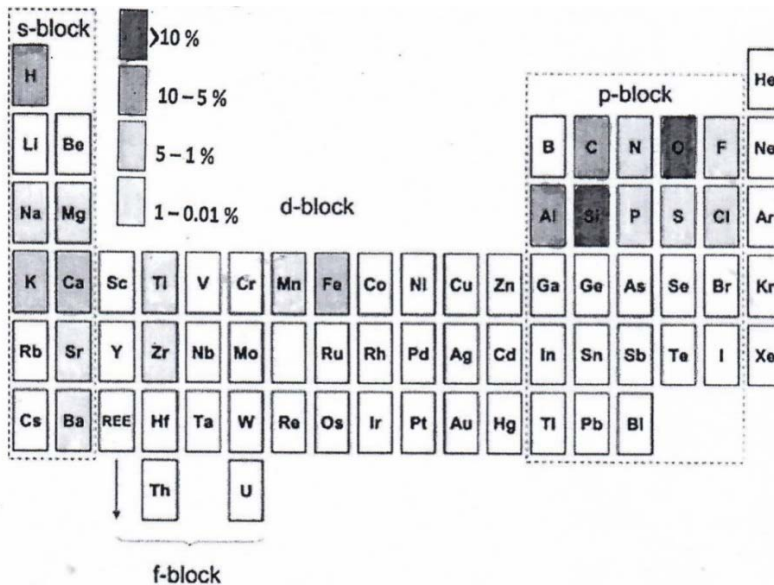


Figura 2. Elementos “solófilos” na Táboa Periódica.

Esta característica, ven herdada da orixe dos elementos no cosmos, na que a parte fundamental está composta por hidróxeno e helio, produtos resultantes do Big Bang, así como os correspondentes aos comprendidos entre o carbono (número atómico: 6) e o ferro (n.a.: 26), creados nunha etapa posterior, que son o resultado das nucleosínteses nas supernovas e noutras estrelas xigantes. O resto dos elementos químicos máis pesados, xa nunha proporción moito máis baixa, serían orixinados por procesos que esixirían cada vez máis achegas de enerxía estelar (Schlesinger WH, 1997).

O planeta terra, mantería estas características de predominio dos elementos con valores baixos do número atómico, coa importante excepción dos elementos máis volátiles (H, He, Ne, N₂ e CH₄) que non poderían ser retidos na órbita terrestre coma nos outros planetas rochosos, pola súa baixa enerxía gravitacional. Os procesos de consolidación da Terra darían orixe á segregación da cortiza cun predominio nela dos silicatos de baixo peso molecular, namentres que os elementos calcófilos e os siderófilos se concentrarían nas capas máis internas do manto e do núcleo.

Os solos, orixinados a partir da cortiza térreste, se diferenciarían da mesma na medida que avanzaba o seu proceso de formación (iniciado hai uns 500 millóns de anos), a partir sobre todo

da bioacumulación dos materiais orgánicos e a perda doutros por alteración e disolución. A comparación das composicións dos solos e da cortiza mediante o *Factor de Enriquecemento* (FE de Sposito G 1989) pode servir para identificar os cambios nos elementos relacionados con estes procesos (de ganancia cando $FE > 1$ e de perda cando $é < 1$):

- a) Bioacumulación (N, 80; C, 52 e H, 3,3)
- b) Alteración (Ca, 0.59 e Mg, 0.39)
- c) Disolución (Cl, 0.77; K, 0.71 e Na, 0.52)

Poderíase tamén definir un cuarto grupo co Al ($FE = 0.88$) e o Si ($FE = 1.1$) con valores no contorno de 1 que se interpretaría como elementos cunha composición semellante á da cortiza, que desde o punto de vista edafoxenético corresponderíase cos elementos conformadores do esqueleto do solo, a parte máis estable e que serve de matriz para os procesos mobilizadores e acumulativos que afectan a os restantes elementos. De todas maneiras, son procesos que non terían un encaixe fácil dentro das regularidades máis coñecidas da Táboa Periódica.

3. ÁTOMOS OU IÓNS?

No ano 2004 o xeólogo da universidade de Georgia (USA) Railsbck LB, sinalaba nun importante traballo ("An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and their ions") ao referirse á Táboa Periódica nas súas versións máis clásicas que, *"Ao poñer o foco sobre os átomos na súa forma elemental mais que cargada, ditas táboas serviron mellor aos químicos que aos científicos da terra, quen consideran que a maioría das cuestións das que tratan refírense aos estados oxidados ou reducidos da natureza"*.

