

NUTRICIÓ MINERAL
FONAMENTS DE LA NOSTRA SALUT I BENESTAR

Discurs llegit en l'acte de recepció de
L'Acadèmic Numerari
Prof. Dr. Francesc Puchal i Mas
celebrat el dia 28 de febrer del 2000

Barcelona
2000

L'Acadèmia no es fa solidària de les opinions que s'exponen en les publicacions de les que és responsable l'autor.

Excel·lentíssim Senyor President
Excel·lentíssims i Il·lustríssims Senyors
Molt Il·lustres Senyores i Senyors Acadèmics
Senyores i Senyors

L'honor de que se'm fa objecte amb l'acte d'avui, va més enllà del que em mereixo i del que les meves paraules poden expressar. Quan no fa pas gaire temps vaig ésser acceptat com a Acadèmic Corresponent d'aquesta digníssima corporació, vaig expressar el meu agraïment, tant a les persones que m'havien ajudat, com a la pròpia Acadèmia, agraïment que era sincer i sentit.

Però també és cert que aleshores no conceixia massa aquesta Reial Acadèmia de Farmàcia, ni les persones que formaven el seu cos acadèmic. Les meves paraules d'agraïment d'aleshores, malgrat ser honestes i sinceres, no reflectien gaire més que la consciència de l'honor que aquest fet representava i del que em sentia ufanós, i que era fonamentalment un mèrit més que afegir al meu currículum.

Però les coses han canviat i molt des d'aleshores, perquè des d'aquell moment vaig començar a sovintejar més l'Acadèmia, la qual cosa m'ha permès arribar a conèixer més personalment els seus membres. He pogut sentir, en les meves visites, ja més freqüents a les sessions de l'Acadèmia, l'agradable sensació d'ésser benvingut, d'ésser acceptat com un acadèmic més i això, donat el nivell humà i científic que és evident en tots vostès, m'ha fet comprendre la naturalesa de l'honor que aquell dia se'm va conferir i que avui se'm confirma, si és que és possible, en més mesura.

És per això que avui vull agrair una vegada més tot el que aquest acte significa, malgrat ésser conscient de que les paraules, com tots vostès saben prou bé, mai poden arribar a reflectir la intensitat dels sentiments, que tots sabem sentir però ben pocs saben expressar degudament. Quan vaig entrar a l'Acadèmia com a Acadèmic Corresponent vostès em varen fer acadèmic. Avui torna a ésser diferent, avui sóc jo el que desitja sentir-se acadèmic, el que vol sentir-se pertànyer a l'Acadèmia i el que espera, Sr. President, ésser capaç de correspondre a aquest honor, que avui sento amb plenitud.

No voldria, malgrat pecar de reiteratiu, deixar d'agrair altra vegada tot l'ajut que he tingut, tant de fora com de dintre de l'Acadèmia, per arribar a aquesta fita. De dintre de l'Acadèmia, al meu estimat amic Dr. Jaume Bech, de qui no he tingut més que estímulo i ajuda impagable en tots moments, al Dr. Ylla-Catalá

per la seva paciència, per fer-me sentir com a casa, pels seus consells i ajut en tots els tràmits necessaris per arribar avui aquí, i així mateix a tants d'altres de l'Acadèmia. A tots vostès el meu agraïment més sincer.

I permeteu-me Sr. President, que aprofiti aquesta avinentesa per reiterar paraules d'agraïment a dues persones molt especials per mi. Al Prof. Dr. Pascual López Lorenzo, el meu mestre de sempre, a dins i a fora de la Universitat, que va fer néixer en mi el delit per l'estudi i la superació constant. A ell li dec tot el que soc i em complau públicament agrair-li una vegada més.

I molt particularment a la meva esposa pel seu ajut i recolzament constant, no ja tan sols en tot el referent a l'Acadèmia, sinó en tantes i tantes altres coses de la nostra vida. Per fer-me veure, per si se m'escapava, donat el meu caràcter distret, la importància del que se m'oferia. Des d'aquí li vull respondre ara. Sí que sabia tot el que això representava, però també em feia il·lusió veure com tu també t'il·lusionaves, tant com si fossis tu la que era admesa a la teva Acadèmia, a la teva Acadèmia de Farmàcia de Catalunya. Moltes gràcies una vegada més pel teu ajut, paciència i recolzament de sempre, pel teu donar sense esperar gaire a canvi. No et mereixo i des d'aquesta noble tribuna, vull deixar constància d'aquest fet.

Moltes gràcies també a tots vostès, amics de dins i de fora de l'Acadèmia, pel seu ajut i recolzament constant i per la seva presència avui aquí, que m'honora i em reconforta, i gràcies, una vegada més, a la Junta de Govern de l'Acadèmia per l'honor i distinció de que avui em fan objecte.

Vaig escollir per al meu discurs d'entrada un tema que s'apropés a les inclinacions científiques de l'Acadèmic que m'ha de donar resposta, el Molt Il·lustre Prof. Dr. Jaume Bech i Borrás. El Dr. Bech, estimat i bon amic meu, geòleg, biòleg i farmacèutic, que ha sabut lligar les vessants més naturals i boniques de la naturalesa: dels sòls a la biologia, i de la biologia a la farmàcia, com a punt final dels coneixements de les ciències naturals al servei dels éssers humans.

Pensant en ell vaig escollir el tema que avui els presento, que també lliga els sòls, i els minerals dels sòls, amb la salut i el benestar dels éssers humans, però mitjançant una altra ciència natural, a la que jo he dedicat tota la meua vida professional: la nutrició. En fer-ho, en rebuçar les dades que lligaven els sòls amb la nutrició i la salut, he arribat a comprendre l'entusiasme que sent el Dr. Bech quant parla dels sòls, de l'edafologia, de la geomedicina, etc., de la naturalesa en altres paraules.

La importància dels minerals en nutrició és tot sovint infravalorada. Sembla com si als nutròlegs ens enlluernés més l'atractiu d'altres nutrients, tals com les proteïnes i els aminoàcids, els carbohidrats, les vitamines, etc. Potser va ésser l'eufòria dels descobriments d'aquests nutrients, que a un ritme vertiginós es produïren en la primera meitat del segle que acabem d'acomiar i menysprearen als minerals com a menys espectaculars i importants. Potser ha estat degut a la importància de les tècniques analítiques, que no permeteren la detecció d'alguns

d'aquests minerals, tot sovint presents en quantitats més petites que moltes vitamines.

El fet és que no ha estat fins fa ben poc, que la importància del paper que juguen els minerals en la nostra vida ha saltat a l'atenció de bioquímics i nutròlegs. I avui ens adonem que molts d'aquests minerals, ignorats fins pràcticament avui dia, són més importants per nosaltres que moltes de les vitamines sobre les que s'han escrit milers i milers de pàgines. Amb aquesta breu dissertació, espero fer-los veure el paper primordial que juguen els minerals en la nostra salut, malgrat que tot sovint no sigui prou evident, en molts casos perquè encara desconexem en bona mesura la seva intervenció en molts dels processos bioquímics del nostre cos.

M'agradaria ésser capaç de saber ressaltar als seus ulls, el protagonisme i la importància dels minerals en la nutrició i la salut dels éssers humans, perquè de la mateixa manera que quan hom contempla un bell edifici, d'estructura arquitectònica harmoniosa, a quasi ningú se li acut pensar que tot allò que s'admira, que s'elogia, està sustentat i fet possible per uns fonaments que li donen suport, que no es veuen, però que li permeten ésser el que és, que el fan possible, amb altres paraules. De la mateixa manera, els minerals són els fonaments del nostre cos, fonaments que suporten una meravella biològica, com és el cos humà, més bonica i complexa que l'obra arquitectònica més preuada i que no tan sols li donen suport i fan que s'aguanti, sinó que fan que funcioni, que es bellugui amb agilitat i soltura i que visqui una vida plaent i sana.

NUTRICIÓ MINERAL. FONAMENTS DE LA NOSTRA SALUT I BENESTAR

La Bíblia, llibre sagrat del cristianisme, ens diu en el Gènesi...

“Quan Déu creà el cel i la terra, va fer brollar l'aigua de la terra i el cel. Aleshores Déu formà l'home de la pols de la terra i li va fer entrar un alè de vida i l'home esdevingué un ésser viu”

Gènesi 2:4 - 2:7
Ca. 1000 a.C.

Més de tres mil anys més tard, el Dr. H. Reeves, astrofísic i professor de Cosmologia i els seus col·laboradors, ens parlen de les teories científiques de l'origen de la vida i ens expliquen que...

“Plou sobre el planeta. Caigudes del cel, les gotes d'aigua rehidraten les argiles de les llacunes, molècules subtils s'organitzen i apareixen les primeres gotes de vida”

H. Reeves et al., 1996

La vida nascuda de la pols de la terra, segons els textos Bíblics i la nostra fe cristiana. De l'argila de les llacunes segons els científics del segle XX, és a dir, de l'aigua i dels minerals. Semblança sorprenent entre les afirmacions de la ciència actual i les nostres creences ancestrals i religioses. Entre les escriptures religioses més antigues, escrites en hebreu més de 1000 anys a.C. i les publicacions científiques més avançades de les darreries de segle. ¿Casualitat, coincidència o veritat irrefutable en el fons de les dues afirmacions?

La pols de la terra i el fang de les llacunes. Tant l'una com l'altre de la mateixa naturalesa: inorgànica, mineral i diversa. També els teixits animals, tant de l'home com dels animals, contenen elements inorgànics, minerals i diversos, com a components importants de les seves estructures i sistemes vitals, en quantitats molt variables, des de molt petites, quasi insignificants, fins a proporcions considerables. És evident que també els aliments que mengem els

homes i els animals, i que garanteixen la nostra supervivència biològica, contenen minerals. De fet, aquests aliments són els que subministren a l'ésser viu els minerals que necessita per portar a terme, tant la seva definició genètica corporal (mida, pes, formes anatòmiques, etc.), com les seves funcions vitals i la seva continuïtat biològica.

I aquests aliments que mengem els éssers vius, tant els aliments d'origen terrestre com aquàtic, procedeixen de la terra o bé de les aigües continentals i marítimes, i tant els uns com els altres tenen una composició mineral que els caracteritza, però que pot ésser variable i que prové dels sòls que donen personalitat pedològica a les diferents terres, i dels dipòsits i sediments que donen cos als fons marítims i fluvials. Heus aquí una altra consideració que ens ha de fer pensar, no ja sobre l'origen de la vida, sinó sobre el seu manteniment i continuïtat. La vida procedeix de la terra, de la pols del camí, com ens diu la Bíblia, o del fang de les llacunes, com ens diuen els científics i, en qualsevol cas, és nodrida per la terra i els minerals de la terra.

És curiós veure com la importància de la terra, com si fos un record filogenètic del nostre cos, s'ha mantingut ferm en les societats més primitives, en les quals la noció de la relació de la terra amb el benestar i la salut s'ha transmès de generació en generació, des de temps immemorials fins als nostres dies. El consum de fangs o terra, aparent aberració alimentària que avui coneixem com a "pica", ha estat una tradició associada a factors culturals i familiars arreu del món des de temps immemorials.

La síndrome de la "Pica", fou anomenat així per primera vegada pel metge francès Ambrose Paré en el segle XVI, fent referència a la Garsa, ocell científicament conegut com a *Pica pica*, i conegut popularment pel seu reconegut costum de picotejar i agafar, sense cap vinculació nutricional, tot tipus d'objectes que li atreuen l'atenció. Aquesta síndrome fou coneguda des de l'antiguitat amb noms diversos, però tot sovint referits al consum de terres, tals com la "geofagia" d'Aristòtil, la "Al-lotrifagia" de Sòfocles, etc.

Es coneixen descripcions de casos de Pica, des d'èpoques molt remotes, vinculats a creences o supersticions alimentàries, o bé religioses i inclús medicinals. Des del consum de la "Terra Sigillata" o *terres sigillades*, pràctica freqüent a la Grècia antiga com a tractament d'intoxicacions i las "lozenges" de fang, amb gravats religiosos, de l'illa grega de Lemnos, trobades en restes arqueològiques, per tractar casos d'enverinament i que s'exportaven a tots els països mediterranis, fins al consum, encara avui dia, de pastilles o productes similars que encara es poden trobar en determinades zones de Mèxic, trobem tota mena de costums que giren entorn de la geofagia.

En molts països africans encara es creu, per exemple, que la ingestió de terra assegura el benestar i la salut. Això fa que les dones en prenguin per assegurar la fertilitat i inclús, durant la gestació, n'ingereixen per assegurar-se una bona lactació posterior. El consum de terra durant l'embaràs es creu així mateix que suprimeix els mareigs i els vòmits de gestació. La geofagia és doncs,

encara prevalent en molts països subdesenvolupats, seguint creences relatives als seus efectes beneficiosos (Danford, 1982). l'origen de les quals es perd en l'antiguitat del temps.

És evident, però, que, malgrat totes aquestes consideracions, tant les supersticioses com les científiques i nutricionals, l'ésser humà no tan sols viu dels minerals. No pretenc minusvalorar la importància nutritiva dels carbohidrats, les proteïnes, els greixos i les vitamines. És ben clar als nostres ulls, que la vida, com ja apuntava Lavoisier (1743-1794) ara fa més de 200 anys (*La vie est une fonction chimique*), és un conjunt de reaccions químiques entre substàncies diverses, un conjunt d'una meravellosa complexitat bioquímica, de milers i milers de reaccions químiques, perfectament entreligades i sincronitzades, que fan del nostre cos el més complex i perfecte dels animals superiors. No és d'estranyar que, tot i desconeixent la constitució química de l'home, escriptors, poetes i filòsofs hagin proclamat la grandiositat de l'ésser humà, descrivint-lo com "una obra mestra", com deia Shakespeare, tot i sense oblidar, aparentment, el seu origen quant afegeix ¿.....però què és realment, aquesta quintaessència de la pols?.

No ens ha de sorprendre, doncs, que reduint-lo al món de la química, s'hagi escrit que el cos de qualsevol home o dona, inclús el més lleig i estrafet, representa en sí mateix la més complexa i perfecta reunió de molècules que mai hagi existit sobre la terra, concentrades, afegiria jo, en el cos humà en les més de 60 trillions de cèl·lules corporals, perfectament sincronitzades, com ens descriu Passwater (1980), un dels nutròlegs mineralistes més apassionats, cèl·lules que, a la vegada, inclouen en sí mateixes centenars o milers de molècules i reaccions químiques.

La grandiositat numèrica de l'ésser humà és tan extraordinària, que tan sols podria comparar-se al propi univers, si bé concentrat i reduït en uns pocs Kgs, però sense perdre ni la seva complexitat ni la seva exactitud matemàtica. Ja en Paracels (1493-1541) es referia a la condició organísmica de l'univers, el cosmos, en el sentit que tot en l'univers es comporta com un organisme, fonamentalment mineral, i en constant moviment vital, és a dir, en constant reacció química. L'home, doncs, seria en sí mateix un microcosmos, rèplica del macrocosmos, tan sols que quantitativament menor.

La naturalesa, en el món de Paracels, es centra en els minerals, però en els minerals contemplats fonamentalment com a medicaments. A les seves mans, els verins minerals deixen de ser-ho per convertir-se en medicaments, com fou el cas del mercuri en el tractament de la sífilis, l'antimoni amb el que fabricava les seves famoses "*pillulae eternae*", que el malalt podia recuperar en els seus excrements i tornar-les a ingerir, les aigües minerals per al tractament del goll, etc. En tot cas, els minerals que fins aleshores tan sols havien interessat als alquimistes, preocupats per la recerca de l'elixir de la vida eterna, "*l'elixir vitae*" o la transmutació dels metalls en or, es varen endinsar en el món de la medicina.

Segons Paracels, tot el que existeix en la naturalesa existeix igualment en l'ésser humà. És doncs evident, segons la seva manera de pensar, que res de lo natural és perjudicial en sí mateix, tan sols pot arribar a ser-ho segons la manera i la quantitat en que totes aquestes coses es relacionen amb l'home, és a dir, arribem a la seva frase paradigmàtica tan coneguda: " *Tan sols la dosi fa el verí*".

