

Extractes i Traduccions

LA COMPOSICIO QUIMICA DE LA TERRA

HENRY S. WASHINGTON

THE AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE
New Haven, Connecticut, Maig 1925. Vol. IX. No. 53

DE les moltes i diverses hipòtesis que s'han donat sobre la distribució de la matèria en la Terra, la que suposa un nucli central de ferroníquel envoltat per una sèrie de capes sòlides gradualment més silicatades, gaudeix, avui, de gran acceptació entre els geofísics. Aquesta teoria té defensors com OLDHAM, WIECHERT, GUTENBERG, SUESS, DALY, CLARKE, ADAMS i WILLIAMSON i l'autor (1). On hi ha discrepàncies és en els detalls: gruix de les capes, llur composició, si són o no discontinues i coses per l'estil. Però, en la hipòtesi que la Terra té la composició abans esmentada, existeix unanimitat.

Avui, els geofísics accepten, doncs, sense discussió, que la Terra és constituïda per un nucli de ferroníquel envoltat per una successió de cuiraces de silicats de composició progressivament variada. L'adopció d'aquest punt de vista és filla de diversos fenòmens, entre els que cal esmentar especialment, la velocitat de les ones sísmiques en travessar l'interior del globus; l'analogia amb els meteorits considerats com fragments de cossos còsmics; la densitat, rigidesa, moment d'inèrcia, magnetisme i altres caràcters físics de la Terra; la compressibilitat dels minerals i roques i els caràcters químics i mineralògics de les roques volcàniques. Aquestes dades són totes convergents i es corroboren mútuament.

Els dos darrers anys registren l'adopció d'un concepte més detallat de l'interior de la Terra, fonamentat especialment en l'analogia amb els meteorits i el fenòmens abans esmentats. La distribució de la matèria, preconitzada per ADAMS i WILLIAMSON i el signant d'aquest article (2), pot veure's il·lustrada en les figures

(1) Per a l'estudi dels caràcters de l'interior de la Terra i de les teories relatives a la seva constitució, vegi's aquest treball de l'autor: "The Interior of the Earth and its Crust". *Journal of the Franklin Institute*, 1925.

(2) L. H. ADAMS i E. D. WILLIAMSON: The Compressibility of Minerals and Rocks at high Pressures. *Jour. Franklin Inst.* 195, 475, 1923; WILLIAMSON i ADAMS: Density Distribution in the Earth. *Jour. Washington Acad. Sci.* 13, 413, 1923; ADAMS i WASHINGTON: The Distribution of Iron in Me-

1 i 2 que representen seccions esquemàtiques de la Terra, del centre a la superfície. Aquestes figures foren exhibides a l'Exposició Anual de l'Institut Carnegie de Washington, l'any 1924. L'original de la núm. 2 era en colors i tenia 10 peus d'alçària.

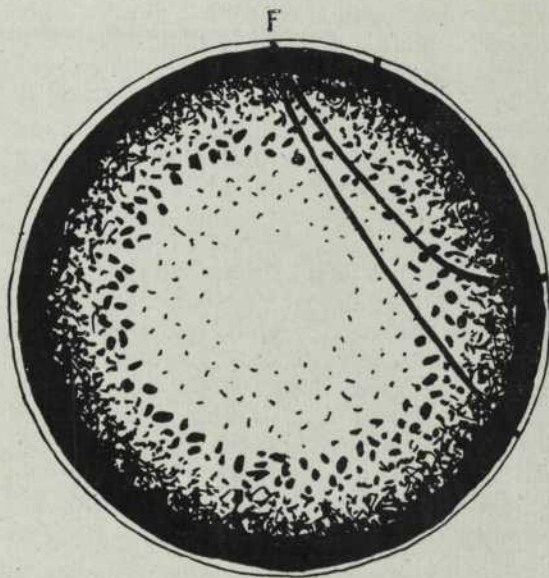


Fig 1
Secció de la Terra pel centre
Les línies negres representen la trajectòria dels terratrèmols des del focus F

En el centre, la Terra està formada per un nucli de ferroníquel semblant, físicament i química, als components metàl·lics dels siderits o meteorits ferrífers; però contenint, potser, menys níquel i més carboni. El radi d'aquest nucli és d'uns 3.400 km. i la seva densitat mitja, 10. Per analogia amb el meteorits, és probable que contingui una quantitat considerable, 50%, de sulfurs (schreibersita, $[\text{Fe}, \text{Ni}]_3 \text{P}$), carburs (cohenita, Fe_3C), sulfurs, (troilita, FeS) i carboni en forma de diamant i grafit.

teorites and in the Earth. *Jour. Washington Acad. Sci.*, 14, 333, 1924; WASHINGTON: The Radial Distribution of certain Elements in the Earth, *Jour. Washington Acad. Sci.* 14, 435, 1924.

