

# Extractes i Traduccions

## LA COMPOSICIÓ QUÍMICA DE LA TERRA (\*)

HENRY S. WASHINGTON

THE AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE

New Haven, Connecticut, Maig 1925. Vol. IX. No. 53.

(Acabament)

Admeses les bases de la seva composició, la Terra ha estat comparada, en quant a la seva composició material, a la massa d'escòria i ferro d'un alt forn refredat. La presència del ferro metàl·lic en la massa fosa s'explica per la reducció de l'òxid de ferro pel carboni; la sílice i l'alumini provenen de les impureses del jaciment; la calissa i les cendres del coc. Aquesta comparació planteja la qüestió de l'origen del ferroníquel en els meteorits o més ben dit encare, del cos celeste del qual es suposa que són fragments i, en hipòtesi, en l'interior de la Terra.

El ferroníquel meteorític i intratellúric, és degut a la reducció d'un silicat de ferroníquel o bé va integrar, en estat metàl·lic, part de la massa primitiva que finalment es consolida formant la Terra?

L'origen del ferro meteorític com seqüència d'una reducció o desilicatació ha estat invocat per DAUBRÉE (31), MEUNIER (32), MERRILL (33) i altres. Ho apliquen, especialment, al ferro dels meteorits lítics (condrítics) i també, com a cosa probable, al dels siderits i siderolits. DAUBRÉE va obtenir grans de ferro metàl·lic i—noti's bé—cristalls d'enstatita, foment oliví i periditita en un forn de grafit. MERRILL exposa exemples de ferro metàl·lic en meteorits condrítics, en els quals no sembla possible altre origen secundari que la reducció. DAUBRÉE i MEUNIER opinen que el carboni i l'hidrogen són els agents reductors, mentre que MERRILL s'inclina a favor de l'hidrogen i creu que el ferro dels meteorits con-

drítics deriva de la lawrencita ( $\text{CFe}_2$ ) més aviat que dels silcats de ferro.

Que el carboni i l'hidrogen són els agents reductors possibles—sinó els més probables—en el cas que la presència del ferro l'hagi motivada una reducció, recolza en les consideracions que segueixen:

El carboni, en forma de diamant, grafit i cohenita ( $\text{CFe}_3$ ) abunda en el ferro i en els meteorits siderolítics i també en trobem a l'estat d'hidrocarburs, si bé en menor proporció, en els meteorits lítics. En la Terra, el carboni abunda en la superfície en forma de carbonat càlcic, i també magnèsic, en les calisses i dolomites; com a anhidrid carbònic en l'atmosfera i manantals i emanacions volcàniques, en la hulla i altres matèries orgàniques. L'hidrogen és el gas que més abunda, amb lleugeres quantitats d'òxid de carboni, oclut en els ferros meteorítics, mentre que l'anhidrid carbònic, amb quelcom d'hidrogen, és el més abundant en els meteorits lítics (34). En la Terra, l'hidrogen abunda en la regió superficial: a l'estat d'aigua i hidroxil en les roques, com a aigua en la hidrosfera i en els gasos volcànics i com a element en l'atmosfera i matèria orgànica. Ni l'aigua ni l'hidroxil existeixen en els meteorits, tan siderits com lítics, llevat dels que s'han alterat al caure a la Terra.

També podrien ésser agents reductors el sofre i el fòsfor, puix en els meteorits els trobem en quantitats considerables. El fosfur, schreibersita, especialment en els meteorits ferrífers i el sulfur, troilita en els ferrífers i lítics. En la superfície terrestre el fosfat, apatita es presenta en les roques ígnees, si bé en baixa quantitat. Els sulfurs

(31) DAUBRÉE: Géologie Experimentale, Paris, 1870, 517-523, 580, 596.

(32) MEUNIER: Météorites, Paris, 1884, 346.

(33) MERRILL: The Cumberland Falls Meteorite, *Proc. U. S. Nat. Museum*, 57, 100, 1920; Notes on the Meteorite of Estherville, *ib.*, 58, 368, 1920; On Metamorphism in Meteorites, *Bull. Geol. Soc. America*, 32, 412, 414, 1921.