L'alquímia, de la que en Paracels en fou el representant més carismàtic, va reconduir l'atenció dels estudiosos del seu temps cap als minerals i va fer veure al món que els minerals, vistos fins aleshores tan sols com a verins, podien convertir-se en substàncies susceptibles de curar, és a dir, fou un primer pas cap a la concepció homeopàtica del tractament mèdic.

És evident però, i retornant a l'inici d'aquests comentaris, que l'home no tan sols viu de minerals, i que, en el manteniment de la seva vida, tots els elements nutricionals no estrictament minerals (proteïnes, greixos, vitamines, etc.), hi juguen un paper importantíssim. Sense ells tampoc hi hauria vida, però... parem-nos a reflexionar una mica més sobre els minerals.

No es pot pas argumentar que els minerals siguin importants volumètricament. Tinguem present que un cos humà, l'hipotètic i clàssic home adult, considerat estàndard, de 70 Kg de pes, conté aproximadament uns 2.5 Kgs. de minerals en el seu cos, és a dir, aproximadament un 3.5 a 4.0 % del seu pes, molt majoritàriament Ca i P, ja que entre tots dos sumen aproximadament uns 1800 grams. La resta està àmpliament repartida entre els més de 40 elements minerals coneguts i presents en el cos animal, òbviament en quantitats petitíssimes alguns d'ells i tanmateix tan importants, tot i la seva insignificant presència.

Però malgrat la seva feble presència volumètrica, els minerals (prenguem aquí per exemple el calci i el fòsfor com a més significatius), han fet possible que *l'homo sapiens* s'aixequés i es mantingués dret, per sobre de la resta d'animals superiors, i que, altra vegada gràcies al calci i al magnesi, que fan possible la contracció muscular, i al fòsfor, que li facilita l'energia necessària, aquest *homo sapiens* es pugui moure, alimentar-se, protegir-se i reproduir-se, és a dir..., viure i obtenir l'oxigen, aquell alè de vida a que fa referència el Gènesi, aquell aire vital o deflogisticant d'en Priestly i d'en Scheele, fer-lo arribar als seus pulmons i dels pulmons, gràcies al Fe, un altre mineral important, portar-lo fins les cèl·lules corporals, i no tan sols usar-lo per generar energia a partir d'altres elements nutricionals, sinó, mitjançant el seu company, el fòsfor i els seus compostos derivats (ATP's, etc.), guardar l'energia obtinguda en la metabolització dels aliments per quan sigui necessària.

Gràcies també als minerals li és possible protegir-se de les ferides i possibles hemorràgies que podrien posar en perill la seva vida i supervivència (altra vegada el calci i la seva indispensable intervenció en la coagulació de la sang) i fins i tot, segons es desprèn d'investigacions molt més recents, assegurar la seva adaptació al medi ambient que l'envolta i la seva resposta als reptes ambientals.

alimentaris i de defensa. La seva intervenció intracel·lular, garantida pels canals de Ca cel·lulars, s'està demostrant indispensable per a la transmissió de l'impuls nerviós a través de les neurones del sistema nerviós central, a més d'una llarguíssima llista d'accions de vital importància, que avui sabem estan en mans dels diversos ions minerals o inorgànics. S'ha arribat a afirmar, per part d'experts en nutrició mineral, que no hi ha un sol procés bioquímic d'importància en el cos humà, i en són milers i milers, que pugui funcionar bé sense la participació d'algun mineral o altre (Georgievskii et al., 1982).

És fàcil, tanmateix, i a la vista de tot això, entendre la desviació professional del nutròlegs mineralistes, dels que creuen que els minerals són l'eix de la vida, i que les demés matèries nutritives o alimentàries, no fan altra cosa que subministrar-li al cos, estructurat i manat pels minerals, tot el necessari per recobrir-lo i alimentar-lo.

Malgrat la importància extrema dels minerals en el manteniment de la vida, el coneixement de la importància nutricional de molts dels minerals que avui sabem són indispensables, és relativament recent. De fet, fins que les tècniques d'anàlisi polarimètriques, d'absorció atòmica, de fotometria de flama, etc., foren desenvolupades, els nostres coneixements eren del tot empírics. El coneixement de la nutrició mineral, és a dir, l'estudi del paper que juguen els minerals en els complexos sistemes bioquímics i fisiològics de l'organisme animal, branca del complex nutricional superior que coneixem com a ciència de la nutrició, és relativament jove i va fer la seva embranzida científica en la segona meitat d'aquest segle XX que hem deixat endarrere, gràcies a la utilització d'isòtops radioactius i altres tècniques nutricionals. Nogensmenys, però, cal reconèixer que la importància dels minerals, al menys com a elements terapèutics i toxicològics, ja va ésser reconeguda molt abans, com es desprèn del Pla d'Estudis Nacional de Narváez, de 1845, en el que s'inclouia la Facultat de Farmàcia com entitat universitària i es contemplava la Mineralogia com una de les assignatures del seu currículum amb personalitat pròpia.

La classificació dels minerals, des d'un punt de vista nutricional, és realment molt difícil. Si bé tots tenen un denominador comú, que és el seu origen inorgànic, les seves funcions fisiològiques, bioquímiques o nutricionals, són extraordinàriament variables i en molts dels minerals són funcions clarament polivalents, és a dir, intervenen de manera molt activa en funcions bioquímiques o fisiològiques totalment diferents unes de les altres. És per això que els sistemes inicials de classificació, basats en el seu tropisme, és a dir, la seva afinitat per uns teixits o òrgans corporals determinats (per exemple, el Ca i el P per al sistema ossi), han resultat imperfectes, degut a la diversitat de les seves funcions. L'extraordinària importància de moltes d'aquestes funcions, reflectida per la seva indispensabilitat, tanmateix a nivells tan baixos, es posa en evidència quan aquestes petitíssimes quantitats falten i es genera una carència.

Una classificació senzilla i extraordinàriament feble, però probablement la més utilitzada, és la basada en conceptes quantitius, és a dir, la seva divisió en

minerals necessaris en quantitats relativament elevades (tenint en compte els valors en que ens movem) i aquells que tan sols són necessaris en quantitats molt petites (Taula 1). Als primers els solem denominar macrominerals (i entre ells podem citar el Calci, Fòsfor, Sodi, Potassi, Sofre i Magnesi), les necessitats diàries dels quals solem expressar en grams o bé en quantitats molt properes al gram i microminerals, oligoelements o inclús elements "traça", als altres, fent referència a la petitesa de les seves necessitats (entre ells, com a més importants el Ferro, Manganès, Iode, Zenc, Coure, Cobalt, Seleni, etc.), les necessitats dels quals s'expressen o bé en micrograms o bé en molt pocs mgr. per dia.

Altres minerals segueixen essent estudiats, degut a que la reduïda quantitat que sembla ésser necessària, fa que resulti molt difícil distingir la seva indispensabilitat de la seva presència accidental en el cos humà. A tots aquests, els minerals dels quals suposadament se'n requeririen, tant en nutrició humana com animal, quantitats inferiors a 1 ppb de la dieta, en cas de ser provada la seva essencialitat, se'ls denomina Elements Ultra Traça (Nielsen, 1984), ja que les quantitats que se'n necessitarien son tan extraordinàriament petites, que tot sovint escapen als mètodes de detecció analítica actuals. Entre aquests últims podríem citar, per ordre alfabètic, els 10 següents: Arsènic (As), Bor (Bo), Brom (Br) Cadmi (Cd), Liti (Li), Níquel (Ni), Plom (Pb), Silici (Si), Estany (Sn) i Vanadi (Va). La resta, fins els 45 que ens cita Georgievskii et al. (1982) com a trobats en el cos animal, queden a l'espera de més recerca que arribi a aclarir si la seva presència en el cos animal reflecteix una necessitat, o simplement és una contaminació ambiental, sense altres conseqüències.

En el curs dels darrers anys s'ha anat estudiant la possible essencialitat de tots els minerals que, d'una manera o altra, bé per casualitat, bé per necessitat fisiològica o bioquímica, es troben en els teixits del cos humà i animal. Molts d'ells ja han demostrat, i amb escreix, la seva essencialitat per a la vida, uns com els macrominerals ja esmentats, altres com a microminerals, tals com el Ferro, Coure, Manganès, Zenc, Iode, Seleni, Cobalt, Fluor i Molibdè, en tant que d'altres, com el Crom, Silici, Vanadi i Níquel semblen ésser reconeguts com a essencials, però encara no estan admesos a la llista de microminerals clarament nutricionals. D'altres, com l'Arsènic, l'Alumini, el Rubidí, l'Estany, etc. estan començant a ésser estudiats a fons, en tant que la resta, fins a un total d'aproximadament uns 25 minerals significatius, trobats en el cos humà o animal, d'una manera o altra, com per exemple el Cadmi, el Cerium i inclús l'Or i la Plata, romanen sense definir.

És ben possible que la presència de molts d'aquests elements minerals en els nostres teixits sigui accidental, i que els mateixos teixits s'hagin acostumat a tenir-los, és a dir, hagin desenvolupat una certa tolerància a la presència d'aquests elements, degut a la seva omnipresència en la majoria d'aliments, les aigües i el medi ambient en general. Ni tan sols la desigual proporció de determinats elements en alguns teixits concrets, sembla suficient per establir una vinculació d'essentialitat. Tan sols més estudis experimentals amb aquests

minerals, així com la disponibilitat de modernes tècniques d'anàlisi, arribaran a demostrar el perquè de la seva presència en el nostre cos i la seva possible essencialitat nutricional.

A l'arribar aquí voldria fer esment del fet de les diferents maneres de descriure els elements químics a que ens referim, des d'un punt de vista estrictament químic, físico-químic o nutricional. És evident que alguns dels elements que els nutròlegs definim com a minerals (per exemple, el P, Se, I, S, F, Cl, etc.) no ho són des d'un punt de vista estrictament químic, físico-químic o bé contemplats des de la seva situació en la Taula Periòdica d'Elements. És evident, que des d'un punt de vista més científicament ortodoxe, es classificaria el Na i K com a metalls alcalins, el Ca i Mg com a terres alcalines, el Mn, Fe, Cu, Co, Zn, etc., com a metalls de transició, el Cl, F, I, etc. com a halògens, etc. Cal entendre aquesta visió de grup del total d'elements naturals que els nutròlegs utilitzem, i l'agrupació de tots aquests elements com a minerals, és degut a la necessitat de simplificar la seva funcionalitat, ja de per sí prou complexa. Espero que vostès sabran entendre i disculpar aquesta llibertat d'expressió, conseqüència de la meua desviació professional.

Taula 1. Classificació Quantitativa dels Minerals en Nutrició Animal i Humana

Contingut (magnitud)	Concentració (% pes corporal)	Element	Classe
$n \times 10^0$	1 - 9	Ca, P	Macromineral
$n \times 10^{-1}$	0,1 - 0,9	K, Na, S, Cl	
$n \times 10^{-2}$	0,01 - 0,09	Mg	
$n \times 10^{-3}$	0,001 - 0,009	Fe, Zn, F, Sr, Mo, Cu	Micromineral
$n \times 10^{-4}$	0,0001 - 0,0009	Br, Si, Cs, I, Mn, al, Pb	
$n \times 10^{-5}$	0,00001 - 0,00009	Cd, B, Rd	
$n \times 10^{-6}$	0,000001 - 0,000009	Se, Co, V, Cr, As, Ni Li, Ba, Ti, Ag, Sn, Be, Ga, Ge, Hg, Sc, Zr, Bi, Sb, U, Th, Rh	Elements Traça i Ultra Traça

Adaptat de: Georgievskii et al., 1982.

El fenomen de la vida, tant en l'ésser humà com en els animals, està íntimament lligat a la integració de quasi tots aquests minerals en el seu cos. Tots ells esdevenen part important de la majoria d'estructures del cos, particularment del sistema ossi o esquelet (que conté aproximadament un 80% de totes les sals inorgàniques de l'organisme), però també de la majoria d'altres teixits estructurals. I aquests minerals, a l'igual que altres substàncies nutricionals, mantenen una homeostasi corporal, és a dir, un equilibri constant en els seus nivells i proporcions.

El cos, amb les seves pròpies mesures de control (equilibri iònic, pressió osmòtica, equilibri acid-bàsic, sistemes tamponants o amortidors, etc.), se n'encarrega acuradament, malgrat la gran variabilitat que trobem en el contingut de la majoria d'aliments, molt particularment els aliments que ens ofereix en l'actualitat la moderna tecnologia alimentària. Tot i així, hi ha límits a la capacitat del nostre cos per mantenir aquesta homeostasi i a vegades l'equilibri es trenca, degut a alteracions importants en la nostra ingesta mineral, ja per defecte ja per excés, i se'ns presenten els estats carencials o les toxicitats.

I en aquest sentit és important recordar que la composició mineral del cos humà s'ha de considerar en relació a la composició mineral dels aliments que menja, i aquests a la vegada, s'han de considerar en relació als tipus de sòls o aigües on es produeixen. Tal i com va definir Vernadski (1924), considerat el creador de la biogeoquímica (Bech, 1996), i han reconfirmat posteriors investigadors, els sòls, les plantes i els animals formen una cadena tròfica o migratòria inseparable, perfectament estructurada, si bé, una vegada més, la moderna tecnologia alimentària se n'encarrega tot sovint de desvirtuar aquestes teories.

El moviment i l'intercanvi dels minerals per tots els teixits del cos humà es fa naturalment mitjançant els líquids corporals, tan extra com intracel·lulars, és a dir, es mouen pel cos dissolts en l'aigua corporal. Aquesta aigua és la que transporta, des de l'aparell digestiu, els minerals absorbits dels aliments i els reparteix per tot el cos. Recordem que els líquids corporals, com són el plasma sanguini, la limfa, els líquids intersticials que es troben entre les cèl·lules, així com el contingut intracel·lular, a més de les secrecions internes (endocrines, intestinals, etc.), i externes (llàgrimes, suor, etc.), són el vehicle essencial dels minerals. En conjunt, dels 42 litres d'aigua que té el cos humà estàndard (home de 70 Kg), tan sols 2,8 lts., es troben en forma de plasma sanguini (equivalents a uns 5 lts. de sang total), 9,8 lts. en líquids extracel·lulars, i la resta, uns 29,4 lts. estan situats intracel·lularment (Zwemer, 1953).

Els estudis realitzats fins ara ens han demostrat que entre els líquids intracel·lulars i els que estan fora de les cèl·lules, així com entre aquests i els líquids de transport (sang, limfa, etc.), hi ha un intercanvi constant i molt dinàmic, amb poques excepcions, com és el cas del líquid cerebroespinal que reté unes característiques pròpies, com és per exemple el seu contingut en Mg, que és més del doble del que es troba en el plasma, etc., i que manté aferrissadament, gràcies a l'existència de la barrera encefalo-espinal, que fa que els intercanvis entre el líquid encefalo-espinal i el plasma siguin molt lents i no reflecteixin els canvis plasmàtics tan ràpidament com ho fan la resta de líquids extracel·lulars.

Si bé la majoria dels minerals que conté el cos estan àmpliament repartits per tot el cos, alguns d'ells tenen una radicació molt específica, com és el sistema ossi per al Ca o P, els líquids intracel·lulars per al potassi, els extracel·lulars per al Na, la sang per al Fe, etc. És tanmateix sorprenent comprovar, com veurem tot seguit, que la majoria dels minerals els trobem portant a terme funcions de gran importància vital arreu del cos.

Els minerals absorbits dels aliments són traslladats per la sang als diferents indrets del cos. De la sang passen als líquids intersticials, ja sigui per simple difusió o per mecanismes actius, i dels líquids intersticials, que serveixen en certa manera de dipòsits de regulació, són transferits a l'interior de les cèl·lules, les que a la vegada retornen als mateixos líquids intersticials, els productes de la seva activitat cel·lular, que retorna a la sang venosa, ja directament, ja mitjançant el sistema limfàtic. El pas dels minerals a l'interior de les cèl·lules, pot ser per simple difusió, si bé la cèl·lula és perfectament capaç d'acumular minerals en concentracions molt més altes o baixes que les del plasma o líquids intersticials, inclús amb diferències molt significatives en quant el gradient de concentració en relació als líquids extracel·lulars.