Degut a la presència de combinacions silicatades de ferro i magnesi, que augmenten gradualment, del nucli central es passa a la capa o envolta litospòrica (3) (silicats esporàdics en un ciment de ferroníquel), la qual, semblantment a les pallasites meteorítiques, és formada, en la seva major part, per petites partícules d'oliví, banyades o empastades en un *continuum* de ferroníquel metàl·lic. Es suposa, i ací resideix una nova analogia amb els meteorits, que els metalls i silicats hi són repartits en igual proporció. La densitat mitja de la capa litospòrica oscil·la al voltant de 8 i el seu gruix es calcula en uns 700 km.

El contingut metàl·lic de la coberta litospòrica va minvant, mentre s'enriqueix en silicats i es transforma en l'envolta ferrosfèrica (ferroníquel esporàdic en un *continuum* de silicats) formada, especialment, d'oliví i enstatita-hiperstena, amb una petita quantitat d'oligoclasa i un 10 a 25% de ferroníquel metàl·lic. Mineralògicament, aquests materials recorden els meteorits condritics, si bé se'n separen quelcom degut a l'absència de còndruls i de textura tobàcea. La densitat mitja d'aquesta capa és 6 i el gruix uns 700 km.

A continuació d'ella i seqüència de la desaparició gradual del ferroníquel metàl·lic, hi ha una capa, la peridotítica, integrada gairebé del tot per silicats, especialment de ferro i magnesi, formant enstatita hiperstena i en quantitat més inferior oliví i petites proporcions de piroxens càlcics i feldespatos i, en major escala, labradorita. Aquesta composició és ben semblant a una peridotita. En aquesta capa gairebé no hi ha ferroníquel; la seva composició general s'acosta a la dels meteorits acondritics. Densitat mitja: 4 i gruix de 1500 a 1600 km.

En totes aquestes esferes buides sobreposades, més o menys silicatades, és molt probable que hi hagi, per analogia amb els meteorits, un petit percentatge de compostos exempts d'oxigen: sulfurs (troilita i oldhamita), fosfurs (schreibersita), carburs (cohenita) i clorurs (lawrencita) i en més inferior quantitat cromita i magnetita. És possible, encara, que les zones superiors continguin borurs i nitrurs.

Envoltant la capa peridotítica i probablement barrejades en els llurs límits, existeix la crosta terrestre pròpiament dita, amb un gruix probable de 60 km.; amb seguretat no

(3) Els mots *litospòric* i *ferrosfèric* han estat proposats per nomenar aquells materials en els quals, respectivament, el silicat és esporàdic en un *continuum* de ferroníquel i el ferroníquel és esporàdic en un *continuum* de silicat. Vegi's: ADAMS i WASHINGTON, op. cit. pàg. 336.

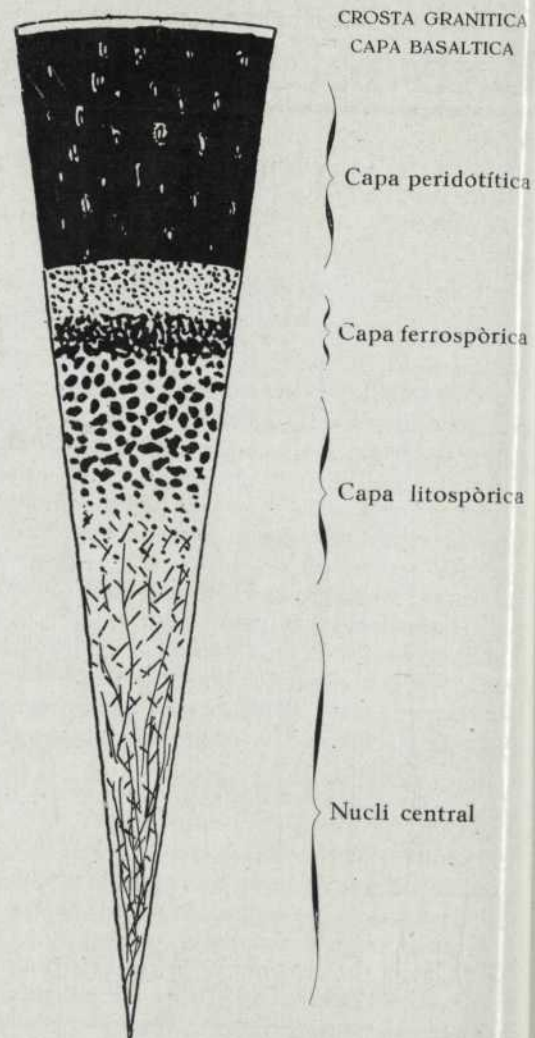


Fig. 2

Sector de la Terra des del centre a la Superfície; s'hi veu el nucli de ferroníquel i el neixement gradual en silicats vers la superfície. El nucli és blanc o gris; l'oliví, negre i la peridotita, gris fosc.

superior a 100. La part més inferior, fins uns 40 km., és, químicament i mineralògica, de composició basàltica o gabbroica i la seva densitat mitja és 3.2. D'aquesta capa passa, paulatina i gradual, a la capa exterior, de 15 a 20 km. de gruix, la composició de la qual és anàloga a la dels granits o granodiorites i de densitat 2.8. Aquesta és la única part del globus accessible a la nostra observació directa.