(34) COHEN: Meteoritenkunde, 1, 169, 1894; CHAMBERLIN, R. T.: The Gases in Meteorites, *Carnegie Inst. Publ.* No. 106, 1908; FARRINGTON, Meteorites, 190, 1915.

existeixen en les roques esmentades en forma de segregacions magmàtiques; els gasos sulfurosos abunden en els volcans i fonts termals i el sulfat càlcic o guix és un mineral secundari molt extès. Els autors abans esmentats no han tingut en compte aquests elements; i fins on arriben els meus estudis no tinc notícies que s'hagin fet investigacions relatives a l'acció reductora del sofre i del fòsfor sobre els silicats de ferro. VOGT (35) no se n'ocupa en els seus estudis sobre la solubilitat dels sulfurs en les magmes silicatades. WAHL (36) opina que en la gènesi del sulfur de calci (oldhamita), el calci ha captat el sofre del sulfur ferrós (troilita). Sembla molt poc probable que el sofre i el fòsfor puguin reduir el silicat ferrós a ferro metàl·lic, puix el calor de formació del sulfur ferrós és molt més petit que el de l'òxid ferrós. Per l'acció del sofre i del fòsfor sobre el silicat ferrós, hom podria arribar a la formació de sulfur i fosfur ferrosos; però no de ferro metàl·lic. Així, a falta de proves experimentals i discussions teòriques i en vista de la hipòtesi anterior, no ens ocuparem més d'aquests dos elements com a agents reductors capaços de produir ferro metàl·lic o intratellúric.

Tornant al carboni i a l'hidrogen, és ben sabut, teòricament i experimentalment, que tant l'un com l'altre poden reduir el ferro dels òxids i dels silicats ferrosos a l'estat metàl·lic. Aquesta acció, tant si l'apliquem als meteorits com a l'interior de la Terra, hem d'admetre-la qualitativament. Les dades de què avui disposem ens permeten d'estudiar l'assumptu quantitativament, per tal de decidir el problema de si en els seus orígens tot o part del ferro metàl·lic es trobava, pel què respecta a la Terra, present en aquest estat o bé com a silicat ferrós. (37)

Discutirem, doncs, les següents qüestions:

I. Existeix en tota la Terra prou quantitat de sílice per combinar-se amb el ferro metàl·lic i formar silicat ferrós?

II. Existeix suficient oxigen en la Terra per formar òxid ferrós amb el ferro metàl·lic?

III. Si, originàriament, tot el ferro es trobava a l'estat combinat com òxid ferrós i silicat ferrós: existeix carboni o hidrogen, o amb-

dós a la vegada, suficients per alliberar, per reducció, la massa de ferro metàl·lic que es suposa existent en la Terra?

En tota la Terra, amb una massa total aproximada de  $6 \times 10^{21}$  tones, el ferro metàl·lic hi és distribuït, prenent peu de les dades contingudes en les taules I a IV, en la forma que detalla la taula VI:

TAULA VI

*Distribució del ferro metàl·lic en la Terra.*

	Massa tones $\times 10^{21}$	Percentatge Fe(metàl·lic)	Ferro tones $\times 10^{21}$
Nucli central	1.65	90.7	1.50
Envolta listospòrica	0.51	45.3	0.23
Envolta ferrosfòrica	1.36	12.2	0.17
Envolta peridotítica	2.42	1.2	0.03
La Terra en conjunt	6.03	31.3	1.93

I. La major quantitat de sílice apta per combinar-se i formar el silicat original amb el ferro metàl·lic que suposem existent, és la que pot quedar lliberada per la desilicatació de la hiperstena, amb subsegüent formació d'oliví, d'acord amb l'equació:  $2(\text{Fe,Mg})\text{S.O}_3 \rightleftharpoons (\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4 + \text{SiO}_2$ . Aquesta reacció reversible ha estat ja invocada per DAUBRÉE en el seu esmentat experiment, en el qual l'enstatita i el ferro metàl·lic són obtinguts alhora al reduir l'oliví amb el carbó; és també la reacció fonamental en l'anomenat efecte BOWEN-ANDERSEN, segons el qual l'enstatita sotmesa a altes temperatures es fon d'una manera incongruent i es transforma, en l'interior del líquid, en oliví i excés de sílice. És aquesta la causa de la presència de l'oliví en les laves fortament sílicees o en el basalt en quantitats superiors a les normals. (38).