Fem ara un recorregut ràpid per les funcions dels minerals més importants i significatius, sense veure'ls tots ni entrar massa en detalls tècnics i tan sols per ressaltar la importància de les seves funcions fisiològiques i bioquímiques, i per tant nutricionals. Veiem-los tan sols per tenir una idea de la seva importància. És curiós ressaltar el fet, abans d'entrar en detalls, que molts dels minerals importants estan lligats, o potser podríem dir agermanats, en termes col·loquials, per la seva estructura o fisiologisme, amb altres elements minerals, de tal manera que si es produeix una deficiència d'un d'ells, a la llarga es presenten símptomes de deficiència del seu company de feina.

Calci i Fòsfor

Heus aquí els dos minerals més importants del cos animal, lligats entre sí d'una manera indissoluble en molt bona part de les seves funcions, si bé no en totes. El seu punt d'unió és l'estructura de les seves salts, principalment la hidroxilapatita, que donen cos als ossos, és a dir, els fosfats de calci, sense els quals no fóra possible donar als ossos la densitat i força necessàries per la vida. Hem ressaltat inicialment la importància del calci i del fòsfor, com els macromineral probablement més importants, almenys en quant a la seva necessitat quantitativa i a l'evidència d'aquesta necessitat. Veiem-ne tot seguit els seus trets més significatius.

Calci

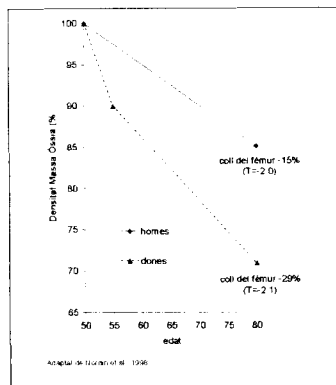
El Calci és, sens dubte, el mineral més abundant en el cos humà i probablement el més important. Malgrat la seva abundància a la terra, on el Ca es calcula que és el 5è element més abundant a l'escorça terrestre, és sorprenent comprovar que la seva simptomatologia carencial més característica, el raquitisme, ha estat probablement la deficiència mineral més antiga i coneguda. Ha estat identificada en dibuixos i inscripcions en tombes egípcies que daten de més de 4000 anys *a. C.* Tot i els coneixements adquirits al llarg dels segles sobre el Ca, la incidència de raquitisme, òbviament complicada per altres factors

dietètics, ha estat i sorprenentment continua estant, una de les alteracions nutricionals més freqüents, principalment en els països subdesenvolupats.

El cos humà dit estàndard (recordem els 70 Kg) en conté aproximadament un 1.6/1.7 % del seu pes, és a dir, uns 1100 a 1200 grams, dels quals la quasi totalitat (un 99 ó potser un 99.5 %) el trobem en l'esquelet, és a dir, en el sistema ossi i dentari, majoritàriament en forma de fosfats, fonamentalment hidroxilapatita. I aquests ossos, sòlids, aparentment secs quan els tenim a les mans, no són una estructura mineral adormida, com podria ser un fosfat bicàlcic rocós, sinó que és un teixit viu, extraordinàriament dinàmic, metabòlicament actiu, que no tan sols dóna suport a l'estructura humana i animal, sinó que assumeix tota una sèrie de funcions i responsabilitats fisiològiques i bioquímiques que garanteixen la continuïtat de la vida.

Els ossos, que presenten dues formes de teixit ossi diferent, l'os cortical, més dens, i l'os medullar o trabecular, més esponjós, es fan i es desfan constantment (es calcula que uns 700 mg de Ca entren i surten dels ossos d'un ésser humà adult cada dia), mantenint un equilibri estable, controlat per un sofisticat control hormonal, entre el Ca contingut en els ossos i l'altre 1% restant que hem dit que es troba molt repartit en altres teixits i líquids corporals.

I aquest equilibri tan sols és vençut per l'edat. A mesura que l'home i la dona envelleixen, els ossos van perdent densitat i estructura. A partir dels 35-45 anys, que és quant s'ha arribat al màxim de densitat dels ossos, tant els homes com les dones perdem aproximadament un 0.5 a 1.0 % per any de la nostra massa òssia, (Gràfica 1) fins al final de la nostra vida (Nordin et al., 1998) El quocient entre l'os cortical i l'àrea total d'un tall transversal d'un os llarg, disminueix a l'avançar l'edat, molt més en les dones que en els homes, degut a les alteracions hormonals menopàusiques (Ettinger et al., 1987). De fet, en els anys que precedeixen i segueixen a la menopausa, aquestes alteracions hormonals de les dones s'acceleraran significativament i fan que perdin massa òssia, a raó de 2 a 2.5 % per any (Arnaud i Sanchez, 1990).



Gràfica 1

És curiós observar tot i així, com el risc de fractures de fèmur i maluc en dones d'edat, és menys freqüent en dones de més pes corporal que en les més primes, degut segons sembla (Kiel et al., 1987) a un nivell d'estrògens més elevat, a causa de la conversió de precursors esteroids presents en el teixit adipós. Durant aquest procés involutiu, l'os cortical es fa més prim i per tant més susceptible de trencar-se. Aquest fenomen es coneix com l'osteoporosi i explica les fractures que, per causes a vegades insignificants, pateixen les persones grans, particularment les dones.

Però, a més de mantenir l'estructura física del cos humà o animal, els ossos representen un magatzem de Ca i de P, pensat per abastir les altres necessitats que el cos animal té d'aquests minerals, per altres finalitats, igualment importants o potser fins i tot més importants que mantenir la integritat dels ossos. Recordem que del total de 1200 gr de Ca que té el cos d'un adult, tan sols uns 10 o 12 gr es troben fora dels ossos i certament ben repartits per tot arreu del cos. La sang, on s'hi troba a uns nivells de 8 a 10 mgrs/100 ml, nivells mantinguts pel dinamisme biològic dels ossos, s'encarrega de fer-lo arribar a tots els llocs on és necessari. I si repassem totes les coses que fa, potser entendrem una mica més el sentir dels nutròlegs mineralistes.

Recordem, abans d'entrar amb detall en les funcions del calci, que aquest element es troba principalment en la llet i productes làctics, així com en determinades verdures (bròquil, col-i-flor, etc.), i també naturalment en l'aigua de beguda, en zones on, per la naturalesa de les terres, les aigües són molt dures. Segons les darreres recomanacions del RDA nord-americà (RDA, NRC, 1989), les necessitats i recomanacions pràctiques de Ca giren entorn dels 1200 mgrs/dia en les persones joves (de 10 a 25 anys), rebaixant-se la recomanació fins els 800 mgrs/dia en les persones de més edat, amb recomanacions òbviament més elevades durant l'embaràs (mantenir els 1200 mgrs/dia) i lactació.

L'absorció intestinal del Ca alimentari és molt variable i depèn de l'edat, oscil·lant des de coeficients de digestibilitat d'un 75% en els joves, fins a nivells tan baixos com són del 20 al 25% en les persones de més edat (Heany et al., 1982), i també de la concentració de Ca en la ingesta. Quant més Ca conté l'aliment, menys se n'absorbeix. També, naturalment, la seva digestibilitat es veu molt influïda per la presència d'altres factors dietètics, com són el contingut en proteïna, Na, vitamina D, fòsfor i fibra de la ingesta (Nordin et al., 1998). El Ca no absorbit és excretat principalment per via fecal, si bé també es perd Ca per l'orina (de l'ordre de 100 a 200 mg/dia) i de la suor (de 10 a 20 mg/dia), essent aquesta via d'eliminació òbviament molt variable.

Una vegada a la sang, ja sigui provenint de la digestió i absorció intestinal del Ca alimentari, o de la desmineralització dels ossos, el Ca es converteix en primer lloc en el guardià i vigilant de la pròpia sang: que no s'extravasi ni es perdi. La coagulació de la sang, que frena les pèrdues per ferides accidentals, està sota el seu control. Des de la sang el Ca és repartit arreu del cos: al múscul estriat del cor, o miocardi, per garantir una funcionalitat cardíaca correcta (Hosey

et al., 1989), i al múscul esquelètic, on s'han trobat unes concentracions de canals conductors de Ca cel·lular més elevades inclús que en el múscul cardíac, a fi i efecte d'assegurar una contractilitat muscular correcta i adaptada a les possibles urgències de lluita i supervivència (Beam, 1989).

Però no tan sols el trobem en el múscul estriat cardíac i esquelètic, sinó que la seva presència, mediada pels canals de Ca (Wray et al., 1989), la trobem en pràcticament totes les cèl·lules estimulables del cos, modificant els potencials de membrana cel·lulars (Renaud et al., 1989), i facilitant el funcionament cel·lular, molt particularment en neurones, intervenint en el procés de plasticitat neuronal, com és la transmissió de l'impuls nerviós d'una neurona a l'altra (Linàs et al., 1989), el desenvolupament de la memòria, dels mecanismes de l'aprenentatge i en el control dels processos de degeneració i mort de les neurones, que condueixen a l'envelliment, la demència senil i eventualment la mort (Disterhoft et al., 1994).

També el trobem en cèl·lules secretores diverses, com per exemple les cèl·lules pancreàtiques i pituïtàries (Findlay et al., 1989; Mollard et al., 1989; DeRiemer, 1989), i inclús en cèl·lules del teixit muscular no estriat (Chen et al., 1989). Inclús podem demostrar la seva indispensable presència en estructures tan sorprenents com són les cèl·lules receptores de les papil·les gustatives bucals (Kinnamon et al., 1989), i inclús en cèl·lules no estimulables, com són els fibroblasts (Chen et al., 1989). També trobem la presència de Ca indispensable, segons dades molt recents, en els processos de divisió cel·lular (Moolenaar et al., 1984; Hesketh et al., 1985; Morgan & Curran, 1986), mobilitat cel·lular (Yin & Stossel, 1979), fagocitosi (Okada et al., 1981), i un llarguíssim etcètera, és a dir, pràcticament a tot arreu del cos.

Inclús el Ca no absorbit en el tracte intestinal, el que no serveix per res, el que s'ha de llençar a l'exterior del cos, sembla tenir una funció protectora a nivell intestinal. S'ha teoritzat i publicat molt sobre el possible efecte cancerígen dels àcids greixosos alimentaris no absorbits, així com dels àcids biliars. Sembla ser que aquests àcids poden arribar a irritar la mucosa del budell gros, principalment el colon, la qual irritació, si es perllonga massa en el temps, pot arribar a produir una alteració cancerosa (Lipkin i Newmark, 1985). Doncs bé, s'ha demostrat que la presència d'aquest Ca residual, que aparentment no servia per res, d'aquest Ca que es troba en el lumen colònic en quantitats apreciables, esperant per ésser evacuat, provoca la formació de sals càlciques d'aquests àcids greixosos i biliars, amb la qual cosa disminueix l'efecte irritant i per tant la incidència de processos neoplàsics de colon (Pariza, 1988).

En arribar a aquest punt voldria retrocedir uns instants i ensamblar dos conceptes impactants, almenys al meu entendre, referits al Ca. Recordem que d'un total de 1200 grams de Ca que conté el cos humà, tan sols un 1% aproximadament, és a dir, uns 10-12 grams, es dediquen a fer coses que no tenen res a veure amb els ossos, que fins ara hem descrit com la seva funció primordial. Deu o dotze grams de Ca, que al preu actual d'una bona font de Ca,

com és el carbonat càlcic, l'ingredient alimentari més barat que es coneix, valen aproximadament uns 10 cèntims de pesseta! Doncs bé, quasi m'atreviria a dir que aquests 10 cèntims de Ca controlen, sinó tot, sí certament una molt bona part del cos humà i les seves funcions, degut a la presència del Ca intracel·lular en tantes i tantes cèl·lules.

Permeteu-me, senyores i senyors, que abusi de la seva paciència al intentar fer-els-hi veure la subtileza i finura de les funcions no òssies del Ca, com un exemple de la importància dels minerals, malgrat la insignificància de la seva presència física. Ja fa temps que els científics es preguntaven, i si hom es para a pensar, no cal ésser un científic de primera fila per qüestionar-se aquest fet. ¿Com s'ho deuen fer totes les substàncies químiques que circulen pel cos humà, tant d'origen endogen (hormones, enzims, etc.), com exogen (vitamines, etc.), perquè les cèl·lules a que van destinades (cèl·lules dels teixits musculars, nerviós, endocrí, etc.), executin les ordres que aquestes substàncies transmeten?

De mica en mica s'ha anat sabent que les membranes cel·lulars tenen uns receptors específics, anomenats receptors de membrana, per a cada una d'aquestes substàncies. Que un cop interceptades, és a dir, captades aquestes substàncies pels receptors, la informació rebuda és transmesa a l'interior de les cèl·lules per altres molècules, denominades "missatgers de segon grau", que o bé executen les ordres rebudes directament (síntesi de compostos orgànics, reaccions diverses, etc.), o bé transmeten el missatge, és a dir, s'uneixen i transmeten l'encàrrec a altres substàncies o "missatgers de 3er grau" que són els que finalment executen les ordres rebudes.

Doncs bé, recentment s'ha comprovat que l'ió Ca és un dels "missatgers de 2º grau" més important d'una gran majoria de cèl·lules (Villereal i Palfrey, 1989) i que si no s'havia pogut saber amb seguretat fins ara, malgrat que la seva presència i funcions ja s'havien intuït fa més de 60 anys (Heilbrunn, 1930; Mazia, 1937), ha estat degut a la dificultat en analitzar els ínfims continguts de Ca intracel·lular, que per més dificultat, estan repartits dins del citoplasma cel·lular en diferents formes químiques i departaments cel·lulars.

Ara bé, per mantenir el nivell de Ca intracel·lular necessari per a fer tota aquesta feina, que s'estima aproximadament en 100 nM (és a dir, 0,0000040 grams/L!), la cèl·lula l'ha d'obtenir dels líquids extracel·lulars, on es troba en concentracions de més de 10.000 vegades superiors (Villereal i Palfrey, 1989), i ja que s'ha de mobilitzar a favor de diferents gradients de concentració de tanta magnitud, la seva entrada es fa a través dels anomenats canals de Ca, dels que se'n coneixen dos tipus diferents, segons el seu mecanisme d'acció, perfectament diferenciats i encara subdiferenciats en altres modalitats, segons característiques cel·lulars, canals que s'obren i es tanquen per sistemes de despolarització de membrana, sistemes que òbviament no entrarem a discutir. Donem-los per bons. Seguim doncs de la mà del Ca. Una vegada dins de la cèl·lula, el Ca és distribuït per varis departaments intracel·lulars, on en diverses formes químiques, és "segrestat", és a dir, retingut i emmagatzemat fins que sigui necessari.

Quan arriba l'ordre transmesa per una substància qualsevol, per exemple una hormona, amb la finalitat d'estimular a la cèl·lula a fer alguna cosa concreta, la informació rebuda pel receptor de membrana hormonal de la cèl·lula, és transmesa a les reserves de Ca intradepartamental cel·lular, per mitjà de "missatgers de 2º grau", d'entre els quals destaca, a més del propi Ca com a més important i significatiu, un altre tipus de missatger igualment important, que curiosament és un compost ric en un altre mineral, el fòsfor, el gran company del Ca, que és el fosfatidilinositol bi o trifosfat, que fa sortir el Ca del departament on es trobava emmagatzemat, el qual s'unirà als seus "missatgers de 3er grau", específics pel Ca i coneguts com "Ca binding proteins", és a dir, proteïnes captadores de Ca, de les quals se'n coneixen varies fins ara, com són les Calmodulines, amb quatre punts de captació d'ions Ca en la seva molècula, les Calcineurines, les Calpaines, les Aducines, les Anexines, etc., que són les que eventualment executen les ordres rebudes (Siesjö, 1994).