Aquesta capa més externa és l'anomenada de les roques ígnees. Els estrats de roques sedimentàries que reposen sobre d'elles, així com les roques metamòrfiques, provinents de les ígnees i sedimentàries, no són objecte, ací, de discussió, puix unes i altres deriven de les roques ígnees. Altrament, llur quantitat és insignificant en el conjunt de la Terra.

La distribució de la matèria, tal com aca-

bem de donar-la, vé a constituir una primera aproximació, avalada en els seus trets generals i també en els detalls, per moltes dades convergents (que no podem enumerar suara) que ens la fan suposar correcta. Això ens permet d'arribar a posseir una noció de la composició general del globus, utilitzant els elements de judici que aquella distribució hipotètica ens proporciona.

En primer terme hem de conèixer els volums i les masses del nucli i de les diverses capes. Els resultats dels meus càlculs sobre uns i altres són exposats en la Taula I. La Terra, considerada esfèrica, té un radi de 6.400 km. L'exactitud de les densitats i dels volums i masses calculats recolza, relativament, en la correspondència entre la densitat de la

rros basàltics d'Ovifak i Buhl contenen menys níquel i més carboni que no es troba en els ferros meteòrics.

La capa litospòrica (pallasítica) se la calcula composta per parts iguals de ferroníquel i d'oliví, tal com s'esdevé en les pallasites meteòriques (6). El metall és suposat d'ídèntica composició que el del nucli central i l'oliví en la proporció $MgO:FeO=5:1$, que és, aproximadament, la de l'oliví de la pallasita. Els resultats d'un estudi de CHIRVINSKY (7) sobre l'oliví pallasític i moltes pallasites, coincideixen amb les esmentades composicions hipotètiques.

La composició de l'envolta ferrosfòrica s'ha calculat partint de la composició mitja dels meteorits litosidèrics, evaluada per MERRILL (8), després de 53 anàlisis. El mètode seguit

TAULA I

Volums i masses del nucli i de les diverses cobertes de la Terra (4).

| | Gruix Km. | Volum Km ³ ×10 ¹² | Densitat | Massa Tones×10 ²¹ | Massa % |
|----------------------------|-------------|--|----------|---------------------------------|------------|
| Nucli central... .. | 3400 (radi) | 0.1646 | 10. | 1.646 | 27.30 |
| Capa litospòrica... .. | 700 | 0.0641 | 8. | 0.513 | 8.51 |
| " ferrosfòrica | 700 | 0.2345 | 5.8 | 1.360 | 22.55 |
| " peridotítica | 1540 | 0.6043 | 4. | 2.417 | 40.08 |
| " basàltica | 40 | 0.0203 | 3.2 | 0.065 | 1.08 |
| " granítica... .. | 20 | 0.0102 | 2.8 | 0.029 | 0.48 |
| La Terra en conjunt | 6400 | 1.0980 | 5.49 | 6.030 | 100.00 |

Terra, la qual, com ja se sap, és de 5'52 i la densitat mitja, deduïda d'aquelles 5'49. La diferència, com es veu, és sols d'un 5%.

L'estudi que segueix s'ha fet calculant la densitat mitja de cada capa.

S'accepta com composició del nucli central de ferroníquel, la que correspon al promig, calculat per FARRINGTON (5), de 318 meteorits ferrífers. Com s'esdevé en la majoria dels anàlisis de meteorits ferrífers, en aquesta xifra mitja el percentatge de sofre, fòsfor i carboni trobats són, probablement, més baixos que els veritables, puix, per regla general, no s'inclou en el material analitzat una certa proporció de nòduls de troilita, schreibersita i grafit que, gairebé segur, eren presents. També és possible que la quantitat de níquel sigui en excés i la de carboni en defecte, puix els fe-

consistí en dividir la suma dels percentatges de cada element constitutiu, pel nombre de determinacions. Aquest mètode és preferible a la divisió de la suma pel nombre d'anàlisis (9). Els càlculs de MERRILL inclouen també set anàlisis de meteorits acondrítics però aquesta xifra és tan petita que no pot alterar el resultat. PRIOR (10) ha cridat l'atenció sobre la remarkable uniformitat de la composició química i mineralògica dels meteorits condrítics.