Un altre origen possible és la sílice lliberada per la desilicatació de l'ortosa, per formar leucita, i de l'albita, per originar nefelita, si bé aquests dos medis de producció són molt poc probables, puix ni l'ortosa, ni la leucita, ni la nefelita es troben en els meteorits.

També resultaria sílice provinent de la molècula de diopsit si aquest experimentés una desilicatació i fragmentació subsegüent en oliví i ortosilicat càlcic. Anàlogament, desilicant l'anortita abandonaria sílice amb formació de lilita. Aquestes dues fonts són, però, encara menys probables que els feldespatos; no res menys la quantitat de sílice lliberada fóra insignificant.

(35) VOGT: Die Sulfid-Silikatschmelzungen *Norsk Geol. Tidsskr.* 4, 151, 1917 i *Videnskaps selsk. Skr.* 1918, No. 1, 1919.

(36) WAHL: Beiträge zur Chemie der Meteoriten, *Zeitschr. Anorg. Chem.*, 69, 71, 1911.

(37) En aquesta discussió no ens ocuparem del níquel, car la seva massa és molt inferior a la del ferro, per tal de no complicar el problema. Per altra banda, l'exposat no és més que un tanteig, una suggestió; no, una conclusió definitiva.

(38) BOWEN i ANDERSEN: The Binary System MgO-SiO<sub>2</sub>, *this Jour.*, 37, 496, 1914; ANDERSEN: The System Anorthite - Forsterite - Silica, *this Jour.*, 39, 453, 1915; WASHINGTON, Petrology of the Hawaiian Islands, *this Jour.* 5, 469, 1923 i 6, 355, 1923.

Les cobertes ferrosfèrica i peridotítica són les úniques que poden ésser considerades capaces de lliberar la sílice. La coberta litospòrica es suposa que conté, pràcticament, oliví com a únic silicat i la massa combinada total de les envoltas basàltica i granítica externes és tan petita, que la quantitat de sílice lliure (quars) que d'elles pot derivar-se, és completament irrisòria.

La quantitat total de sílice que poden produir les molècules d'hiperstena i feldespat de les cobertes ferrosfèrica i peridotítica, és la següent:

Envolta ferrosfèrica	}	Hiperstena	$0.09 \times 10^{21}$ tones
		Feldespat	$0.05 \times 10^{21}$ tones
Envolta peridotítica	}	Hiperstena	$0.26 \times 10^{21}$ tones
		Feldespat	$0.07 \times 10^{21}$ tones
		Sílice total lliberable	$0.47 \times 10^{21}$ tones

La quantitat de sílice que caldria per fer passar a silicat ferrós la massa total de ferro de la Terra (no tenint en compte l'oxigen excendent necessari) és de  $2.06 \times 10^{21}$  tones. Com es veu, la quantitat de sílice disponible calculada, no arribaria a silicar una quarta part del ferro metàl·lic total que existeix en la Terra. L'esmentada massa de sílice disponible,  $0.47 \times 10^{21}$  tones, és, no obstant, superior al doble de la necessària per silicar el ferro de les cobertes ferrosfèrica i peridotítica ( $0.20 \times 10^{21}$  tones) i és gairebé igual a la que es necessita per a la mateixa reacció amb el ferro de les cobertes esmentades i la litospòrica juntes ( $0.43 \times 10^{21}$  tones). Això potser serà una coincidència; però el que sembla demostrat és que a la Terra no hi ha sílice suficient per silicar el ferro del nucli central.

II. Pel què respecta a la formació de silicat ferrós  $\text{FeO}, \text{SiO}_2$ , partint del ferro metàl·lic, es necessita una quantitat molecular d'oxigen igual a la de ferro. És a dir, que calen unes  $0.55 \times 10^{21}$  tones d'oxigen per silicar les  $1.93 \times 10^{21}$  tones de ferro metàl·lic intratellúric.

Les úniques grans fonts capaces de furnir l'oxigen suficient són: l'aigua de la hidrosfera, la de les roques ígnees (incloent-hi l'hidroxil), l'oxigen de l'atmosfera i l'oxigen de l'anhidrid carbònic de les calisses.