Però, la subtileza dels mecanismes que controlen els nivells de Ca intracel·lular va molt més enllà. Recordem d'entrada, i tal com acabem d'explicar, que el Ca entra a l'interior de les cèl·lules mitjançant els canals de Ca, que com ja hem dit, responen a dos tipus diferents, i dels que se'n coneixen de diversos tipus, en funció de les quantitats de Ca que deixen entrar o de les cèl·lules on se'ls troba, com són, entre els més significatius, els canals T (transitoris), L (de llarga durada-long lasting), N (neuronal) i P (en record de les cèl·lules de Purkinje on foren descoberts).

Una vegada dins de les cèl·lules, el Ca és distribuït i segregat en tres llocs diferents: els calciosomes, el sistema reticular endoplàsmic i les mitocondries, a part de les proteïnes captadores de Ca (Ca-binding proteins), que ja hem descrit, i les proteïnes amortidores del Ca, tipus Calcibindines i Parvalbúmines, respectant-se a la vegada un cert nivell de Ca iònic lliure. Si el nivell intracel·lular o citosòlic de Ca lliure és excedit dels seus nivells normals, que com hem dit són extraordinàriament petits (de l'ordre de 20 a 200 nM) en les cèl·lules en repòs (Brown i Jaffe, 1994), l'excés de Ca és expulsat de la cèl·lula als espais extracel·lulars, mitjançant sistemes actius, ATP-depenents, amb una despesa energètica considerable, facilitada per un compost que conté P, els ATP. El resultat de tot això és el manteniment d'un delicadíssim equilibri del Ca lliure citosòlic o intracel·lular de la màxima importància.

Quant aquest equilibri homeostàtic es trenca, o tan sols es desequilibra durant períodes de temps excessivament llargs, per causes patològiques o senzillament degut al procés de l'envelliment, es comencen a produir disfuncions cel·lulars, entre els efectes de les quals destaquen com a més significatius la pèrdua de la memòria, la facilitat d'aprenentatge i eventualment, si el desequilibri no es corregeix, les diverses formes de demència senil, que poden arribar en casos extrems, a produir la malaltia d'Alzheimer. I tots aquests símptomes són generalment deguts a que la disfunció cel·lular més precoç es produeix a les neurones i, a més a més, a nivell de les sinàpsis neuronals i per tant de la

transmissió de l'impuls nerviós. Aquestes disfuncions o lesions cel·lulars donen lloc, tal com ja hem indicat, als símptomes propis de l'envelliment, diversos processos de demència senil, a la malaltia d'Alzheimer i eventualment, com ja s'ha indicat, a la mort de les cèl·lules i de la persona (Disterhoft et al., 1994).

Una de les possibles causes de tot el descrit, és la influència del nivell intracel·lular de Ca sobre l'activitat d'algunes de les proteïnes captadores de Ca, tal com les Calpaines. Aquestes proteïnes, d'activitat enzimàtica proteolítica, requereixen Ca per activar-se i un cop activades, controlen la major part de les activitats metabòliques proteiques de les cèl·lules. Si el nivell de Ca augmenta per sobre del normal, l'activació de la Calpaina és excessiva i com que és un enzim proteolític, produeix una desintegració descontrolada de les proteïnes citosòliques, amb la qual cosa es produeix la disfunció cel·lular, particularment en les neurones, a nivell de les sinàpsis i al fallar la connexió sinàptica neuronal es produeixen les alteracions cel·lulars que ja hem descrit. Tot i així, si l'alteració del nivell de Ca és transitòria o poc pronunciada, no passa res, ja que la cèl·lula disposa d'un sistema per a controlar l'excés de Ca iònic lliure, com són les proteïnes amortidores i també per controlar l'excés d'activitat de la Calpaina, que són les Calpastatines, inhibidores específiques de les Calpaines. ¡Veritablement tot un meravellós exemple de control cel·lular (Nixon et al., 1994)!

Quant tots els sistemes de control del Ca lliure intracel·lular fallen, encara li queden sistemes a l'organisme per intentar frenar l'increment excessiu del nivell de Ca intracel·lular, i entre els sistemes disponibles tenim l'ajut d'un altre mineral, el Magnesi, reconegut inhibidor dels increments de Ca citosòlic. Els mecanismes d'actuació del Magnesi semblen ésser de dos tipus: per una banda, l'increment del nivell de Magnesi intracel·lular, frena l'alliberació de Ca del sistema reticular endoplàsmic (Pearson et al., 1994) i a l'hora, estimula la freqüència de potenciació a nivell de les sinàpsis neuronals (Landfield, 1994), la qual cosa permet el re-establiment de la continuïtat de la transmissió sinàptica.

Senyores i senyors, per segona vegada els demano disculpes per l'ho enrevessat del que acabo de descriure. Òbviament difícil de seguir i també d'entendre-ho, si no s'és un veritable especialista en la matèria. Tan sols he volgut descriure'ls-hi la tremenda quantitat i diversitat de funcions biològiques que fan aquests 10 cèntims de Ca que es troben fora dels ossos, donar-els-hi una idea de la seva importantíssima intervenció en tots els processos vitals que hem descrit, i el que és molt més important, fer-els-hi entreveure la meravellosa i subtil complexitat del conjunt de reaccions químiques a que feia referència en Lavoisier, qui tan sols es va equivocar en una cosa: la vida no és "une fonction chimique", sinó un complicadíssim i meravellós conjunt de milers i milers de reaccions químiques, finament entrelligades per assegurar el fenomen de la vida.

Fòsfor

Vegem ara el fòsfor, el segon mineral més important, almenys quantitativament, en el cos humà. Se l'ha definit a vegades com "l'or blanc", pel seu valor i la importància econòmica dels jaciments de fosfats, que donen riquesa als països que tenen la sort de tenir-los. El P constitueix un 1% del total del cos humà, quasi la meitat del Ca, aproximadament uns 700 grams, del total de 1800 que hem senyalat fa uns minuts, com el total dels dos elements minerals més importants, el calci i el fòsfor. D'aquests 600/700 grams, un 85% aproximadament, es troba unit al Ca en els ossos del cos, en forma de fosfats, en tant que de l'altre 15%, un 14% el trobem situat en els diversos teixits del cos, i l'1% restant en els líquids extracel·lulars, inclosa la sang, on es troba en concentracions de 2 a 5 mg/100 ml de plasma, i on es manté, de la mateixa manera que el Ca, en un equilibri homeostàtic, controlat per sistemes hormonals semblants als del Ca, si bé que inversos, i també com el Ca, depenent dels fosfats del ossos, com a reserva disponible, per mantenir els nivells de P necessaris per a la vida (Berner i Shike, 1988). La relació del P amb el Ca és d'aproximadament 1:1.8 a 2. Si aquesta relació es trenca, per deficiència de P, es produeixen alteracions patològiques, fonamentalment òssies, com es l'osteomalàcia.

El fòsfor es troba, com el Ca, en concentracions elevades en la llet i productes làctics, així com també en una bona part d'aliments d'origen animal: carn, peix, ous, així com en els fruits secs, lleguminoses, etc. L'absorció intestinal del fòsfor, que té lloc preferencialment en els segments proximals del budell prim, és activa i Na-dependent. Aquesta és la forma predominant d'absorció. Tot i així, el P que s'escapa d'aquesta fase d'absorció pot ésser absorbit, d'una manera passiva, a nivell de jejun i il·leum, en funció del seu nivell intraluminal.

En general els seus coeficients d'absorció són baixos, de l'ordre del 40 al 50%, si bé la digestibilitat del P en els infants alimentats amb llet és molt elevada (de l'ordre del 80 al 90%) i també molt influïda, igual que el Ca, per la seva concentració en la dieta (NRC, 1989). L'absorció del P es veu molt influïda pel 1,25 dihidroxico-calciferol ó 1,25(OH)₂D, i també pels nivells de Ca, que en cas d'ésser excessivament elevats, poden deprimir l'absorció de P, tant directament (mitjançant la formació de fosfats insolubles), com a través de la depressió dels nivells de la 1,25 (OH)₂D que, com sabem, es troben en concentracions inverses a les del Ca sanguini, i per tant els excessos de Ca, en taxes superiors a ratios de 3:1 amb el P poden produir deficiències fosfòriques (Berner i Shike, 1988).

Les fraccions de P no absorbides són excretades per via fecal, en tant que els excessos de P, tant d'origen orgànic com inorgànic, provinents del metabolisme cel·lular, són eliminats, bé a través de les secrecions salivars i biliars, i per tant també per via fecal, bé directament per via renal, que és la que més controla els nivells sanguinis de P i per tant la seva homeostasi corporal. S'estima que les pèrdues renals de P en l'humà adult, són de l'ordre dels 600 a

800 mgrs diaris, que sol correspondre, com veurem tot seguit, a les recomanacions diàries, amb l'objecte de mantenir l'equilibri desitjat.

Les recomanacions dietètiques de P, suggerides per la RDA, es basen en un quocient d'1:1 amb el Ca, que probablement sigui una mica massa estret, ja que en general es considera que el quocient de Ca:P està més a prop de 2:1. Nogensmenys, tenint en compte la digestibilitat dels dos elements, els organismes dietètics internacionals recomanen ingestes diàries molt semblants a les del Ca, és a dir, de 1200 mgr/dia per a joves fins els 25 anys i de 800 mgr/dia per adults de més de 25 anys.

En els ossos, el P el trobem principalment en forma de fosfat calcic, formant part del mineral hidroxilapatita (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂), tal com ja hem dit al parlar del Ca, que es diposita en la matriu orgànica de l'os i li dona densitat i força. En els demés teixits, el trobem en tres formes diferents: com a component estructural, per exemple en forma de fosfolípids en les membranes i estructures cel·lulars, com a component genètic en les estructures moleculars dels DNA i RNA i com a component indispensable de nombroses estructures metabòliques.

El P dona suport al Ca en els ossos i veladament, com si no hi fos, assumeix algunes de les funcions metabòliques intracel·lulars més importants. En forma de compostos tan importants, metabòlicament parlant, com es l'ATP, capta l'energia dels aliments, alliberada en el procés de la seva metabolització, i la transforma en energia química perquè després sigui utilitzada com a font d'energia per totes aquelles reaccions endergòniques, és a dir, les reaccions anabòliques que necessiten d'aquesta energia per sintetitzar els teixits corporals, per créixer i permetre el desenvolupament vital de la persona o animal. En les membranes cel·lulars, el trobem com a part estructural dels compostos fosfolipídics, que són els components més importants de les membranes.

Altres derivats fosfòrics, amb l'ajut d'altres minerals com és el Zn, en forma de fosfats de Zn, els trobem tanmateix portant a terme funcions tan diverses com és la de formar ciments dentals, emprats en odontologia, que si bé no es pot dir que intervinguin d'una manera molt directe en el manteniment de la salut, sí que certament contribueixen a donar un cert benestar a les persones d'edat avançada (Canalda, 1999)

A l'interior de les cèl·lules, el fòsfor forma part dels sistemes metabòlics més importants del cos. El trobem formant part del monofosfat cíclic d'adenosina o cAMP, reconegut com a missatger de 2º grau intracel·lular, equivalent al que havíem descrit per al Ca intracel·lular. També el trobem com element indispensable en les cadenes de fosforilització oxidativa, formant part de la molècula de molts compostos químics d'importància vital per a l'organisme, tals com els coenzims Flavin-mononucleòtid (FMN) i Flavin-adenin-dinucleòtid (FAD), que controlen els processos redox o de fosforilització oxidativa del cos (Merrill et al., 1981), dins dels eritròcits, com a part de molècules que col·laboren amb el Fe en el transport d'oxigen a les cèl·lules i formant part, com ja hem vist, dels

ADP's, ATP's, etc., que com sabem contenen els enllaços rics en energia, que són els encarregats de rebre l'energia tèrmica alliberada en la combustió de la glucosa i emmagatzemar-la en forma d'energia química (52 kJ per enllaç fosfòric), per quan sigui necessària. I quan ja no en pot guardar més, aquesta feina és transferida a un altre compost, també fosfatat, com és el fosfat de creatina, que ve a representar una font de reserva addicional.

El paper que el P juga en el plasma sanguini, és un altre exemple de la importància d'aquests elements minerals, malgrat les baixíssimes concentracions en que es troben. De la mateixa manera que amb el Ca, el P de la sang serveix per a mantenir els nivells de P intracel·lulars, necessaris per a les funcions de la cèl·lula. Quant la fosfatèmia baixa, per exemple per desequilibris sanguinis provocats per la sobtada necessitat de subministrar més P a les cèl·lules (com és en casos d'alimentació intravenosa, excés de consum de glucosa, després de períodes d'inanició, etc.) i simultània reducció en el subministrament dietètic de fòsfor, les més petites desviacions del P sanguini poden produir el que es coneix com la Síndrome de Deficiència Fosfòrica (PDS), que en determinades circumstàncies pot arribar a ésser fatal (Berner i Shike, 1988).

Acabem de veure una mostra, sens dubte la més representativa, de la importància dels minerals en la salut de l'home. El calci i el fòsfor. Sense ells no hi ha vida possible. És ben cert que tampoc n'hi hauria sense els altres minerals, les vitamines, les proteïnes, etc. Però cal reconèixer que aquests dos minerals, íntimament lligats en una de les funcions més importants, la síntesi del sistema ossi i separats, però no del tot, per la resta de les seves funcions específiques, constitueixen sens dubte els fonaments de l'edifici humà, li donen l'estructura física sobre la que s'edificarà tot el complex biològic que l'ésser humà representa, i on hi cabran tots els milers de reaccions químiques a que feia referència en Lavoisier fa més de 200 anys. I no tan sols li donen l'estructura necessària, sinó que li asseguren el mecanisme per abastir-se d'energia per viure, a partir dels aliments. Possiblement si hom s'atrevis a opinar, jo diria que el més important de tots els minerals és el calci. I tanmateix, no en som massa conscients, perquè en tenim molt al nostre abast i és extremadament barat. Tots els 1200 grams de calci que conté un cos humà es poden comprar per menys de 10 ptes., o si ho volen més gràfic, per menys de 0.06 Euros!

Sodi

Passem ara a considerar un altre mineral, conegut de tots i molt possiblement de més impacte social que cap d'altre. El Na, particularment en la forma de ClNa, la sal de sempre, és la sal sòdica natural més abundant a la terra. Mineral particularment abundant en els països amb franges marítimes, en els que la sal marítima sol estar a l'abast de tothom, i en canvi tremendament escàs en països de l'interior dels continents, allunyats de les aigües del mar i depenents de les mines de sal.

L'origen del coneixement de la necessitat de l'home per la sal es perd en la història dels temps. Les mines més antigues de sal que es coneixen són al Tirol austríac i se'ls calcula una edat de més de 3000 anys, és a dir, de l'edat del Bronze. Per la sal s'han lluitat guerres i durant segles i segles, la sal ha estat un dels elements inorgànics més importants per l'home, objecte de comerç, impostos i com a primer exemple del que ara coneixem com a "retribució en espècies". Inclús la paraula salari prové de la paga en forma de sal, que la Roma Imperial donava als seus soldats

El Na és el sisè element més abundant en l'escorça terrestre, després del Ca, on es troba en una concentració aproximada del 2,8 % i se'l troba en forma de sal de roca i moltes altres formes minerals. Les sals de Na són generalment molt solubles, la qual cosa fa que el contingut en Na dels sòls i compostos minerals rics en aquest element sigui lixiviat i la seva concentració final en les terres sigui molt baixa.

El fet de la seva elevada concentració en l'aigua de mar, va fer teoritzar a alguns científics de primeries de segle, sobre les aigües del mar com a bressol de la humanitat, buscant així una explicació de la relativament elevada presència de Na, com a mineral més important dels líquids extracel·lulars (Macallum, 1926). Igual que en l'aigua de mar, el Na és efectivament l'element mineral més abundant del plasma i líquids extracel·lulars, per sobre de les concentracions d'altres minerals importants, com són K, Ca, P, Mg, etc.

El cos de l'home estàndard conté aproximadament uns 200 a 250 grams de ClNa, dels quals aproximadament la meitat es troben en els líquids extracel·lulars, uns 95-100 grams en els ossos i la resta, aproximadament uns 20 a 30 grams, en l'interior de les cèl·lules. Les fonts de Na més importants són naturalment els aliments, l'aigua de beguda i la sal que voluntàriament s'utilitza per a saboritzar els aliments, al gust personal del consumidor.