Per a la composició de la capa peridotítica, vaig calcular el promig de 20 anàlisis de meteorits acondrítics, en els quals serviren de ma-

(6) El subgrup dels sideròlits que contenen piroxèn amb oliví (lodranita i mesosiderita) i els dels que contenen piroxèn amb asmanita (tridimita) en lloc d'oliví (sideròfirs) no són inclosos aci, puix degut a la llur escassetat pot prescindir-se'n en una discussió de caràcter general.

(7) CHIRVINSKY: The Pallasites, *Min. Abstr.*, 2.83. 1923.

(8) MERRILL: *Mem. Nat. Acad. Sci.*, 14, N.º 1, 28. 1916.

(9) Cf. CLARKE i WASHINGTON: The Composition of the Earth's Crust. *U. S. Geol. Survey. Prof. Paper* 127.10.1924.

(10) PRIOR: *Min. Mag.* 17.33.1913.

(4) Les densitats de les envoltas litospòrica, ferrosfòrica i peridotítica, han estat preses de la corba de densitats en funció de la fondària de WILLIAMSON i ADAMS: *Jour. Washington Acad. Sci.* 13. 425 fig. 3. 1923.

(5) FARRINGTON: *Analyses of Stone Meteorites Field Columbian Mus.*, Pub. No. 151.212, 1911.

terial els de bona qualitat (11). El mètode de càlcul és el mateix que han seguit CLARKE i WASHINGTON i MERRILL. Les xifres difereixen considerablement de les que DALY (12) troba en els seus estudis sobre les peridotites terrestres; però coincideixen gairebé totes amb els resultats dels anàlisis de la diabasa olivínica de Nova Jersey, de les hiperstenites hornblèndiques del Brasil i de l'Índia i del basalt olivínic de Hawaii (13).

Per a la capa basàltica infracortical s'han utilitzat les dades que DALY (14) va obtenir en els seus anàlisis dels basalts i per a la capa granítica externa, els més recents anàlisis de les roques ígnees (15). En tots aquests resultats s'ha prescindit dels elements que entren en propor-

cions reduïdes, llevat del titani, fòsfor, cromi, sofre i manganès, tota vegada que la importància d'aquells és insignificant, davant el conjunt de la Terra.

Les composicions química i mineralògica esmentades en les taules II, III i IV poden admetre's com una primera aproximació. Estan en relació amb els càlculs fets sobre les masses i la composició de les diverses capes, els quals semblen ésser bastant exactes, puix corresponen a la densitat mitja de la Terra. Naturalment que aquests resultats són afectats per les dificultats que presenta l'anàlisi dels meteorits, gairebé totes filles de la pobresa del material i de la distribució irregular dels elements que els constitueixen. Així resulta que les proporcions de sofre, fòsfor i carboni en el nucli, capa litospòrica i la Terra en conjunt són, probablement, inferiors a les veritables, puix aquests elements, que entren en els meteorits ferrífers i litospòrics com components dels nòduls, no sempre queden inclosos en els materials analitzats i no es troben, en general, en estat apropiat per al reconeixement. La quantitat de clor és, potser, massa baixa; això és degut a què aquest element es determina ben poques vegades, tot i la seva presència, a l'estat de Cl_2Fe , en molts meteorits ferrífers i litosidèrics. El níquel i el

(11) Els anàlisis foren de: Angra, Binda, Bishopville, Constantinobla, Cumberland (porció blanca), Frankfort, Ibbenbühen, Jelica, Juvinas (MERRILL), Manbhoom, Managaon, Massing, Nakhla, Novo Urei, Peramiho, Petersburg, Shalka, Shergotty, Stannern (MERRILL), Zmenj. No hi ha inclòs l'anàlisi del de Jonzac per MICHEL. (*Tsch. Min. Pet. Mitth.*, 31.589.1912).

(12) DALY: *Igneous Rocks*, 1914. 29. N.º 7

(13) Cf. WASHINGTON: *U. S. Geol. Survey*, Prof. Paper. 99; Subrango IV. 1. 2. 1. 2 (hilosa), 707. 1917.

(14) DALY: *Igneous Rocks*, 1914. 27. N.º 53.

(15) CLARKE i WASHINGTON: *The Composition of the Earth's Crust.*, *U. S. Geol. Survey*, Prof. Paper 127. 16 i 20. 1924.