La massa de la hidrosfera és, aproximadament, de  $1.411 \times 10^{15}$  tones (39), amb un 86 % d'oxigen (40); per tant, la massa d'oxigen hi-

drosfèric és de  $0.00121 \times 10^{21}$ . La massa de la crosta basàltica i granítica, d'uns 60 quilòmetres de gruix, és de  $0.094 \times 10^{21}$  i recolzant-nos en les quantitats que fixen el percentatge de l'aigua segons la taula III, aquella conté  $0.00122 \times 10^{21}$  tones d'oxigen i  $0.00015 \times 10^{21}$  tones d'hidrogen. La massa de l'atmosfera és de  $5 \times 10^{15}$  tones (41) de les quals,  $0.000001 \times 10^{21}$  tones, són d'oxigen, en el supòsit que tota tingui la mateixa composició de la troposfera inferior. Les calisses constitueixen un 0.25 % de la crosta més externa, unes 10 milles (42), essent la llur massa total de  $0.00057 \times 10^{21}$  tones, de les quals corresponen  $0.00018 \times 10^{21}$  tones a l'oxigen de l'anhidrid carbònic i  $0.00007 \times 10^{21}$  tones al carboni.

Aquestes fonts juntes poden donar una quantitat total d'oxigen de  $0.0026 \times 10^{21}$  tones. És evident que aquesta massa sols abasta a oxidar una quantitat gairebé infinitesimal del ferro metàl·lic intratellúric; tirant llarg, podria oxidar una dècima part de la petita quantitat de ferro metàl·lic contingut en la coberta peridotítica. Totes les altres reserves d'oxigen sols abastarien a donar una insignificant fracció de la quantitat més amunt calculada, pel què no cal tenir-les en compte: tals són l'oxigen lliure i combinat existent en els gasos volcànics, l'inclos en els éssers animals i vegetals, el que és dissolt en les aigües oceàniques i continentals i l'ocluït en les roques i existent en les llurs cavitats internes. Cal tenir també en compte que la massa d'oxigen que es calcula existent en l'aigua de la crosta és massa gran, puix que es va considerar el percentatge de les roques superficials analitzades com si fos constant fins a la base de la crosta i ja és sabut que en el fons de les mines, a una fondària relativament petita, les roques són seques i no contenen minerals secundaris. I és a la presència d'aquests darrers que és deguda molta part de l'aigua de les roques superficials.

La quantitat total d'oxigen susceptible d'actuar és, per tant, absolutament incapaç d'oxidar tot el ferro. Ni tan sols bastaria al de les tres cobertes intermitges, per a les que se'n necessiten unes  $0.14 \times 10^{21}$  tones.

III. Veus ací l'altre problema: Si tot el ferro intratellúric estigué, originàriament, combinat com a òxid o silicat ferrós (les quantitats són les mateixes), hi va haver suficient quantitat de carboni i hidrogen, o ambdós a la vegada, per reduir l'òxid de ferro a l'estat metàl·lic?

(39) CLARKE i WASHINGTON: The Composition of the Earth's Crust, U. S. Geol. Survey, Prof. Paper, 127, 17, 1924.

(40) CLARKE i WASHINGTON: op. cit. 33.

(41) CLARKE i WASHINGTON: op. cit. 16.

(42) CLARKE i WASHINGTON: op. cit. 32.

(43) L'òxid fèrric,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , i la magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  requeririen quantitats menors d'agent reductor que l'òxid ferrós.

La massa d'òxid ferrós FeO (43) corresponent a la quantitat total de ferro metàl·lic de la Terra exigiria, per a la seva reducció total,  $0.035 \times 10^{21}$  tones d'hidrogen o  $0.21 \times 10^{21}$  tones de carboni.

Les principals i úniques fonts possibles d'on derivar l'hidrogen, són l'aigua de la hidrosfera i l'aigua i hidroxils existents en els minerals i roques de la crosta. No té importància l'hidrogen contingut en l'atmosfera (44), en els animals i plantes i en les emanacions volcàniques. La massa d'hidrogen de la hidrosfera oscil·la al voltant de  $0.00015 \times 10^{21}$  tones i la que conté la crosta ja dita de 60 km de gruix és, aproximadament, de  $0.00016 \times 10^{21}$  tones. En conjunt  $0.0003 \times 10^{21}$  tones.