Para resolver este problema construí unha Táboa Periódica na que os elementos aparecen representados segundo seus estados de oxidación, polo que poden incluírse varias veces nela, e por outra parte a divide en tres bloques: a) catións duros, sen electróns externos, b) catións intermedios e brandos con electróns externos e c) anións. A partir da mesma establece unha serie de relacións gráficas de procesos xeolóxicos que poden ser doadamente explicados e referenciados coa nova táboa.

Esta proposta, non facía máis que seguir as formulacións que Goldschmidt VM, un dos pais da xeoquímica, xa anticipara en 1937 cando definiu os principios que controlaban a distribución dos elementos en minerais e rocas, en medios fundamentalmente sedimentarios. Nelas considerou que o potencial iónico definido pola relación entre a carga iónica (Z) e o radio (r) era a propiedade que mellor xustificaba os procesos de acumulación dos elementos nas rochas sedimentarias segundo os grupos de a) catións, b) elementos hidrolizados e c) anións complexos solubles. Poucos anos despois, Hutchinson GE (1943) utilizando o mesmo esquema demostraba como os elementos biófilos acumulaban os elementos que polo seu valor de Z/r (menor de 3 ou superior a 12) eran máis solubles, ben como catións ou coma anións complexos.

Posteriormente, Blake GR et al (2008) aplicaron esta relación Z/r aos solos (Figura 4) establecendo cinco grupos que xustificarían as súas propiedades máis significativas e características:

.- Gupo A: Con Z/r menor de 2, que corresponde aos catións máis simples e de grande mobilidade como o K e o Na. Mobilízanse facilmente nos solos de zonas húmidas e dun xeito especial nos climas cálidos, nos que os ferralsolos están especialmente empobrecidos nestes catións.

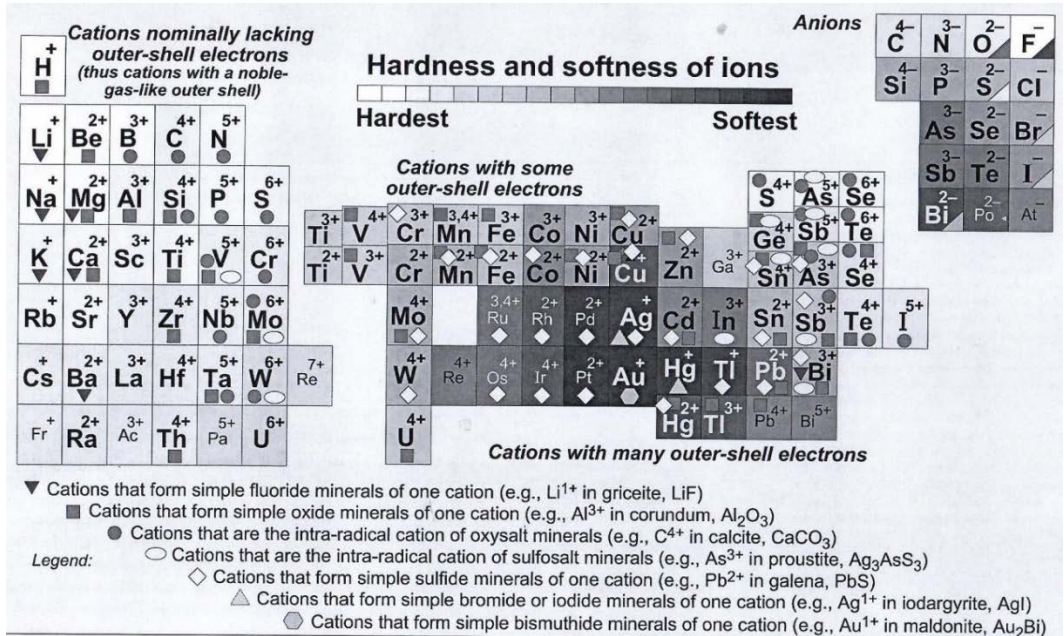


Figura 3. "An earth scientist'periodic table of elements ant their ions" (Railsback LB; 2007)