Si bé es considera que entre un 80 i 90 % del Na ingerit ho és amb els aliments, el contingut en Na de les aigües de beguda esdevé molt important, donada l'extrema variabilitat existent en el seu contingut. Normalment es considera que un contingut de Na de 20 mg/L és el màxim tolerable i compatible amb la recomanació d'una ingesta màxima diària de Na de 500 mg/dia de les dietes hiposòdiques, recomanades per la American Heart Association dels EE.UU.(1957) i altres investigadors (Meneely i Battarbee, 1976). Aquesta recomanació de 500 mg/dia, recomanada com a màxim en dietes hiposòdiques, és malgrat tot, sensiblement inferior a les recomanades per la National Academy of Sciences de Washington, que les situa sobre els 3.0 gr/dia de ClNa, equivalent a 1.200 mg de Na/dia aproximadament, si bé és freqüent que els consums s'incrementin fins als 5 i 8 gr./dia en les persones habituades al gust de la sal.

Sembla ser que el desig per la sal és una tendència induïda per l'administració de dietes hipersòdiques en l'alimentació dels infants (Dahl, 1968), i que l'administració de dietes riques en sal poden ésser factors coadjuvants en la presentació d'estats d'hipertensió arterial posterior (Isaacson et al., 1963; Prior

et al., 1968; Perloff, 1977). En aquest sentit és doncs recomanable reduir al màxim possible el contingut en sal de les dietes dels infants

Tenint en compte que el consum d'aigua considerat normal per un adult és de l'ordre de 2.0 a 2.5 L. diaris per terme mig, si l'aigua contingués més de 200 mg/L de Na, amb l'aigua sola es cobriria el màxim recomanat per la Am. Heart Ass. (1957). Tanmateix, tenint en compte que el contingut en Na de les aigües és molt variable (per exemple, les aigües comercialitzades en l'àrea de Barcelona oscil·len entre nivells de 2.0 mg/L fins a nivells de més de 1.000 mg/L), és aconsellable familiaritzar-se amb el contingut de Na de les aigües que es beuen, particularment en les persones sotmeses a dietes hiposòdiques.

Si bé al Na no se li coneixen accions particularment específiques, el fet que representi més del 90% de tots els cations presents en el plasma, fa que tingui una importància considerable. Possiblement una de les seves funcions més importants sigui el control del volum dels líquids extracel·lulars. Tant el contingut total de Na del cos, com la seva concentració en els líquids extracel·lulars, es troben sota un control homeostàtic important, i això explica que les més petites variacions en les concentracions de Na i Cl en el plasma sanguini tinguin repercussions importants en el manteniment de constants fisiològiques essencials, tals com la pressió osmòtica, el volum del plasma i líquids intersticials, l'equilibri àcid-bàsic, el manteniment dels potencials elèctrics cel·lulars i fins i tot sobre la resposta del sistema cardio-vascular a multitud de factors hipo o hipertensors (Fregly, 1981). De tot això es desprèn la considerable importància que té el contingut de Na del cos, en quant al control dels equilibris fisiològics necessaris per al manteniment de la salut en l'home i els animals domèstics.

Les sals de Na, molt en particular el ClNa, s'absorbeixen fàcilment del tracte intestinal cap a la sang, al llarg de tot el budell prim, principalment a nivell del duodé i jejunum. L'absorció és fonamentalment activa i, en funció de la concentració de sal en la dieta, es pot produir a la inversa, és a dir, traspàs de ClNa de la sang al lumen intestinal, quan el contingut intestinal és molt hipotònic.

El transport del Na a través de la paret intestinal s'efectua mitjançant un sistema de bombes de Na, ja que l'absorció s'efectua de solucions hipotòniques a hipertòniques. L'absorció de Na està directament relacionada amb la concentració de Na a la ingesta. A major concentració, major absorció (Kramer i Ingelfinger, 1963), per la qual cosa es desprèn que la responsabilitat de controlar els nivells sanguinis de Na recau en el ronyó i la seva capacitat d'excreció, que està controlada per un complicat sistema neuro-hormonal (Freis, 1976). No se li coneixen límits a la seva capacitat d'absorció intestinal, deixant la responsabilitat del seu control a l'excreció renal. Malgrat aquesta eficient capacitat d'absorció, una petita part de ClNa s'escapa al procés d'absorció i és eliminat per via fecal, sigui quina sigui la seva ingesta alimentària.

L'homeostasi sòdica corporal es manté gràcies a un control hormonal, principalment controlat per l'aldosterona i els seus efectes sobre els conductes renals. Si bé el control de l'excreció renal, que és la més important, es manté

meticulosament gràcies a l'aldosterona, hi ha pèrdues obligatòries fecals i a través de la suor. Tot i això, els estats carencials de Na són molt difícils de produir, inclús en les dietes hiposòdiques més extremes (Page, 1976). Malgrat aquesta elevada capacitat de retenció corporal del Na, en casos extrems de sudoració, diarrees cròniques, etc., es poden presentar estats carencials greus de Na.

La sal és un dels ingredients alimentaris més freqüents i coneguts arreu del món. Es troba tant en els aliments processats, com curats, com a potenciador del sabor dels aliments, com a conservant, etc., a part, naturalment, de la seva presència en la gran majoria de taules, com a additiu per als aliments, ja cuinats o durant els seus diversos sistemes de cocció. El seu gust salat és considerat pels experts com a únic en el món, no reemplaçable per cap altre producte. Altres productes similars en quant al gust, tal com el ClK, s'han emprat com a substituïts, però mai amb èxit total. Sembla no gensmenys, que la mescla de ClNa i ClK a parts iguals, és quasi bé idèntica, en quant a gust, al ClNa sol, la qual cosa s'utilitza per disminuir la ingesta de Na i alhora incrementar el nivell de K, que en molts casos es pot considerar insuficient (Frank & Mickelsen, 1969; Fregly, 1981).

Potassi

El potassi, company indiscutible del Na en l'entramat fisiològic corporal és, degut a la seva estructura electrònica, un dels elements més làbils i mòbils de la naturalesa. El seu contingut en la litosfera és de l'ordre d'un 1,5 % aproximadament i ens el trobem repartit en cents de minerals, en concentracions molt variades. El potassi comparteix amb el Na la responsabilitat del manteniment de l'equilibri iònic i la pressió osmòtica intra i extracel·lular.

Així com el Na és l'element extracel·lular per excel·lència, el K és el catió més important dels líquids intracel·lulars, en els que es troba a concentracions d'aproximadament uns 145 mEq/L, és a dir, uns 40mg/L, més de 30 vegades el que es troba en els líquids extracel·lulars (de 4 a 5 mEq/L). Malgrat la seva escassa concentració en els líquids extracel·lulars, la seva presència és important i contribueix al manteniment de la pressió sanguínia, transmissió nerviosa, contractilitat muscular, etc.

Els científics no han sabut explicar perquè el potassi té aquesta definida predilecció pels medis intracel·lulars. De fet, dels aproximadament 175 gr de potassi que conté el cos humà, tan sols 3 gr es troben fora de les cèl·lules. Aquesta aparent quimiotaxia intracel·lular ha fet suggerir que aquesta sigui probablement la raó per la qual el K es troba en l'aigua de mar en concentracions tan inferiors a les del Na i en canvi sigui més concentrat que el Na en les estructures dels subsòls marins. Segons els experts, això es produiria perquè al penetrar preferencialment en l'interior de les cèl·lules dels organismes marins, al morir aquests, les seves restes anirien enriquint els subsòls marítims al llarg dels segles.

S'ha teoritzat que l'acumul de K en l'interior de les cèl·lules, es deu a unes funcions de protecció de la salut, en contra dels efectes nocius de l'increment dels nivells de K extracel·lulars. Si el nivell de K sanguini augmenta per sobre del normal s'interrompeix o es dificulta la transmissió de l'impuls nerviós en les sinapsis musculars, i el múscul deixa de funcionar. Així mateix s'ha pogut comprovar que quan el nivell de K en la sang augmenta més de 3 o 4 vegades, el batec cardíac es para. S'ha estimat que si tan sols un 6% del K intracel·lular s'escapés i sortís fora de la cèl·lula, la mort fora inevitable. Afortunadament, les cèl·lules corporals mai es desprenen del seu K i si ho fan és extremadament poc a poc i en molt petites quantitats.

Els coeficients d'absorció intestinal del potassi són molt elevats, de l'ordre del 90%, però la ingesta de quantitats elevades no sol presentar problemes, ja que el sistema renal s'encarrega d'eliminar-ne els excessos amb extrema facilitat. Això ens indica que el K s'excreta principalment per l'orina, si bé també una petita quantitat és excretada per via fecal. L'absorció a l'interior de les cèl·lules es fa mitjançant sistemes actius, ja que la diferència de gradient és molt considerable, com ja hem vist, entre els líquids extra i intracel·lulars.

No es tenen masses dades científiques sobre les necessitats de K en general. Basant-se en els nivells d'excreció de K i el manteniment dels nivells corporals, s'ha estimat que les necessitats de K per adults estan sobre els 1.600 a 2.000 mg/dia (RDA; 1989).

La vinculació entre el Na i el K es fa més evident a l'estudiar la reciprocitat d'accions d'aquests dos elements en el manteniment de les constants fisiològiques del cos humà. S'ha pogut comprovar que així com l'increment del consum de Na pot produir hipertensió arterial, l'administració de K produeix l'efecte contrari, és a dir, fa disminuir la pressió arterial (Mencely i Ball, 1958; Dahl et al., 1972). En general les dietes recomanades per a reduir la hipertensió (RDA; 1989) basades en consums elevats de fruites, verdures i cereals, que són fonts riques en K (dietes Kempner), es basen en l'increment dels aports de potassi (Kempner, 1948), fins a nivells de 3.5 gr/dia.

Les fonts més riques de K són generalment les fruites, verdures i els productes d'origen animal, molt particularment les carns fresques. Al contrari del Na, les aigües de beguda no solen ser fonts importants de K, considerant-se com a valors normals, els de 2.0 a 10.0 mg/L, si bé algunes aigües dures poden arribar a contindre nivells de 50 mg/L.

Magnesi

El magnesi, nom provinent de Magnèsia, regió de la Tessàlia a la Grècia Oriental, coneguda des de l'antiguitat per les seves terres blanques i terroses, és el sisè element mineral inorgànic més important del cos humà, en funció del seu contingut en grams o percentatge del cos, darrera del Calci, Fòsfor, Sodi, Potassi i Sofre, i després del K, és el segon element mineral intracel·lular més

abundant (Schwartz, 1988). Malgrat que no es troba en estat lliure, els seus compostos i derivats ocupen el 8^c lloc en abundància en la litosfera. Alguns dels seus compostos són prou coneguts de tothom, tals com la magnesita, la dolomita, la epsomita, la carnal·lita, l'olivina, etc. Inclús l'aigua de mar ens dóna fe de la seva abundància, ja que, després del Na és el catió més abundant, amb una concentració de 1,2 a 1,5 mg/L.

El cos humà conté aproximadament de 25 a 40 gr de Mg, dels quals un 60% es troba en els ossos, en forma de fosfats, fent companyia al Ca. El 40% restant està molt repartit per tots els teixits corporals, majoritàriament de forma intracel·lular i tan sols un 1% del total, és a dir, uns 300 a 400 mgr poden ser detectats en els líquids extracel·lulars, dels que la sang en reté uns 20 a 25 mg/L de plasma sanguini, aproximadament uns 75 mg dels 300/400 extracel·lulars. Aparentment l'homeostasi magnèsica no està tan íntimament regulada per controls hormonals com les del Ca i el P, sinó que és a través de l'excreció i reabsorció renal que els nivells extracel·lulars són controlats (Quamme, 1986).

L'essencialitat del Mg va ser descoberta, com tants altres nutrients, en estudis amb animals, la rata en aquest cas (Orent et al., 1932), en la primera meitat del segle passat, si bé les seves funcions purgants, com a component essencial de les famoses sals d'Epsom, o sulfat de magnesi hidratat, havien estat descobertes molt abans, allà per l'any 1695, bastant després de que es descobrissin les aigües amargues de les fonts d'Epsom, ciutat anglesa avui famosa per les seves aigües. Tant les sals d'Epsom, o sulfat de magnesi heptahidratat, com la magnèsia o carbonat de Mg, són profusament conegudes com a laxants, degut al seu pronunciat efecte osmòtic a nivell intestinal.

Malgrat aquest coneixement popular, la seva indispensabilitat com a nutrient per a l'home, no va poder ésser aclarida fins a finals dels anys seixanta (Lida et al., 1967), amb l'adveniment de les tècniques d'anàlisi d'absorció atòmica, que permeteren diagnosticar l'existència d'estats d'hipomagnesèmia en humans. Les dificultats en establir la seva indispensabilitat es degueren no ja tan sols a les dificultats analítiques, sinó al fet que el Mg plasmàtic, que era el més fàcilment assequible, és extremadament variable i no reflecteix els estats carencials d'aquest element d'una manera fiable (Scelig, 1980). Malgrat això, la seva deficiència ja havia estat detectada com a factor etiològic en determinades alteracions patològiques (Hirschfelder et al., 1934).

L'absorció intestinal de les fonts de Mg es produeix a nivell del budell prim, particularment al jejun i illeum, i és regulat per dos sistemes de transport, un actiu i un per simple difusió, en funció de les concentracions luminals de l'element. El seu coeficient d'absorció és molt variable, com succeeix en molts altres minerals, i s'ha trobat dins d'un ampli ventall de 20 a 70% en estudis de digestibilitat, si bé es considera que en la situació alimentària normal de persones adultes, els coeficients d'absorció oscil·len al voltant del 20 al 30% (Lakshmanan et al., 1984).

Una bona part del Mg ingerit amb l'alimentació (aproximadament d'un 40 a 70 %), és excretat fecalment, a menys que l'administració de Mg es faci en forma de quelats proteics o aminoacídics, en el qual cas les taxes d'absorció augmenten considerablement. La fracció absorbida, un cop travessada la barreira intestinal, és repartida per tot el cos, mitjançant el plasma sanguini, dipositant-se, com ja hem dit, en gran mesura en el teixit ossi, que es calcula que reté en total uns 15-25 grams. Els excessos de Mg disponible són excretats ràpidament per via renal i així veiem que el ronyó, junt amb els ossos, són els responsables de mantenir la homeostasi magnèsica en el cos humà.

Les funcions biològiques del Mg, malgrat que encara no del tot conegudes, són extensíssimes. Es considera que el Mg és un cofactor indispensable per l'activació de més de 300 reaccions enzimàtiques conegudes (Garfinkel i Garfinkel, 1985), responsables dels processos d'activació de membrana, síntesi d'aminoàcids, síntesi i hidròlisi d'ATP's, síntesi d'àcids nucleics, etc. No és pas el lloc, ni disposem del temps que requeriria l'exposició de totes les reaccions on participa activament el Mg. Tan sols senyalem que la seva presència, malgrat que en petitíssimes quantitats, és detectada en pràcticament tots els teixits corporals.

Una de les funcions més importants del magnesi radica en el sistema nerviós central i les seves relacions amb el teixit muscular, essent indispensable, junt amb el Ca, per la transmissió de l'impuls nerviós i la contracció muscular. D'entrada cal tenir en compte que el Mg es troba en les cèl·lules del teixit cerebral, així com en el líquid espinal en concentracions significatives. En aquest darrer medi, és a dir, en el líquid espinal, es troba en concentracions molt més elevades que en el plasma sanguini, i protegit per la barrera encefalo-espinal enfront de disminucions o increments del Mg en el plasma. L'efecte protector de la barrera fisiològica ja ens indica la importància que aquest element té pel sistema nerviós central. Quan el nivell de Mg en el sistema nerviós central baixa, tant en les cèl·lules del cervell, com en el nivell del líquid espinal, és reposat pel Mg plasmàtic, el qual a la vegada es nodreix del Mg ossi, en un mecanisme homeostàtic similar al del Ca i altres minerals.