Les úniques reserves de carboni són les contingudes en l'esmentada crosta de 60 km, incloent-hi, especialment, el carboni de les calisses i d'altres roques sedimentàries, el carbó dels jaciments hullers, esquistos bituminosos, conques petrolíferes i l'anhidrid carbònic de l'atmosfera. El carboni dels éssers vius és insignificant. El percentatge de carboni en les deu milles de gruix de la crosta, on situem les roques sedimentàries (45), és de 0.094, és a dir, que considerant que els 60 km de crosta en continguin totalment la mateixa proporció, la quantitat total de carboni provinent d'aquest origen fóra de  $0.0088 \times 10^{21}$  tones.

La massa total d'hidrogen i carboni, susceptible d'actuar, seria, doncs, d'unes  $0.009 \times 10^{21}$  tones, mentre que ja se'n necessiten  $0.035 \times 10^{21}$  d'hidrogen o  $0.21 \times 10^{21}$  de carboni, per obtenir, per reducció de l'òxid ferrós, la massa total de ferro metàl·lic de la Terra. Les quantitats dels susdits elements contingudes en les cobertes, són les següents:

$\times 10^{21}$ tones	C	H	O
Litospòrica	0.025	0.004	0.066
Ferrosfòrica	0.018	0.003	0.048
Peridotítica	0.003	0.0005	0.008
Terra	0.210	0.0345	0.008

Queda, doncs, provat que tampoc existeix prou hidrogen i carboni, ni ambdós a la vegada, per reduir el suposat òxid ferrós primitiu de les tres crostes intermitges; n'hi ha sols un poc més del necessari per reduir la massa mínima de ferro metàl·lic de la coberta peridotítica. També convé observar ací que les quantitats de carboni i hidrogen calculades són les

màximes, puix és provat que els dos terços inferiors de la crosta terrestre, contenen menys carboni i hidrogen que el terç superior.

De les dades exposades, sembla deduir-se'n clarament que la sílice que hi ha disponible sols hauria estat suficient per silicar primitivament el ferro contingut en les tres cuiraces intermitges; que únicament hi ha quantitat d'oxigen disponible per haver format òxid ferrós a expenses del ferro contingut en la coberta peridotítica i part de la ferrosfòrica; i que no hi ha carboni ni hidrogen suficients per haver reduït més òxid ferrós o silicat que el que hagi pogut existir a la coberta peridotítica i part de la ferrosfòrica. No hi ha hagut, segurament, prou sílice, oxigen o agents reductors, per reaccionar sobre la gran massa de ferro del nucli central i de la coberta litospòrica.

Aquests resultats referents a l'oxigen concorden amb les idees generalment admeses, segons les quals la solidificació i formació de la Terra es produí en condicions no oxidants, anàlogament al què ens demostra la presència del ferro líquid metàl·lic i compostos no oxidats com fosfurs, sulfurs, carburs i clorurs en els meteorits.

La comparació de la Terra a una massa de metall voltada d'escòria, no sembla ésser del tot admissible. Arribaria a ésser acceptable si es considerés solament la composició material; però si l'origen del metall, per reducció d'un compost prèviament oxidat, és una circumstància essencial, l'analogia falla, puix la reducció no pot tenir lloc més que per una petitíssima part del metall existent.

De la discussió anterior, hom dedueix que la massa original de què es formà la Terra, contenia una gran quantitat, un 30 % aproximadament, de ferro no combinat, àdhuc després que la matèria, la qual primitivament estigué dissociada, es va refredar lo suficient per originar compostos. No hi ha, demés, cap raó per suposar que tots els elements que formaven la massa, inclús els més abundosos, estiguessin presents en raons estequiomètriques de tal exactitud que fossin capaços de satisfer-se completament. Pel contrari, partint del supòsit d'una massa complexa dissociada, ja sigui en forma de nebulosa, ja segons la hipòtesi planetesimal, les probabilitats estarien contra d'aquella suposició i en favor de l'excés d'un o varis dels elements presents, en quantitat suficient per a la completa combinació.

És lògic suposar que els elements més fàcilment oxidables s'apoderessin primer de tot l'oxigen necessari a la llur saturació, deixant-ne una petita part per al ferro, abundant sobre tota ponderació, porció que únicament perme-

(44) L'atmosfera constitueix el 0.03 % de la crosta de 10 milles de gruix i l'hidrogen el 0.01 % de l'atmosfera en volum.