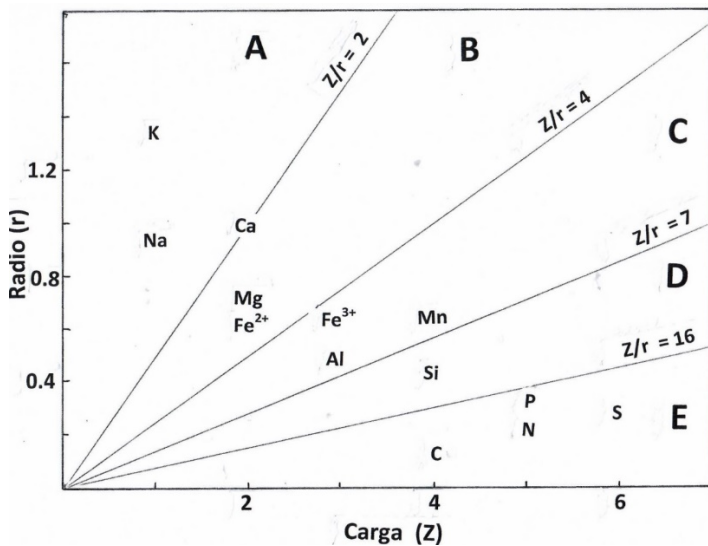


Figura 4. Elementos solófilos segundo o seu valor Z/r en relación cos grupos xeoquímicos de Blake GR (2008).

- Gupo B: Z/r entre 2 e 4, como Ca e Mg. Mobilízanse en forma de hidróxidos ou bicarbonatos complexos nos medios ácidos e poden precipitar como carbonatos nos horizontes inferiores dos Chernosem e Luvisolos.

- Grupo C: Z/r entre 4 e 7, como o Al, Fe e Mn. Inmóviles baixo as condicións normais do solo como consecuencia da baixa solubilidad dos seus hidróxidos. Poden mobilizarse lixeiramente nos pH extremos (baixos e altos), como consecuencia dos complexantes orgánicos e nos ambientes redutores.
- Grupo D: Z/r entre 7 e 16, como o Si. Poden mobilizarse como hidroxoácidos de baixa solubilidad. Xunto co Al inmobilízanse nas arxilas de neoformación.
- Grupo E: Z/r maior que 16, como o C, N, P e S. Teñen grande mobilidade como oxianiós e inmobilízanse a Phs altos nos ambientes áridos e semiáridos. Constituín un dos grupos fundamentais dos elementos biófilos.

4. ZONA CRÍTICA

Outra forma de representación dos elementos químicos segundo a clasificación de Goldschmidt sería mediante un diagrama de Venn no que se reflectirían as interaccións entre as diferentes esferas xeoquímicas. Cada circulo do diagrama representaría o conxunto dos elementos correspondentes a cada esfera xeoquímica (atmófilos, hidrófilos, litófilos, etc.) e as interseccións que se producirían entre eles, os elementos comúns a cada esfera.

No caso dos solos poderíase considerar as iteracións derivadas do novo concepto de “zona crítica” introducido por Lin H (2010), que a define como a capa da cortiza terrestre comprendida desde a baixa atmosfera ata a base dos acuíferos. Nela produciríanse os procesos máis importantes que determinarían a produtividade en biomasa, os ciclos xeoquímicos e a dispoñibilidade dos recursos hídricos, entre outros, polo que o valor estratéxico desta zona no relativo a sustentabilidade da vida sobre a terra sería decisivo. De aí a proposta de considerar esta zona dun xeito unitario, así como a súa denominación de zona crítica. O solo, evidentemente, aínda que non constitúe a totalidade da zona crítica sería un dos seus compoñentes fundamentais.

Os elementos químicos implicados nela virían dados pola interacción das diferentes esferas xeoquímicas que interseccionan nesta zona crítica: atmosfera, hidrosfera, biosfera e litosfera, tal como se representa no diagrama de Venn da figura 5.

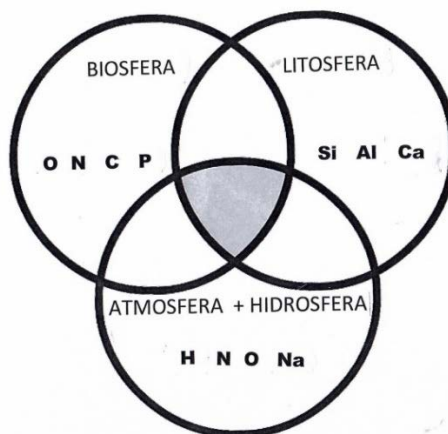


Figura 5. Intersección das esferas xeoquímicas que integran a Zona Crítica, cos elementos químicos que predominan en cada unha (Zona Crítica, en gris).