La disminució de la concentració de Mg, tant en el sistema nerviós central com en els líquids extracel·lulars, és a dir, la presentació d'una possible carència de Mg, provoca alteracions neurològiques i mentals, debilitat muscular, depressió i inclús al·lucinacions (Wacker, 1980). En els ossos es produeix una desmineralització (Duckworth et al., 1940), alteracions de la densitat i resistència òssia, i alteracions en el quocient entre l'os amorf i cristal·lí, degut a les alteracions produïdes en els cristalls d'hidroxiapatita, per la falta de Mg.

La simptomatologia més freqüent en els possibles casos d'estats carencials de Mg es detecta en el sistema neuromuscular, particularment en forma d'espasmes i tremolors musculars i canvis en la personalitat. La seva influència en la prevenció de patologies cardio-vasculars ha estat profusament estudiada (Seelig i Heggveit, 1974). Estudis epidemiològics han demostrat la disminució

de patologies coronàries en zones geogràfiques d'aigües "dures", és a dir, riques en Ca i Mg (Luoma et al., 1983) en tant que la disminució dels nivells sèrics de Mg ha estat freqüentment relacionada amb infarts de miocardi (Manthey et al., 1981; Rector et al., 1981). La carència de Mg ha estat tanmateix detectada en casos d'alcoholisme (Flink, 1986), de diabetis (Martín, 1969), i en molts altres casos de processos de malabsorció i malalties nefrotòxiques.

Per altra banda, l'administració de nivells elevats de Mg per via parenteral pot arribar a produir un efecte depressor del sistema nerviós central i paràlisi muscular. L'administració de Mg per via oral en canvi, degut a la seva escassa absorció intestinal (aprox. 20-25%) elimina aquests perills. Tot i així, l'administració de Mg en dosis elevades s'ha d'evitar en persones amb problemes renals, que puguin dificultar la seva excreció. En el cas d'estats d'hipomagnesèmia, els coeficients d'absorció s'incrementen i mitjançant l'administració dietètica de suplementes rics en Mg, els nivells plasmàtics i tissulars són ràpidament restablerts.

Les recomanacions dietètiques de Mg (RDA, 1989) són de l'ordre de 300 a 400 mg/dia per als adults, amb dosis evidentment més elevades en casos especials, com poden ser l'embaràs i els tractaments d'estats carencials. Degut als seus efectes sobre el sistema nerviós central, al Mg se'l considera com un tranquil·litzant natural i tanmateix se li atribueixen accions molt positives sobre l'artrosi, l'arteriosclerosi i les cardiopaties, particularment l'angina de pit, etc., (Moreau, 1993).

El magnesi es troba àmpliament distribuït en molts aliments. Degut a ésser el mineral component de la clorofil·la, es troba abundantament en els aliments verds, i molt particularment en els fruits secs. Els productes d'origen animal, en especial el peix i la carn, així com també els cereals i les lleguminoses són tanmateix fonts significatives de Mg.

Ferro i Coure

Dos elements minerals, pertanyent al grup dels micromineral, estretament units per les faules de la mitologia greco-romana i la bioquímica del nostre cos. Minerals coneguts des de la més remota antiguitat, el Fe i el Cu són probablement els dos elements micromineral més significatius en nutrició humana.

Seguint les seves tradicions mitològiques, els pobles grecs i romans associaren el ferro al déu Ares, divinitat grega de la guerra, assimilat més tard pels romans al déu Mart i el coure a la deessa Afrodita, més tard reconeguda com a Venus pels romans, deessa de la bellesa, l'amor i la fecunditat. El déu Mart, representat sempre amb cuirassa i espasa, probablement de ferro, identificat amb el color vermell del foc, propi del seu planeta, el planeta roig i simbolitzat ja pels alquimistes de l'època de Paracels amb el signe masculí, ha representat el Fe des de temps immemorial. És el déu de la guerra, la sang i la força muscular.

Per altra banda el Cu, més suau i flexible, identificat pels antics amb la deessa grega Afrodita, deessa del sexe i de l'amor, nascuda de l'escuma de mar que sorgí dels genitals del seu pare Uranus, llançats al mar per un fill vengatiu. Més tard reconeguda com a Venus pels romans, fou simbolitzada pel planeta Venus i els colors verd i blau. Els alquimistes del segle XV la identificaren amb el signe femení, tan conegut pels biòlegs, igual que el signe masculí de Mart.

El Fe i el Cu, dos minerals importants, que a l'igual que les divinitats que els representen, sempre entrelligades en constants episodis amorosos, segons les faules mitològiques, semblen mantindre aquest estret lligam en els mecanismes bioquímics del nostre cos, segons els bioquímics amants de la poesia i la mitologia (Kaplan i O'Halloran, 1996).

Ferro

Mineral conegut des de la més remota antiguitat prehistòrica, que donà nom a l'Edat del Ferro, simbolitzat, com hem vist, pel planeta i déu Mart, el ferro és, conjuntament amb el Coure, un dels elements minerals més significatius en nutrició humana i probablement el més important d'entre els microminerals.

Malgrat la petita quantia de la seva presència en el cos humà, el ferro és, en canvi, l'element mineral més abundant en la litosfera, després de l'alumini, amb una concentració mitja en els sòls de 3 a 4 % aproximadament. En canvi, l'aigua del mar en té ben poc, de l'ordre d'1 a 3 ug/L. Tot i aquesta abundància en el seu entorn, la carència de ferro en l'ésser humà no és infreqüent, degut primordialment a que el ferro es troba a la terra majoritàriament en forma fèrrica, el que fa que les seves sals siguin inerts, insolubles i per tant no disponibles pel cos humà. Més endavant veurem, però, que ambdues formes, la fèrrica (Fe III) i la ferrosa (Fe II), són indispensables bioquímicament i es troben portant a terme funcions diferents dins del cos humà.

El coneixement o potser més ben dit, la intuïció de la seva importància nutricional, no és pas recent, sinó que es remunta a l'època precristiana. Ja Hipòcrates, el pare de la medicina, recomanava beure vi a on s'hi havia macerat trossos de ferro, contra els estats anèmics d'aquell temps i en plena època alquimista, anys més tard, l'utilització del Fe seguia essent popular, i va esdevenir inclús abusiva com a preventiu, recomanant-se fer servir vasos de ferro per beure i afegir claus o trossos de ferro durant la cocció dels aliments. Més tard s'anà adquirint el coneixement de la seva implicació en el desenvolupament de l'anèmia i en les darreries del segle passat es va veure confirmada la seva involucració directa.

El cos humà en conté aproximadament uns 3 a 5 grams en total (Thompson, 1988), dels quals un 65 a 75% es troba formant complexos orgànics funcionals, tipus hemoglobina i mioglobina, en tant que la resta la trobem en forma inorgànica, de reserva, lligada a diverses proteïnes, com són la ferritina i la hemosiderina (Kirkpatrick, 1953). Potser degut a la seva feble disponibilitat,

l'escassíssim contingut de ferro del cos és retingut d'una manera extremada. Les pèrdues del cos són petitíssimes, de l'ordre d'1 mg per dia en l'adult masculí i, excepte en casos excepcionals, la seva homeostasi es controla més per l'absorció que per l'excreció, que és, com veiem, molt petita, i provinent majoritàriament de la descamació de les cèl·lules de la mucosa digestiva i una petitíssima proporció per l'orina. En el sexe femení sexualment actiu, les pèrdues de ferro són aproximadament el doble de les que experimenta el sexe masculí, degut òbviament a les pèrdues de sang pel procés de la menstruació.

El ferro absorbit del tracte digestiu, majoritàriament a nivell duodenal, es troba fonamentalment en forma ferrosa (Fe II), degut a que aquesta forma és més soluble a nivells de pH fisiològics que la fèrrica (Fe III). Un cop absorbit, però, aquesta qualitat de solubilitat es transforma en un aspecte negatiu, degut al seu efecte catalitzador de reaccions oxidatives i generadores de radicals lliures i en conseqüència, les formes de ferro que passen a situacions de reserva es troben generalment en formes oxidades, és a dir, en forma fèrrica (Fe III) i, a més a més, lligades o quelades per una gran varietat de proteïnes i altres molècules, que eviten la seva difusió en forma iònica lliure, la qual cosa el faria encara més perillós, des del punt de vista oxidatiu.

Una vegada absorbit el ferro ferrós (Fe II), és relançat a la sang, una vegada oxidat a fèrric gràcies a l'acció d'una ferroxidassa, activada per una proteïna plasmàtica, la ceruloplasmina, proteïna recentment seqüenciada (Zaitseva et al., 1996) i que conté sis ions de coure en la seva molècula. Heus aquí un bon exemple de l'aparent germanor o del sinergisme funcional entre el Fe i el Cu. Sense Cu, el Fe no passaria de la barrera entèrica i malgrat la seva abundosa presència en la dieta, es produirien estats carencials de ferro (Lee et al., 1968). Un cop oxidat, el Fe fèrric, ja més estable, és recollit per la transferrina plasmàtica i mogut per la sang fins arribar a tots els teixits que el necessitin. A l'arribar a les cèl·lules tisulars, la transferrina plasmàtica és captada per uns receptors de membrana específics i introduïda a l'interior de la cèl·lula per un procés d'endocitosi.

Aquesta sembla ser la via principal de transport del Fe alimentari als teixits, malgrat que la transferrina el conté en quantitats molt petites (aproximadament uns 5 mg en total). De la sang passa als teixits, pràcticament a tots, però molt particularment al fetge, melsa i medul·la òssia, on s'acumula, curiosament en forma fèrrica insoluble (òxids i fosfats fèrrics), en l'interior de les estructures globulars de ferritina i també en altres tipus de molècules, com l'hemosiderina. Quan se'l necessita, el ferro fèrric és recuperat de la seva estructura fèrrica de reserva i prèvia reducció altra vegada a Fe ferrós, és reconduït als seus llocs finals de destí intracel·lular, mitjançant altres proteïnes endoplasmàtiques, com són les anomenades "proteïnes reguladores del ferro", de les que se'n coneixen diverses formes, entre elles les recentment descobertes proteïnes FTR 1 (Stearman et al., 1996), en les que, una vegada més, tornem a trobar Cu en la seva molècula.

Aquestes dues proteïnes, la ferritina i l'hemosiderina, emmagatzemen aproximadament unes 2/3 parts del total del ferro de reserva, no funcional, del cos. De la primera d'aquestes proteïnes, la ferritina, també se'n troba a la sang en petitíssimes quantitats, i és aquest ferro plasmàtic el que darrerament s'ha comprovat que es troba estretament lligat a les reserves de ferro del cos, i és per tant susceptible d'ésser utilitzat com a mesura analítica per a diagnosticar els estats carencials de ferro.

La resta del ferro corporal es troba majoritàriament formant part integral de l'hemoglobina dels eritròcits de la sang i de la mioglobina del teixit muscular. L'hemoglobina acapara la major part del ferro disponible, en tant que el ferro lligat a la mioglobina tan sols representa una vuitena part de la que es troba en l'hemoglobina. Com és sabut, la funció més important de l'hemoglobina és transportar l'oxigen dels pulmons a la resta dels teixits corporals, i la de la mioglobina és reservar el ferro per les necessitats d'oxigen del teixit muscular. Una part important del ferro corporal, aproximadament un 6% del total, el trobem repartit entre diverses formes enzimàtiques, fonamentalment la catalassa, la peroxidassa, les citocrom-oxidasses, xantin-oxidasses, hidroxilasses, etc.

El ferro present en la sang ho és, tal com acabem de dir, en forma d'hemoglobina a l'interior dels glòbuls rojos. La vida mitja del eritròcits és d'uns 120 dies, al terme dels quals, aquestes cèl·lules són destruïdes i fagocitades pel sistema reticul-endotelial. El ferro que se'n desprèn és recollit altra vegada per la transferrina plasmàtica i retornat a la medulla òssia on serà utilitzat una vegada més per a la síntesi de noves molècules d'hemoglobina (Thompson, 1988).

És realment sorprenent i aparentment increïble assabentar-se del ritme de renovació dels glòbuls rojos del cos humà i del joc de transferència del ferro, dels eritròcits vells als nous: una altra demostració de la meravellosa i a la vegada delicada maquinària del nostre cos. S'ha determinat que cada segon, repeteixo, cada segon, es creen $2,5 \times 10^{(6)}$, és a dir, dos milions i mig de glòbuls rojos que es llencen a la sang. I que cada un d'ells porta en el seu interior 280 milions de molècules d'hemoglobina (Pike & Brown, 1984). Veritablement increïble! Donem aquestes xifres per bones una vegada més. Nogensmenys, però, són afirmacions científiques com aquestes les que ens fan venir al pensament la semblança entre l'organisme humà i l'extraordinària grandiositat numèrica de l'univers, grandiositat reproduïda en el cos humà, a més petita escala, a l'estil del microcosmos suggerit per Paracels.

Sabem a més que un 95 % del total de ferro necessari per a mantenir aquest ritme realment vertiginós de síntesi d'hemoglobina (uns 18 mg en l'home adult), s'obté de la desintegració dels mateixos eritròcits. La resta, aproximadament uns 5 mg és el que s'ha de cobrir per la dieta. Per tant, veiem que les necessitats dietètiques són molt minces.

Quan el nivell de ferro dietètic o la disponibilitat de les fonts alimentàries disminueixen significativament, o bé quan es produeixen pèrdues fisiològiques o accidentals, per exemple per la menstruació o per hemorràgies, es posa en

funcionament un mecanisme per mantenir la homeostasi fèrrica a partir de les reserves de ferro del cos. Quan aquestes s'esgoten i el nivell de ferritina del plasma baixa per sota dels nivells crítics (aproximadament 12 mg/L), les reserves de transferrina s'esgoten, el nivell de l'hemoglobina baixa i es presenta la síndrome de l'anèmia, les conseqüències de la qual són conegudes per tothom: immunodepressió amb el risc de contraure infeccions més fàcilment, augment de la fatiga muscular, alteracions de la termoregulació i inclús alteracions en el desenvolupament mental dels infants.

Si bé es considera que els nivells de ferritina sèrica són millors indicadors d'un possible estat d'anèmia que els nivells d'hemoglobina, ja que amb certa freqüència es poden detectar símptomes d'anèmia concomitants amb nivell aparentment normals d'hemoglobina, l'Organització Mundial de la Salut (WHO, 1968), va definir els nivells d'hemoglobina per sota dels quals es pot diagnosticar un estat d'anèmia. Tenint en compte que els nivells d'hemoglobina normal són de l'ordre de 13 a 16 gr/dl en l'home i de 12 a 16 gr/dl en les dones, es considera que valors inferiors a 13 i 12 gr/dl respectivament, són indicadors d'un estat d'anèmia, si bé l'amplitud dels nivells considerats normals ja ens dóna una idea de la variabilitat implícita en aquesta anàlisi, com a factor definidors de l'anèmia (RDA, 1989).

Les necessitats de ferro dietètic, recomanades per la RDA (1996), es basen en les pèrdues diàries de l'home adult, que són aproximadament de l'ordre de 1.0 a 1.1 mg/dia, i de 1.3 a 1.5 mg/dia per les dones, dues terceres parts del qual provenen de descamacions i secrecions intestinals, en tant que la tercera part restant s'excreta a través de l'orina i de la pell. Si a aquest 1.0 mg/dia hi afegim un factor de seguretat en funció de que els coeficients d'absorció del Fe són de l'ordre del 10 a 15 %, arribarem a la xifra recomanada d'un total de 10 mg/dia per als homes. Per a les dones, aquesta quantitat esdevé 15 mg/dia i considerant un contingut en ferro de les dietes del món occidental, d'uns 6 mg/1000 calories, es considera poc probable que una dona adulta, no menopàusica, pugui arribar a consumir els 15 mg/dia si no és amb un excés de calories, i això sense tenir en compte que moltes dones perden més de 0.8 mg/dia per la menstruació i que això pot elevar les seves necessitats diàries. És doncs evident, que en aquests casos un suplement de Fe dietètic és recomanable.