(45) CLARKE i WASHINGTON: op. cit. 34.

ta part del metall (46). Existeix, també, la possibilitat d'alguns processos evolutius, durant els quals es formarien tots o molts dels elements de pes atòmic més elevat, com ja ha manifestat CLARKE (47). En tot cas, el gran predomini del ferro sobre de tots els altres elements en la massa de la Terra, és la característica de la seva composició que més sobressurt, essent l'altra, la petita quantitat d'elements que formen la gairebé totalitat del globus i les llurs posicions en la taula periòdica.

Que la massa primitiva de matèria que originà la Terra es va assemblar molt, químicament, a l'atmosfera del Sol, està indicat per l'estreta correlació entre els elements terrestres més abundosos i els existents en l'atmosfera solar, revelats per la intensitat de les llurs ratlles espectrals (48). Aquesta correlació es fa evident en la Taula VII, en la qual es detallen, per llur ordre d'abundància, els elements més freqüents en l'atmosfera solar i en tota la Terra i en la crosta.

Quan hom fixa l'atenció en les dades que es consignen en la Taula VII, especialment en les columnes I i II, cal tenir en compte la gran diferència existent entre les condicions físiques i estat de la matèria en el Sol i la Terra.

TAULA VII

Ordre de l'abundància dels elements

I Atmosfera solar	II Tota la terra	III Crosta terrestre
1 Calci	1 Ferro	1 Oxigen
2 Ferro	2 Oxigen	2 Silici
3 Hidrogen	3 Silici	3 Alumini
4 Sodi	4 Magnesi	4 Ferro
5 Níquel	5 Níquel	5 Calci
6 Magnesi	6 Calci	6 Sodi
7 Cobalt	7 Alumini	7 Potassi
8 Silici	8 Sofre	8 Magnesi
9 Alumini	9 Sodi	9 Titani
10 Titani	10 Cobalt	10 Fòsfor
11 Crom	11 Crom	11 Hidrogen
12 Estronci	12 Potassi	12 Manganès
13 Manganès	13 Fòsfor	13 Sofre
14 Vanadi	14 Manganès	14 Bari
15 Bari	15 Carboni	15 Clor
16 Carboni	16 Titani	16 Crom

(46) En un treball rebut, precisament, a l'enviar aquest, BARNETT (The Chemistry of the Earth's Core, Jour. Geol., 32, 615, 1924), discuteix l'efecte de l'oxidabilitat diferencial dels elements, especialment el ferro.

(47) CLARKE: The Evolution and Desintegration of Matter, U. S. Geol. Survey, Prof. Paper, 132-D, 1924.

(48) Vegi's ABBOTT: The Sun, New-York, 1911, 91.

En el Sol, la matèria es troba en forma gasosa, a temperatures enormes, en les quals es possible la ionisació i dissociació (és a dir, alliberament d'electrons), en un grau més o menys elevat, amb el subsegüent efecte en les ratlles espectrals. En la Terra, la matèria és sòlida; és el producte fred, congelat, del què en principi fou una massa gasosa, calenta, com l'actual atmosfera solar.

L'abundor relativa dels elements de l'atmosfera solar (columna I, Taula VII) ha estat calculada segons la intensitat de les seves ratlles espectrals; en la Terra, l'ordre d'abundància s'ha establert gravimètricament i per analogia amb els meteorits.

Malgrat, però, de les diferències de condicions físiques, estat de la matèria i mètode de càlcul, les correlacions entre la composició de l'atmosfera solar i la del conjunt de la Terra són moltes i importants. Hi han, certament, unes poques notables discrepàncies, algunes de les quals són explicables dins dels fenòmens físics.