TAULA II

Composició de la Terra en les seves parts estructurals (%)

| | Nucli central | Envolta litospòrica | Capa ferrosfòrica | Coberta peridotítica | Capa basàltica | Crosta granítica | Tota la terra |
|-------------------------|---------------|---------------------|-------------------|----------------------|----------------|------------------|---------------|
| Ferro metàl·lic | 90.67 | 45.34 | 12.18 | 1.18 | — | — | 31.82 |
| Níquel metàl·lic | 8.50 | 4.25 | 1.57* | 0.33 | — | — | 3.16 |
| Cobalt metàl·lic | 0.59 | 0.30 | 0.07 | 0.04 | — | — | 0.23 |
| O | — | 21.11 | 37.10 | 12.05 | 44.24 | 46.50 | 27.71 |
| Si | — | 9.35 | 18.34 | 23.00 | 23.24 | 27.72 | 14.53 |
| Al | — | — | 1.55 | 3.26 | 8.46 | 8.13 | 1.79 |
| Fe (sil.) | — | 6.18 | 10.37 | 12.33 | 8.86 | 5.01 | **7.94 |
| Mg | — | 13.36 | 13.88 | 10.91 | 3.78 | 2.09 | 8.69 |
| Ca | — | — | 1.72 | 5.09 | 6.51 | 3.63 | 2.52 |
| Na | — | — | 0.65 | 0.50 | 2.35 | 2.85 | 0.39 |
| K | — | — | 0.14 | 0.22 | 1.28 | 2.60 | 0.14 |
| Ti | — | — | — | — | 0.83 | 0.63 | 0.02 |
| Cr | — | — | 0.34 | 0.31 | — + | 0.04 | 0.20 |
| Mn | — | — | — | 0.18 | 0.25 | 0.10 | 0.07 |
| S | 0.04 | 0.01 | 1.82 | 0.54 | — + | 0.05 | 0.64 |
| P | 0.17 | 0.09 | 0.12 | 0.06 | 0.20 | 0.13 | 0.11 |
| C | 0.03 | 0.01 | 0.15 | — | — | 0.09 | 0.04 |
| Incl... .. | — | — | — | — | — | 0.34 | — |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

* Hom inclou ací el Ni del NiO + Probablement sobre 10; Daly, no ho admet.

** Total de Fe = 39.76.

cobalt tampoc no són, sovint, separats i determinats, particularment en els antics anàlisis de meteorits, molts dels quals, i no n'hi ha d'altres, són dubtosos i incomplets. Per això cal inculcar als directores i conservadors de museus la idea que el meteorit no han d'ésser mostres destinades a l'exhibició en una vitrina, sinó objectes d'estudi. Tot i això, les xifres obtingudes dels anàlisis de molts meteorits ens donen una idea, en general correcta, de la constitució de la Terra, admetent-ne l'estructura d'acord amb els punts de vista exposats.

Els textils no han estat inclosos en aquesta discussió, puix encare avui es discuteix el llur origen terrestre o meteorític. L'autor opina, però, que deriven de meteorits i representen la crosta exterior d'un d'ells o del cos còsmic que originà els meteorits. Altrament, la llur petita proporció, permet de prescindir-ne.

Considerem ara els primers elements (Taula II). Quatre d'aquests: el ferro, que és el més abundant, l'oxigen, el silici i el magnesi, formen més del 90% de la Terra; sumant-n'hi altres tres: níquel, calci i alumini, constitueixen el 98'2% i amb cinc més: sofre, sodi, cobalt, crom i potasi, arriben al 99'8% de la Terra. A aquesta sèrie cal, probablement, afegir-hi el fòsfor, amb un augment de 0'1% i potser també el carboni i el clor, amb un increment conjunt de 0'05%. D'ací en resulta que la Terra és integrada, gairebé exclusivament, per 12 o 14 elements, i que les proporcions en què hi entren els 78 o 80 restants són gairebé menyspreuables, quantitativament, fins a l'extrem que no arriben a constituir més enllà de 0'1% del globus.

CLARKE (16) ha calculat la composició global de la Terra a partir d'un nucli de ferroníquel envoltat per una litosfera, assignant a abdues parts un volum igual i establint entre llurs masses la relació 71:29. Les dades de CLARKE venen exposades en la Taula III. FARRINGTON (17) opina que la composició de la Terra pot representar-se per la composició mitja del meteorit; amb aquest fi calcula el promig de l'anàlisi de 318 siderits i de 125 litometeorits, arribant als resultats que també es donen en la Taula III. HARKINS (18) proposa una modificació dels re-

sultats de FARRINGTON, basada en el nombre relatiu de casos i expressada en percentatges atòmics. CHIRVINSKY (19) ha suggerit la idea d'un hipotètic *terrium* o matèria primordial, que representaria, en conjunt, la composició de la Terra. Aquestes opinions són semblants en els seus trets generals; però difereixen de les meves per la major proporció que donen al ferro, com seqüència dels punts de partida de llurs autors, que, ultra no ésser els mateixos, són quelcom arbitraris (19 a).