El ferro es troba repartit, si bé en concentracions molt petites, en la majoria d'aliments, com són la carn, particularment la carn vermella, ostres, ous, verdures, lleguminoses i cereals, inclús i particularment, en el vi i la xocolata. D'entre aquestes fonts, les d'origen animal són les més importants, ja que el Fe que s'hi troba està formant part de molècules orgàniques, que son més digestibles (Raper et al., 1984), que la resta de les formes de Fe d'altres estructures moleculars, com són les que es troben en els productes vegetals i inclús en certa abundància (aproximadament un 60%) en els aliments d'origen animal.

La digestibilitat del Fe es pot millorar significativament mitjançant altres factors dietètics, com són, per exemple, l'administració conjunta d'àcids

orgànics, principalment l'àcid ascòrbic, però també pot ser frenada per altres, com són els nivells de fosfats, derivats fibrosos del blat, polifenols o tanins del te, etc. Com en molts altres nutrients, en incrementar-se els nivells de ferro a la dieta, disminueix el coeficient de digestibilitat del ferro, sigui de l'origen que sigui.

Coure

El Cu, estretament lligat al Fe tant en les faules mitològiques com en les seves funcions biològiques, és al contrari del Fe, un mineral relativament poc abundant en l'escorça terrestre. S'estima que la seva concentració en la litosfera és de l'ordre del 0,007%, és a dir, 600 vegades menys abundant que el Fe. Malgrat la seva escassa presència, el trobem formant part de més de 200 formes minerals diferents (cuprita, calcosita, tenorita, malaquita, etc.), i si bé no en tantes, també el trobem present en diverses formes biològiques en el cos humà, en el que se li calcula un contingut total de l'ordre de 150 a 200 mg en el clàssic home estàndard de 70 Kg, és a dir, 30 vegades menys que el Fe. Veiem doncs, que la seva relació es fa més estreta al passar de la terra (600 vegades menys abundant que el Fe) al cos humà, on s'hi troba tan sols en proporcions de 30 vegades menys que el Fe.

Malgrat ésser un mineral conegut per l'home des d'èpoques molt remotes, ja que es coneix l'existència d'un penjoll de coure (Penjoll de Shanidar), descobert al Irak i datat en l'any 9500 abans de la nostra era, la seva necessitat nutricional no va ésser descoberta, fins ben entrat el segle XIX i a l'igual que en tants altres casos, l'essencialitat del Cu en nutrició humana va ésser descoberta amb espècies animals, principalment en remugants (Boutigny, 1833) i posteriorment en rates. L'essencialitat per l'espècie humana va ésser coneguda més tard, degut a la identificació d'una malaltia genètica, la "malaltia de Menkes" (Menkes et al., 1962; Danks et al., 1972) que cursa amb una nombrosa simptomatologia, atribuïble a la falta de Cu.

Malgrat l'evidència de la seva essencialitat, la probabilitat de patir una carencia de Cu és molt baixa, ja que les necessitats diàries són molt reduïdes i la seva presència en els aliments relativament abundant. La probabilitat d'un estat carencial de Cu és més alta en els infants alimentats amb llet, tant maternal com de vaca, degut al escasíssim contingut de la llet en aquest element (0.3 mg/L en la llet humana i 0.09 mgr/L en la llet de vaca, segons Varo et al., 1980). Per evitar aquesta probabilitat, s'ha comprovat que el fetus humà acumula Cu en el seu fetge, durant la gestació, com a mesura preventiva de possibles estats carencials durant l'alletament posterior (Widdowson et al., 1974).

El coure, a l'igual que el Fe, és absorbit en el budell prim i ja en l'interior de la cèl·lula entèrica, s'uneix a complexos proteïnics, com són les metalotionines, que semblen ésser les responsables de relançar el Cu a la circulació portal, essent transportat per la sang associat a diverses proteïnes, tals com la

transcupreïna, albúmina sèrica i molt particularment per la ceruloplasmina, a la que ja ens hem referit al parlar del Fe, que actua com a ferroxidassa, incorpora sis àtoms de Cu en la seva molècula i que concentra més del 90% del Cu present en el plasma.

Ja en la circulació sanguínia, el Cu s'acumula principalment en el teixits hepàtic i nerviós, així com en el ronyó, melsa, pàncreas, etc., possiblement acomplexat amb diverses formes de metalotionines, de les que se'n coneixen més de cinc en l'espècie humana, a més probablement d'altres proteïnes, com són l'hepatocupreïna, la neurocupreïna, la eritrocupreïna dels propis glòbuls rojos, etc. L'eliminació de l'excés de Cu s'efectua primordialment via la bilis, és a dir, per via fecal però també en menor quantia per l'orina, la suor, el pèl i les descamacions cutànies.

Les funcions més destacades del Cu, a part de les ja descrites com a més importants en el procés d'absorció del Fe mitjançant la ceruloplasmina, deriven dels sistemes enzimàtics de que forma part, com són la tirosinassa (efectes sobre formació de melanina i pigmentació) dopamina-β-hidroxilassa (efectes neurològics), lylil oxidassa (efectes de regeneració de teixits conjuntius), Factor de Coagulació de la sang (coagulació de la sang), superòxid dismutassa dels glòbuls rojos, etc.

Conseqüència de la manca de Cu, i per tant de la disfunció d'aquests sistemes enzimàtics, es poden presentar tota una sèrie de lesions bioquímiques i efectes biològics que han estat definits com a símptomes d'una deficiència en Cu, que tan sols es poden presentar, òbviament, en casos extrems, ja que, com s'ha dit anteriorment, la probabilitat d'un estat carencial és molt poc probable en les condicions alimentàries normals. Entre la simptomatologia més característica es poden destacar estats d'anèmia i neutropenia, osteoporosi, artritis, alteracions circulatòries degudes als seus efectes sobre l'elastina (per l'acció de la lylil oxidassa), pèrdua de pigmentació de la pell i cabells, efectes neurològics, etc.

Una vegada més voldria destacar la importància de les funcions del Cu, tenint en compte les quantitats tan insignificants que es troben en el cos humà. Recordem que estem parlant de 150 a 200 mg en total, pràcticament l'equivalent al contingut d'àcid acetil-salicílic en una aspirina infantil, i malgrat aquesta insignificància volumètrica, la seva presència és tan important que la seva manca d'absorció intestinal, deguda a mutacions genètiques, pot arribar a produir estats patològics tan greus, com el ja descrit de la malaltia de Menkes i la de Wilson, causades per la falta de Cu en l'organisme.

Les necessitats de Cu en la dieta són molt reduïdes. Basant-se en les pèrdues diàries, a través de les vies d'eliminació descrites (fecal, urinària i dèrmica), la RDA (1989) nord-americana, recomana un aport diari de 1.5 a 3.0 mgr de Cu per als adults, xifra que es rebaixa considerablement, de 0.5 a 1.0 mg/dia per als infants fins a l'any de vida i de 1.0 a 2.0 mg/dia fins a l'adolescència.

El Cu es troba àmpliament repartit en els aliments, principalment el fetge, els crustacis marins, els fruits secs, les lleguminoses, etc. És tanmateix convenient

tenir en compte la possibilitat del contingut en coure de l'aigua de beguda, degut a l'existència de canonades de Cu i l'acidesa de l'aigua.

Zenc

El Zenc és un dels microminerals més importants, possiblement després del Fe, dins la vessant mineral de la nutrició humana. Malgrat la seva relativament escassa presència en la litosfera (0.004 %), en comparació amb el Fe, el Zn es troba ben repartit, inclús, si bé en petites quantitats, en les aigües dolces (8 – 10 ppb) i salades (65 ppb), i porta a terme multitud de funcions en el cos humà, intervenint en el creixement, reproducció, formació òssia i sanguínia i en diverses facetes del metabolisme proteic.

Conegut com a element essencial per al creixement de determinades formes de vida microbiana, des de fa més de 100 anys (Raulin, 1869) no fou fins el 1926 en que es demostrà la seva essencialitat per les plantes superiors (Sommer i Lipman, 1926) i poc després es demostrava la seva indispensabilitat en nutrició animal (Todd et al., 1934) com a factor essencial pel creixement de les rates. Poc després, es descobria la seva necessitat per altres espècies animals, com foren els porcs (Tucker i Salmon, 1955), les aus (O'dell i Savage, 1957) i inclús per animals remugants (Georgievskii, 1981), si bé en aquestes últimes espècies la seva necessitat és menor, degut al contingut de Zn de les plantes i pastures, que és relativament més elevat que en altres aliments.

La seva indispensabilitat en nutrició humana fou detectada en la dècada dels 60 (Halsted i Prasad, 1960; Prasad et al., 1963; etc.). La simptomatologia de la carència de Zn en l'ésser humà es manifesta en retrassos en el creixement, hipogonadisme, anèmia, impotència sexual i alteracions dèrmiques, com és particularment la dificultat en la cicatrització de ferides (Davidson et al., 1979). El descobriment de la seva essencialitat en nutrició animal, va promoure l'interès pels mecanismes d'acció del Zn, descobrint-se que l'enzim carbònic anhidrassa contenia Zn (Keilin i Mann, 1940) i més tard s'ha arribat a descobrir que el Zn és un element indispensable en l'estructura de molts enzims, com són la fosfatassa alcalina, alcohol deshidrogenassa, làctic deshidrogenassa, carboxipetidassa, etc. (Riordan i Vallee, 1976). Així mateix, l'involucració del Zn en el metabolisme del RNA i del DNA i els seus efectes sobre la síntesi proteica i proliferació cel·lular han estat descrits per diversos investigadors (Slater et al., 1971; Sanstead, 1976).

El Zn dels aliments s'absorbeix en les fraccions proximals del budell prim, mitjançant mecanismes d'absorció activa, si bé encara no ben coneguts. Els coeficients d'absorció són relativament baixos, de l'ordre del 20 al 30 % i solen ser, com succeeix en tants altres nutrients, inversament proporcionals al contingut en Zn de la dieta. Una vegada absorbit, el Zn circula unit a las fraccions globulíniques i albúmines de la sang i és posteriorment transferit als diferents teixits, en proporcions relativament uniformes, i més elevades que les d'altres

microminerals importants, com són el Fe i el Cu, si bé hi ha teixits que es distingeixen pel seu contingut en Zn, com són preferencialment el teixit hepàtic, els ossos, les formacions dèrmiques (particularment pèl i ungles), i molt particularment els ulls, la pròstata i els testicles (Underwood, 1953, Halstead et al., 1974). S'ha pogut comprovar que en general el Zn emmagatzemat en els ossos, fetge, pàncreas i plasma és fàcilment mòbil i actua per a regular l'homeostasi corporal. No així el Zn retintut pels teixits nerviosos i muscular, que el retenen fins l'extrem de provocar-se símptomes d'estats carencials, sense que els nivells musculars o encefàlics baixin significativament (Georgievskii, 1982)

El contingut total de Zn del cos humà adult és molt baix, com en tants d'altres microminerals, i de l'ordre de 2 a 2.5 gr, aproximadament la meitat del contingut de Fe, però tot i així, és el segon micromineral més abundant en el cos humà, amb nivells més elevats que els de la majoria dels altres microminerals. La sang en conté de l'ordre de 80 a 100 ug/100 ml. de plasma i els glòbuls rojos 1300 ug/100 ml., pràcticament un 75 a 80 % de tot el Zn de la sang.(Davidson et al., 1979), principalment en forma d'anhidrassa carbònica (Vallee et al., 1949). La seva elevada concentració en la pròstata i en les glàndules sexuals masculines, explica que el contingut en el semen sigui 100 vegades més elevat que el de la sang. L'excreció del Zn s'efectua principalment per via fecal, que inclou tant la part alimentària no absorbida, com el Zn segregat a través de les secrecions pancreàtiques i intestinals. El contingut normal de l'orina és del ordre de 0.4 a 0.6 mg/100 ml, i si bé hi es en petites quantitats també es detecta la seva presència en la suor.

Les fonts de Zn més importants son els productes d'origen animal, particularment la carn, ous, i productes marins, molt particularment les ostres. En el món vegetal el trobem àmpliament repartit en grans, cereals i lleguminoses, la qual cosa fa que la seva carència sigui poc freqüent en l'espècie humana. Segons els estudis efectuats en aquest sentit, la RDA recomana ingestions diàries de l'ordre de 12 a 15 mg/dia per l'adult, que normalment es troba pràcticament cobert per el Zn contingut naturalment en els aliments (RDA, 1989). Donada la possibilitat de presentació de símptomes de toxicitat, no es recomana l'administració de Zn suplementari, a dosis superiors als 100 a 500 ug/dia, a menys que es disposin d'anàlisi del contingut en Zn dels aliments i es comprovi que la ingesta diària estigui per sota dels 12 --15 mg/dia.

Manganès

El manganès, a l'igual que els altres ja descrits, és un micromineral essencial per a la nutrició dels animals i els éssers humans. Quart en quant a la seva abundància en l'escorça terrestre (0.1%) després de l'Al, Fe i Ni, el Mn es troba àmpliament repartit entre els aliments de l'home, en proporcions suficients, i en conseqüència la possibilitat d'un estat carencial és relativament petita.

Si bé l'interès pel Mn es va posar de manifest a finals del segle passat (Bertrand, 1897), la seva existència era coneguda ja des de finals del segle XVIII, gràcies als experiments de Scheele i la seva anomenada "magnesia negra", nom donat al biòxid de manganès. La seva constant presència en la majoria de teixits i plantes, així com l'absència de malalties carencials que es poguessin atribuir al Mn, va determinar que la seva indispensabilitat no es demostrés fins l'any 1931 en que Skinner i col·laboradors posaren de manifest que la falta de Mn retrassava el creixement en ratolins. Més tard, la indispensabilitat del Mn, així com la necessitat de la seva suplementació, s'ha demostrat en la majoria d'animals, inclosa l'espècie humana, però molt particularment en les aus, porcs i la resta d'animals de producció.

El Mn representa nogensmenys, un bon exemple de la perillositat d'extrapolar els resultats experimentals obtinguts en una espècie animal a una altra. Si bé la necessitat de Mn en l'espècie humana és indiscutible, l'abundància relativa d'aquest element en la majoria d'aliments de l'home, unit a l'escàs contingut dels teixits humans (130, 110 i 90 ppm en les fraccions minerals del fetge, pàncrees i ronyó), unit als eficients mecanismes homeostàtics del cos humà, explica que les seves necessitats siguin molt petites (s'estimen en 2 a 5 mg/dia en l'humà adult) i que raríssima vegada es presentin símptomes d'una possible deficiència en Mn. No així en la majoria d'animals de producció, en els quals la suplementació dietètica és normalment necessària.

L'absorció del Mn alimentari, que té lloc preferencialment en el duodè, és molt baixa. Els seus coeficients d'absorció són de l'ordre del 5 al 10 %. Un cop absorbit és distribuït pel cos, acumulant-se principalment en el fetge, ossos, pàncrees, ronyons i formacions dèrmiques. Metabòlicament trobem el Mn associat a diverses funcions enzimàtiques, principalment les decarboxilasses, hidrolasses, transferasses, etc. i forma part constituent de dos metaloenzims coneguts: la piruvat carboxilassa (Utter, 1976) i la supeòxid dismutassa (Fridovich, 1975).

Els estats carencials en els animals es manifesten principalment en malformacions òssies, molt particularment les aus, que són molt sensibles a la seva deficiència, fins i tot en malformacions de l'otolít del mecanisme auditiu, que resulten en ataxies irreversibles (Erway et al., 1970). També són freqüents els retrassos en el creixement, alteracions en la reproducció, hipoplasies pancreàtiques, alteracions en la tolerància a la glucosa i convulsions (Hurley i Keen, 1987).

Les fonts alimentàries més importants de Mn són els fruits secs, cereals i en menor grau les fruites i verdures. Els productes d'origen animal són relativament pobres en aquest element, particularment la llet de vaca, que tan sols en conté de 0.02 a 0.03 µg/ml, si bé en contrast al Fe i Cu, la llet es pot veure fàcilment enriquida en Mn a través de l'administració de fonts de Mn a la vaca. L'aigua de beguda tampoc és una bona font de Mn, al contrari d'altres minerals, com pot ésser el Cu, F, Se, etc.. Curiosament el te, a l'igual que veurem en el cas del fluor, és relativament ric en manganès.