5. DISCUSIÓN

Tal como propón Railsback LB (2004) os solos, como a maioría dos procesos xeolóxicos externos, relaciónanse moito mellor co Sistema Periódico dos elementos cando estes veñen representados pola súa configuración iónica. Deste xeito o potencial iónico Z/r que Goldschmidt W e outros autores viñan empregando para xustificar o comportamento destes procesos, resulta tamén moi axeitado para a súa aplicación aos solos, tal como, tamén, propoñen Blake GR et al (2008).

Utilizando como referencia o Sistema Periódico iónico de Railsback LB (2004) e como exemplo o bloque esquerdo do mesmo, ao representar sobre el as liñas correspondentes aos valores de Z/r pódense diferenciar con certa claridade os elementos biófilos do solo (C, N, S) con valores superiores a 16, os mobilizados por disolución e alteración (Ca, Mg, Na e K), inferiores a 4, e os de carácter matricial ou de escasa mobilidade por ser constituíntes do plasma arxiloso (Al e Si), comprendidos entre 4 e 16 (Figura 6).

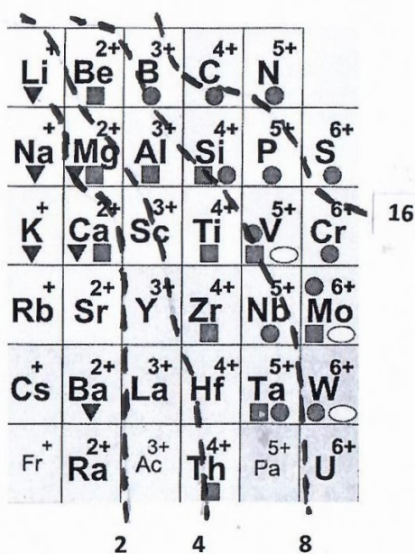


Figura 6. Bloque esquerdo do Sistema Periódico iónico de Railsback LB (2008) con indicación dos valores do potencial iónico (liña descontinua) segundo Railsback LB (2004).

Con estas modificacións, a Táboa Periódica de Mendeleiev, que desde a súa formulación, hai 150 anos, serviu dun xeito mesmo sorprendente para establecer unha amplísima constelación de relacións entre a súa configuración e as propiedades dos elementos, pode tamén ser considerada como un marco conceptual válido para situar as propiedades e os procesos dese compoñente fundamental da Zona Crítica da Terra que definimos como solo.

6. REFERENCIAS

Blake GR et al. 2008. Periodic Table in Soil Science. En *Encyclopedie of Soil Science* (Chesworth W. ed.) Springer. Dordrecht.

Bowen HJM. 1979. *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press. London.

- Díaz-Fierros F 2011. *La ciencia del suelo. Historia, concepto y método*. Univ. Santiago de Compostela.
- Gerasimov JSL e Glazoskaya MA. 1965. *Fundamentals of Soils Science and Soil Geography*. Israel Program Soil Translations. Jerusalem.
- Goldschmidt VM 1937. The principles of Distribution of Chemical Elements in Minerals and Rocks. *Jour. of Chemical Society, 1937* (pxas 655 e segs.)
- Goldschmidt VM 1954. *Geochemistry* (Muir A, ed.). Clarendon Press. Oxford.
- Hutchinson GE, 1943. The biochemistry of aluminium and certain related elements. *Quat. Rev. Biol.*, 18 : 331-363.
- Lin H. 2010. Earth's Critical Zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances. *Hydrol. Earth Sci.*, 14: "5-45.
- Railsback LB. 2004. An earth scientist's periodic table of the elements and their ions. *Geological Society of America Map and Chart Series*. MCH 092.
- Railsback LB. 2007. Patterns in the compositions of oxysalt and sulfosalt minerals, and the paradoxical nature of quartz. *Am. Mineralogist*, 92 : 356-369.
- Shacklette HT e Boerngen JG. 1984. Element Concentrations in Soils and Other Surficial Materials of the Conterminous United States. US Geological Survey . Proff. Paper 1270.
- Schlesinger WH. 1996. *Biogeochemistry. An analysis of Global Change. 2nd. Ed.* Ac. Press. London,
- Sposito G. 1989. *The Chemistry of Soils*. Oxford Univ. Press. New York.
- Vance D e Little SH. 2019. The history, Relevance, and Applications of the Periodic System in Geochemistry. *Structure and Bonding* (12 sept. 2019).
- Vinogradov AP. 1959. *The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. 2nd ed.* Consultanst Bureau Enterprises. New York.