TAULA III (18 a)

Composició total de la Terra

| | Washington 1925 | Farrington 1911 | Clarke 1924 |
|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Ferro metàl·lic ... | 31.82 | 68.43 | 67.20 |
| Níquel metàl·lic ... | 3.16 | 6.50 | 6.04 |
| Cobalt metàl·lic | 0.23 | 0.44 | 0.41 |
| Oxigen... .. | 27.71 | 10.10 | 12.77 |
| Silici | 14.53 | 5.20 | 6.98 |
| Magnesi | 8.69 | 3.80 | 2.13 |
| Ferro (silicat) | 7.94 | 3.63 | en metall |
| Calci | 2.52 | 0.46 | 1.12 |
| Alumini | 1.79 | 0.30 | 1.86 |
| Sofre | 0.64 | 0.49 | 0.96* |
| Sodi | 0.39 | 0.17 | 0.58 |
| Crom | 0.20 | 0.09 | 0.07 |
| Potassi... .. | 0.14 | 0.04 | 0.39 |
| Fòsfor... .. | 0.11 | 0.14 | 0.16 |
| Manganès | 0.07 | 0.03 | 0.08 |
| Carbó | 0.04 | 0.04 | — * |
| Titani | 0.02 | — | 0.15 |
| | 100.00 | 100.00 + | 100.00 |

* "Sofre, carboni, coure". ** "altres elements 0.05."

Els elements que més abunden en la Terra, són tots de poc pes atòmic (encara que no els de menor) i de nombre atòmic poc elevat. El pes

(18 a) G. LINCK (Aufbau des Erdballes, Jena, 1924, p. 15) calcula així la composició de la Terra: Fe, 50; O, 22; Si, 11'5; Mg, 9; Ni, 6; Ca, 1'3; Al, 0'6; S, 0'5-1'0; Na, 0'1-0'2; K, 0'1; H (màx.), 1'0.

Aquesta nota ha estat afegida durant la correcció de proves.

(19) CHIRVINSKY: On the Question of the Laws of Formation of the Chemical Elements in the Universe. *Extracete del Min. Abstr.*, 2. 84. 1923 (original en rus).

(19 a) Tota composició mitja de meteorits, fonamentada en la dels meteorits ferrífers i litosidèrics, queda invalidada pel fet segons el qual els meteorits ferrífers són més fàcils de reconèixer com tals meteorits i estan menys exposats a l'alteració que els segons, com remarquen MERRILL i d'altres. D'ací prové que aquesta mena de càlculs donin quantitats de ferro superiors a les reals.

(16) CLARKE, F. W.: The Evolution and Disintegration of Matter; *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 132-D*, 76. 1924. CLARKE segueix pràcticament la distribució de WIECHERT (Ueber die Massenverteilung im Innern der Erde, *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen*, 1897, 221).

(17) FARRINGTON: Analyses of Stone Meteorites, *Field Mus. Nat. Hist.*, Publ. N.º 151, 213, 1911.

(18) HARKINS, W. D.: The Evolution of the Elements, *Jour. Amer. Chem. Soc.*, 39. 864. 1917.

TAULA V
COMPOSICIO MINERALOGICA DE LA TERRA

| | Nucli central | Envolta litospòrica | Envolta ferrosfòrica | Envolta peridotítica | Envolta basàltica | Envolta granítica | Tota la terra |
|--|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Fe ₁₁ (Ni, Co) | 98.34 | 49.24 | 10.55 ¹ | 1.57 ² | — | — | 34.03 ³ |
| 2 (Mg, Fe) O. SiO ₂ | — | 50.00 | 42.20 | 12.82 | 0.48 | — | 18.92 |
| (Mg, Fe) O. SiO ₂ | — | — | 23.26 | 43.92 | 12.88 | 8.78 | 23.03 |
| Ca O. (Mg, Fe) O. 2 SiO ₂ | — | — | 5.59 | 18.33 | 14.11 | 6.56 | 8.79 |
| Ca O. Al ₂ O ₃ . 2 SiO ₂ | — | — | 3.34 | 13.23 | 25.10 | 15.54 | 6.39 |
| Na ₂ O. Al ₂ O ₃ . 6 SiO ₂ | — | — | 7.34 | 5.83 | 26.80 | 33.12 | 4.45 |
| =O. Al. O ₃ . 6 SiO ₂ | — | — | 1.11 | 1.69 | 8.95 | 18.65 | 1.12 |
| Fe S | 0.12 | 0.03 | 4.99 | 1.53 | — | — | 1.77 |
| (Fe, Ni), P | 1.12 | 0.59 | — | 0.40 | — | — | 0.52 |
| Fe, C | 1.42 | 0.14 | — | 0.68 | — | — | 0.22 |
| FeO. Cr ₂ O ₃ | — | — | 0.70 | 0.68 | — | — | 0.43 |
| FeO Fe ₂ O ₃ | — | — | — | — | 10.67 ⁴ | 6.49 ⁴ | 0.15 ⁴ |
| Apatia | — | — | 0.67 | — | 1.01 | 0.68 | 0.13 |
| SiO ₂ | — | — | — | — | — | 10.18 | 0.05 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