Dels onze elements més abundants en la Terra, nou (Fe, Si, Mg, Ni, Ca, Al, Na, Co i Cr), són set dels elements existents en major quantitat en l'atmosfera solar. L'oxigen i el sofre no es troben en la columna I, ni l'hidrogen i el titani en la II. El ferro és al principi de les dues sèries o molt aprop: el níquel i el magnesi són al costat un de l'altre i abunden en totes dues columnes, constituint aquests tres elements el 51'6 % de tota la Terra. El ferro, el níquel i el cobalt, els tres elements més característics dels meteorits, especialment dels siderits i dels pallasítics, predominen en les dues columnes en el mateix ordre. El calci i el sodi, els quals són al cap de la primera columna, estan més baixos en la segona; però també segueixen el mateix ordre i les llurs distàncies mútues són aproximadament iguals. A continuació dels sis elements més abundosos en totes dues columnes, hi han alguns casos relativament abundants, d'igual ordre de magnitud (cobalt, crom, manganès, titani i carboni).

Tornant a les discrepàncies, les més importants són les quantitats de calci, hidrogen i sodi existents en l'atmosfera solar i d'oxigen i silici que hi ha a la Terra. A més, l'hidrogen és absent de la llista dels setze elements més abundosos en la Terra i l'oxigen de la del Sol. La gran quantitat aparent de calci en el Sol, hom l'atribueix a la ionisació parcial o dissociació de l'element, el qual, segons les hipòtesis modernes, dona origen a les ratlles espectrals H té l'oxidació, i eventual silicatació, d'una quin-

*K* molt intenses (49), el què produeix una idea exagerada de la seva abundància. En l'esquema de l'atmosfera solar imaginat per ST. JOHN i BARCOCK, el calci ionisat (ratlles *H* i *K*) és situat en el nivell més extern, mentre que el calci neutre apareix molt més avall, al costat del sodi. La gran abundància aparent de l'hidrogen i el sodi en l'atmosfera solar, cal també atribuir-la a la ionisació relativament fàcil d'aquests dos elements i a la intensitat de les llurs ratlles espectrals. L'absència d'oxigen (50), i també la de sofre i fòsfor, entre els elements més abundosos de l'atmosfera del Sol, no vol dir, precisament, que no n'hi hagi, puix és ben sabut que els elements negatius no donen espectres en les mateixes condicions en què fàcilment els proporcionen els positius (51). En llenguatge modern: la ionisació potencial o aptesa dels elements negatius per lliberar electrons, és inferior a la dels positius.

Una altra analogia entre la composició de la Terra i el Sol, ens la demostren investigacions recents. ST. JOHN i BARCOCK (52) han traçat un esquema de la distribució d'alguns dels elements (i d'altres factors) en l'atmosfera

solar. Aquest esquema, basat en dades espectroscòpiques, comprèn solament alguns elements. El ferro (vapor) és a la base de l'atmosfera del Sol, sobre el qual torna una coberta d'uns 1.500 km; a continuació s'extén una capa de calci neutre (és a dir, no ionisat) coberta per un estrat de sodi; segueix una grossa envolta d'hidrogen i, finalment, una altra de calci ionisat (ratlles *H* i *K*). La posició del magnesi no hi és indicada.

És impossible de cedir a la temptació de veure en aquest ordre suposat, una analogia amb la distribució de la matèria en la Terra, ço és, un nucli central envoltat per diverses cobertes, la primera de les quals està formada per ferro barrejat amb silicats i les successives per silicats sols; els estrats superiors són de ferro i magnesi que passen gradualment a silicats d'alumini amb calci i sodi, el què és causa que la coberta exterior sigui la més lleugera. L'envolta d'hidrogen que existeix en l'atmosfera del Sol correspondria a l'atmosfera de la Terra; aquesta atmosfera, per la seva petita massa, potser ha perdut quelcom del seu hidrogen primitiu, el qual element, d'acord amb les concepcions modernes (53), constitueix la porció més externa.

Tr.

JOAN CARANDELL

(49) ST. JOHN i BARCOCK: *Proc. Nat. Acad. Sci.* 10, 390, 1924.

(50) La presència d'oxigen en l'atmosfera del Sol, ha estat comprovada recentment, de manera definitiva. Les ratlles de l'Oxigen es noten clarament en nombrosos espectres estelars.

(51) Vegi's ABBOTT: *The Sun*, pàg. 94, 95, 255.

(52) ST. JOHN i BARCOCK: Note on the Pressure and Currents the Sun's Atmosphere. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 10, 389, 1924.

(53) Vegi's HUMPHERYS: *The Physics of the Air*, Philadelphia, 1920, 68.