¹ Fe₁₀(Ni, Co). ² Fe₁₀(Ni, Co). ³ Fe₁₀(Ni, Co). ⁴ Inclou FeO. TiO₂. ⁵ Inclou 0.15 C.

els silicats que comencen a presentar-se en la porció exterior del nucli creixen, depressa primer, en la coberta litospòrica i després amb més lentitud fins assolir un màxim en la capa peridotítica, que integren gairebé totalment. Minven veloçment en la crosta, en la qual es presenten la magnetita i el quars.

Entre els compostos no oxidats es troba el sulfur de ferro en màxima quantitat en la capa ferrosfòrica, minvant gradualment abans i després d'ella; el fosfur de ferroníquel (schreibersita) i el carbur de ferro (cohenita) disminueixen del centre vers l'exterior, mentre que la cromita augmenta en aquest mateix sentit, fins assolir el màxim en l'envolta peridotítica. Aquests augments harmonitzen amb les quantitats relativament importants que d'aquests elements es troben en els meteorits, en els quals abunden la schreibersita, la cohenita i el grafit si són sidèrics, la cromita si són lítics i la troilita en uns i altres.

Entre els silicats, l'ortosilicat d'oliví decreix ràpidament des de la coberta litospòrica (pallasítica), en la qual hi és en quantitat màxima, fins a la basàltica; en l'envolta ferrosfòrica està parcialment substituït pel metasilicat piroxèn; aquesta substitució és gairebé total en la coberta basàltica i absoluta en la granítica. A l'ensem, hom nota un augment gradual centrífug en les quantitats de diòpsid en relació amb les d'hiperstenes i més encara amb les d'oliví.

Els feldespatos són escassos en la coberta ferrosfòrica; però augmenten d'una manera

ràpida, vers l'exterior, fins a predominar en la granítica. En la capa ferrosfòrica l'albita predomina sobre l'anortita (l'oligoclasa és el feldespat corrent dels meteorits condritics); en l'envolta següent l'anortita predomina sobre l'albita (en els meteorits acondritics el feldespat corrent és la labradorita); en les capes successives l'albita creix ràpidament (23). L'ortosa, que escasseja en la coberta ferrosfòrica, augmenta depressa vers l'exterior fins fer-se abundosa en la crosta granítica. El quars, que abunda en la coberta granítica, és una raresa en els meteorits (24), si bé cal remarcar que l'asmanita (tridimita) es presenta de vegades en alguns meteorits litosidèrics.

Aquestes diverses sèries minerals progressives, són evidents també en la distribució dels elements i òxids. El ferro, metàl·lic i silicatat, és, en absolut, l'element més abundant prop del centre; però decreix ràpidament vers l'exterior, fins a quedar en quart lloc entre els elements més abundants en la crosta granítica; en la coberta peridotítica no se'l troba ja a l'estat metàl·lic. L'oxigen, absent del nucli central, arriba depressa al segon lloc en l'envolta litospòrica i des d'aquesta vers l'exterior, per un augment paulatí, passa a ésser el més abundant. És molt notable el fet que l'òxid fèrric Fe₂O₃ es presenti, excepcionalment, no

(23) MICHEL, H.: Die Feldspate der Meteoriten. *Tsch. Min. Petr. Mitth.* 31. 563. 1912. FARRINGTON: *Meteorites*, 1915. 169.

(24) MERRILL: Quartz in meteoric Stones. *Amer. Mineral.*, 9. 112. 1924.

més que en el meteorits lítics o sidèrics i encara com producte d'alteració; en aquests casos l'òxid de ferro principal és FeO i molt poques vegades Fe₃O₄. Simultàniament amb aquestes progressions inverses de ferro metàl·lic i oxigen, es presenten i disminueixen gradualment els compostos no oxidats (schreibersita, cohenita, grafit) en el nucli i en la coberta litospòrica, així com els òxids (cromita, magnetita) en les envoltes ferrosfòrica i successives, presentant-se el quars en la més externa granítica. Els sulfurs ocupen una posició intermitja entre els fosfurs i carburs i els òxids. La draubeelita (SFe.Cr₂S₃) es troba solament en els siderits; la troilita (SFe) indistintament en els siderits i en els lítics i l'oldhamita (SCa) únicament, i encara ben poques vegades, en els lítics.

GOLDSCHMIDT (25) i TAMMANN (26) preconitzen l'existència d'una coberta intermitja del mateix gruix que jo atribueixo a les crostes litospòrica i ferrosfòrica juntes i situada a la mateixa fondària, però composta, en la seva major part, per sulfurs amb alguns òxids. Jo no puc acceptar la gran importància i l'abundor que aquests autors atribueixen al sofre, perquè no la veig d'acord amb les dades subministrades per les roques ígnees i altres observacions geològiques, ni en harmonia amb els meteorits.

El silici segueix una trajectòria gairebé igual a la de l'oxigen; l'increment progressiu en sílice és, per tant, molt semblant. Prop del centre, en la coberta litospòrica, el silicat és pràcticament ortosilicat d'oliví 2(Mg.Fe) O.SiO₂, les molècules del qual contenen la mateixa proporció d'òxid bàsic i de sílice. El metasilicat piroxèn (Mg.Fe) O.SiO₂, adquireix tot seguit força increment, fins assolir en la coberta peridotítica xifres tres vegades superiors a les d'oliví (quatre vegades amb el metasilicat diopsit). L'oliví desapareix gairebé del tot en la crosta granítica. En els feldspats també es nota una progressió relativa semblant, entre el polisilicat anhortita i els polisilicats d'albita i ortoclasa, tot i que l'albita és més abundant que l'anhortita en la part inferior de la coberta ferrosfòrica.

Les quantitats relatives de magnesi i ferro en els silicats ofereixen particular interès. Abdós presenten un màxim de 39% en la cuiraca litospòrica i decreixen ràpidament vers

la crosta granítica. Parallelament amb aquesta minva cap a l'exterior, la raó molecular $\frac{\text{Mg}}{\text{Fe}}$

disminueix depressa en les cobertes successivament externes, en les quals pren, respectivament, els següents valors: 5.05, 3.07, 2.07, 1.00 i 0.97; la raó, en el conjunt de la Terra, és de 2.54. D'igual manera, la quantitat d'òxid ferros en els piroxens meteorítics és major que en els olivins i les proporcions de ferro, relacionades amb les de magnesi, augmenten a mesura que pren increment el piroxèn sobre l'oliví. Per donar una idea d'aquest fet (27): la raó Mg:Fe en el olivins pallasítics oscilla al voltant de 7:1; en els olivins condrítics és més variable, però, per terme mig, fluctua pels volts de 3:1. La raó en els piroxens ortoròmbics dels condrits és tan variable i la separació en grau de puresa suficient per a l'anàlisi tan difícil, que les dades no són concordants; però el promig cal situar-lo entre 6:1 i 4:1.

Després de nombrosos anàlisis PRIOR (28) ha arribat a la conclusió que com més pobres en ferroníquel són els meteorits condrítics, majors són les quantitats de níquel i ferro continguts en els silicats magnèsics. Aquest fet l'atribueix a l'oxidació i silicatació progressives, en les quals el níquel escapà a l'oxidació junt amb una part del ferro que va quedar a l'estat metàl·lic, produint-se, per tant, un enriquiment en níquel d'aquest ferro residual, mentre que els silicats s'enriquien al llur torn en ferro.

Aquesta conclusió de PRIOR s'harmonitza amb les progressions que abans hem posat de relleu. L'aptitud que, en grau superior al níquel, té el ferro per oxidar-se i formar silicats, ha estat també invocada per WAHL (29) i FARRINGTON (30) per explicar el fet que l'oliví meteorític sols contingui petites quantitats de níquel. La quasi absència de níquel en l'oliví meteorític és digna d'ésser notada, si hom té en compte l'abundor d'aquest element en el metall meteorític.

Mereixen també ésser consignades, tot i que no cal comentar-les, altres sèries progressives, com les de l'alumini, del sodi i del potassi.

Tr.

(Acabarà).

JOAN CARANDELI

(25) GOLDSCHMIDT: Der Stoffwechsel der Erde. Vid.-selsk. Skrifter, 1922. N.º 11, i Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente, idem, 1923. N.º 3.

(26) TAMMANN: Zur Analyse der Erdinnern, Zeitschr. Anorg. Chem. 131. 96. 1923.

(27) Per a dades analítiques sobre aquests punts, vegeu: COHEN: Meteoritenkunden, quad. 1, pàg. 263, 266, 281, 284. 1894; i PRIOR: On the Genetic Relationship and Classification of Meteorites., Min. Mag. 18. 27-36. 1916.

(28) PRIOR: On the Genetic Relationship and Composition of Meteorites., Min. Mag. 18.26. 1916; i The Classification of Meteorites., Min. Mag. 19. 51. 1920.

(29) WAHL: Beiträge zur Chemie der Meteoriten, Zeitschr. Anorg. Chem., 69, 70. 1911.

(30) FARRINGTON: Meteorites, 1915. 187.