La toxicitat d'aquest element és relativament baixa i les possibilitats de que es produeixin casos d'intoxicació alimentària molt poc probables (Hurley i Keen, 1987). Tan sols en casos d'inhalació de fums o pols rics en Mn es poden produir símptomes de toxicitat, que cursen amb símptomes nerviosos (Donaldson et al., 1982).

Iode

La història del iode, com a micromineral, és particularment interessant. Malgrat la seva escassíssima i irregular presència en l'escorça terrestre (0.5 ppm), el cos animal el busca per concentrar-lo, a dosis relativament elevades, en una glàndula de secreció interna (el tiroides) i tot i la seva mínima representació en el total dels minerals del cos humà (de 20 a 50 mg en total), la seva indispensabilitat és evident i es fa notar d'una manera clara. Al llarg de la història de la humanitat, la seva presència, o més ben dit, la seva absència, ha estat detectada des de fa segles, malgrat que no es sabés el que era, fins a principis del segle XIX en que fou descobert en el 1811 per Courtois en algues marines, i poc després en el cos humà per l'anglès Fyfe. En el 1820, un metge francès, el Dr. Coindet demostrava l'efectivitat del iode com a tractament del Goll (Davidson et al., 1979).

Malgrat desconèixer la importància del iode en l'etiologia del Goll, algunes de les particularitats anatòmiques de la seva carència ja eren conegudes des d'èpoques pretèrites. Ja en Julius Cesar, per exemple, havia observat que els colls de les persones que vivien en zones dels Alps eren més notoris que els d'altres zones. Més tard, les Madones pintades pels pintors de la renaixença italiana lluien uns colls més aviat plens, tret anatòmic propi de la bellesa femenina d'aquell temps, suggeridors d'estats marginals de deficiència de iode, en clar contrast amb els "colls de cigne" d'avui dia. Fins i tot el metge que va donar nom a la glàndula tiroidea (Thomas Wharton) va suggerir que la pròpia naturalesa havia dotat a les dones amb glàndules més destacades, per afavorir-les, malgrat que ja Paracels havia posat el seu contrapunt crític al fer notar que, en les zones on el goll era endèmic, també hi havien molts casos de cretinisme infantil, síndrome patològic considerat com a patognomònic de la carència de iode (Davidson et al., 1979).

Els fonaments bioquímics del goll donen personalitat al iode com a micromineral essencial, al demostrar-se de manera inequívoca que el iode forma part de l'estructura de la tiroxina (en les seves dues formes de tri i tetra-iode tiroxina) o hormona produïda per la glàndula tiroidea (Baumann 1895; Kendal i Osterberg, 1919), que concentra un 70 a 90 % del total de iode del cos, que és tanmateix molt baix, de l'ordre de 20 a 50 mg en l'humà adult (Pennington, 1988), com ja hem senyalat. Malgrat que també el detectem en la quasi totalitat de les cèl·lules corporals, com passa en tants d'altres minerals, no se li coneix altra funció bioquímica ni fisiològica que la descrita en la glàndula tiroidea. Tot

i així, el trobem en el teixit muscular i l'ovari, en formacions dèrmiques, etc., en quantitats detectables i òbviament molt lluny de les concentracions presents en la glàndula tiroidea i molt particularment en la glàndula mamària, durant el procés de lactació, en el qual competeix amb la glàndula tiroidea pel iode disponible (Georgievskii, 1982)

El iode alimentari, ja en forma sòlida, o líquida a través de l'aigua de beguda, s'absorbeix principalment en forma de iodurs en les parts proximals del budell prim, amb uns coeficients d'absorció molt elevats. Les formes orgàniques son reduïdes a iodurs per l'absorció. Un cop absorbit, el iode és distribuït per via sanguínia arreu del cos. De la sang, el iode és captat fonamentalment per la glàndula tiroidea, mitjançant un sistema actiu, conegut com la "bomba de iode", òbviament indispensable si tenim en compte que la diferència de concentració en iode de la glàndula al plasma és de més de 25 vegades més concentrada en el teixit glandular. Mitjançant control hormonal (Tirotropina), el iode és absorbit i incorporat a molècules de l'aminoàcid tirosina per formar les dues formes actives de tiroxina (T3 i T4). L'excés del iode absorbit és excretat majoritàriament per l'orina, si bé també se'n troben quantitats testimonials en els excrements i la suor. El iode passa fàcilment a la glàndula mamària, i la seva presència en la llet és doncs significativa.

Les funcions del iode, a través de l'hormona tiroidea és fonamentalment el control de la termogènesis, termoregulació i metabolisme intermediari. Això l'implica en multitud de funcions, com són la síntesi proteica, absorció i metabolisme de carbohidrats (glucosa, galactosa, etc.) i també en el metabolisme lipídic.

La ingestió de dosis baixes de iode, normalment per sota de 50 ug/dia, provoca l'aparició de la simptomatologia pròpia del goll, que consisteix en la hipertròfia de compensació de la glàndula tiroidea, fins arribar a nivells que poden dificultar inclús la parla i la respiració. Aquesta alteració és més freqüent en dones, particularment en joves adolescents, que en són especialment sensibles. A menys que la hipertròfia adquireixi nivells molt exagerats, les persones afectades poden continuar en bon estat de salut, si bé aquesta hipertròfia es pot mantindre tota la vida, particularment en les dones. En el sexe masculí, la hipertròfia tendeix a disminuir progressivament al passar de l'adolescència.

Els símptomes més freqüents del hipotiroïdisme o també conegut com a mixedema, són l'acúmul de líquids extracel·lulars, disminució de la taxa metabòlica, temperatura corporal disminuïda, pèrdua de vigor muscular, etc. Les lesions bioquímiques del hipotiroïdisme, sense arribar al goll clàssic, són diverses i en general reversibles, un cop s'instala un tractament a base de iode. Quan les causes que provoquen aquests estats de hipotiroïdisme esdevenen cròniques, particularment en els infants, s'arriba a la hipertròfia persistent de la glàndula, que es coneix com a goll.

Una de les formes més freqüents del goll és el goll endèmic, ja reconegut des de fa molt de temps i degut generalment a deficiències dels sòls en zones

geogràfiques concretes. Aquestes zones es troben generalment en àrees geogràfiques allunyades de les zones marítimes, si bé s'han senyalat zones gollíferes inclús en illes marítimes (Bech, 1978) i particularment en països del tercer món.

El goll endèmic és la forma més greu de hipotiroïdisme, que es presenta primordialment en infants i adolescents i que sol ser irreversible. Les seves causes primàries són la deficiència en iode durant la gestació o els primers anys de vida i reflecteixen el baix nivell de iode disponible en la regió on es produeix aquest síndrome. Els símptomes del goll endèmic o cretinisme en infants són molt evidents i es caracteritzen per alteracions mentals i físiques de caràcter greu, retràs en el creixement, sordera i molt freqüentment pèrdua de la paraula, esdevenint persones disminuïdes psíquica i físicament de manera irreversible. En general es considera que el risc de goll endèmic és molt elevat quan l'excreció urinària de iode és inferior als 25 ug per dia (Pennington J.A. 1988)

A més de la falta de iode en els aliments, els casos de goll endèmic i inclús el de hipotiroïdisme poden ésser agreujats per la ingestió d'aliments que continguin substàncies goitrògenes, que actuen evitant la incorporació del iode a les hormones tiroideas. Els goitrogens més coneguts, com són els tioglucòsids, es troben en aliments vegetals del gènere Brassica, com són les cols, col-i-flor, bròccoli, cols de Brusel·les, etc., a més d'altres productes. Si aquests productes s'administren durant la lactació, els goitrogens passen a la llet i de la llet als infants amb els conseqüents perills dels seus efectes sobre la glàndula tiroidea dels lactants i la possibilitat de que es produeixin casos de goll. Aquestes situacions, tanmateix, no solen ser freqüents i tan sols són perilloses quan es donen en zones goitrògenes i alimentació poc variada i rica en aquestes substàncies alimentaries.

Els aliments més rics en iode són generalment els aliments d'origen animal, particularment els peixos i demés aliments d'origen marí. La resta d'aliments poden tenir un contingut en iode molt variable en funció de les zones on s'hagin produït, els adobs en cas de vegetals i les suplementacions en iode en cas de productes d'origen animal. Una de les pràctiques més freqüents es l'administració de sal iodada (a raó de 75 ug de I/gr. sal), si bé moltes de les aigües continentals poden contindre iode, en funció naturalment dels sòls que travessen. A Catalunya, Cañadell i Valdecasas (1946) han trobat nivells de iode des de 4.5 a 6.9 ug/L, en zones geogràfiques no goitrògenes (Bech, 1978).

Tenint en compte que els nivells d'excreció urinària de iode es consideren bons indicadors de l'estat d'adequació en iode del organisme, es considera que la ingestió de 50 a 75 ug/dia són suficients per mantindre els nivells urinaris dins de la normalitat. Si bé els coeficients d'absorció entèrica són elevats, com a mesura de seguretat, la RDA nord-americana recomana la ingestió de 150 ug/dia per els adults, quantitats que s'haurien d'incrementar amb 25 ug/dia en el cas de gestació i 50 ug/dia més durant la lactació, per cobrir les necessitats dels infants, tant gestants com lactants (Fomon, 1984).

Fluor

El fluor és un element que s'inclou dins del grup dels minerals, des d'un punt de vista nutricional, si bé pertany al grup dels halògens, amb funcions molt concretes i aparentment ben definides dins el món de la nutrició mineral.

Si bé ja era conegut des de principis del segle XIX el fluor fou caracteritzat i aïllat per Moissan en el 1886 (Bech, 1978). El fluor es troba amplament repartit per l'escorça terrestre, on se'l troba en petites quantitats, formant part de diversos compostos químics, principalment la fluorita, i en unes proporcions de l'ordre de 500 ppm per terme mig, si bé la seva presència és molt variable en funció del tipus de sòls en que es trobi (Bech, 1978).

Degut a la solubilitat de moltes de les formes de fluorurs, el fluor es troba principalment en aigües freàtiques, que solen ésser la font més freqüent de fluor en alimentació. El contingut normal de les aigües de beguda sol ésser de l'ordre de 1 ppm, si bé les aigües molt dures poden arribar a presentar continguts de fins a 10 ppm. Els aliments no solen ser bones fonts de F, si exceptuem el peix i molt particularment el te, que pot arribar a contindre, en forma seca, fins a més de 400 ppm (Cook, 1969).

Les sals de fluor son ràpidament ionitzades, després de la ingestió, fàcilment absorbides i distribuïdes arreu del cos, si bé les concentracions màximes es troben en el sistema ossi i dentari. L'excreció del fluor es realitza per via renal (50-70 %), en tant que molt poc és eliminat per via fecal. La major part del fluor retingut es troba en el sistema ossi i dentari, en els que entra a formar part dels seus teixits, mitjançant la seva incorporació a la hidroxilapatita (Zipkin et al., 1962), substituïnt al radical hidroxil, donant més resistència a l'esmalt dentari i per tant disminuint la incidència de càries dental (Weidmann i Weatherall, 1970). També s'ha senyalat que el fluor disminueix el procés de desmineralització i augmenta el de formació òssia (Spencer i Kramer, 1988), amb la qual cosa retrassa significativament la presentació de processos osteoporòtics (Bernstein et al., 1966).

L'estudi del fluor en nutrició ha demostrat que la ingestió de petites quantitats d'aquest element, de l'ordre de 1 a 2 mg. per dia, especialment durant l'època juvenil de formació dentària, permet la formació d'un esmalt dentari més resistent a la càries dental, al mateix temps que reforça l'estructura de les dents i disminueix la solubilitat dels minerals dentaris (Hodge, 1964). Malauradament l'efecte beneficiós del fluor sobre la càries dental tan sols sembla manifestar-se si s'ingereix durant l'època juvenil de formació dental, i no sembla tenir el mateix efecte protector si la ingestió s'efectua durant l'edat adulta, quant les dents estan ja formades. Nogensmenys però, l'aparent efecte protector del fluor sobre l'estructura òssia i la prevenció de l'osteoporòsi, sí sembla manifestar-se si el fluor es pren d'una manera continuada, molt particularment si és en combinació amb Ca i vitamina D (Jowsey et al., 1972).

Els coneixements sobre l'efecte del fluor en la prevenció de la càries dental i els seus possibles efectes preventius sobre l'osteoporòsi, han estimulat l'estudi del contingut en fluor de les aigües de beguda i la seva fluorització, en casos en que el nivell natural de l'aigua fos baix, fins a nivells de 1 ppm de fluor, a fi d'assegurar consums aproximats de 1 mg per dia, nivell considerat com a suficient per cobrir les possibles necessitats d'aquest element.

Per altra banda, la toxicitat del fluor es manifesta ja a nivells molt baixos i propers de les dosis suposadament nutricionals. Es considera que la ingestió de nivells superiors als 2 mg de fluor diaris, en infants en període de formació dentària, pot produir taques permanents en l'esmalt dentari. Per altra banda la ingestió continuada de dosis elevades, tot i així relativament petites (de l'ordre de 20 a 80 mg per dia,) poden produir deformitats en l'esquelet, conegudes com osteoesclerosi, consistents en deformitats òssies, ossificació de lligaments tendinosos i inclús alteracions neurològiques (Jolly et al., 1969).

La proximitat de les dosis nutricionals i tòxiques del fluor, ha fet que la fluorització de les aigües hagi estat molt discutida, donat el perill que pot suposar en casos d'ingestió addicional de fluor provenint d'altres aliments.

Seleni

El Seleni és un dels micromineral més recentment afegits a la llista de minerals indispensables per a la salut, tant en els animals com en l'ésser humà. Anomenat Seleni en honor de la deessa de la Lluna, Selene, el Se va sortir de la foscor de la ignorància, a gaudir dels honors de la seva essencialitat, durant la dècada del 1950, quan la seva presència va ésser demostrada com element indispensable per prevenir la necrosi hepàtica en rates (Schwarz i Folts, 1957).

Malgrat que la concentració de Se en l'escorça terrestre és molt petita, de l'ordre de 0,00006% en la litosfera i de 0,000001% en l'aigua de mar, el cos animal és capaç de buscar-lo i concentrar-lo en els seus teixits en quantitats, que si bé són petites, de l'ordre de 20-25 ug/Kg de pes, són nogensmenys significatives per a la nostra salut (Georgievskii, 1982). El Se de la litosfera està irregularment distribuït, la qual cosa fa que en tant que en certes zones geogràfiques la deficiència en Se sigui desconeguda, en altres es puguin presentar estats carencials de forma endèmica, inclús en determinades zones geogràfiques d'Europa, com són els països escandinaus i molt particularment en la Xina, en les que es coneix la malaltia de Keshan, miocardiopatia deguda a la falta de Se i que respon al tractament amb salts d'aquest element. En canvi, en altres indrets coneguts com a zones seleníferes, el contingut de Se en el sòl pot passar de nivells normals de 0,1 a 2,0 ug/gr a nivells de més de 300 ug/gr (Girling, 1984).

El Se es troba en la Taula Periòdica d'Elements, junt amb el S, amb el que té moltes semblances químiques. Degut a les seves valències, el trobem principalment en forma de selenits i selenats. Els selenits i les seves sals són

més fàcilment reduïdes a Se elemental, a pH's baixos, en tant que els selenats són molt més insolubles. Aquestes dues formes químiques són les formes inorgàniques més utilitzades. En el cos animal es troba formant part de proteïnes, principalment seleno-metionina i cisteïna.

Des d'un punt de vista alimentari, el Se es troba en relativa abundància en els productes d'origen animal, principalment en el peix, llet i carn. També, però en menor quantia en els cereals. Tot i així, la seva abundància està molt influïda pels tipus de sòls o aigües en que aquests aliments s'hagin produït. Tenint en compte que actualment tots els pinsos dels animals en producció industrial són suplementats en Se, el contingut en Se dels aliments d'origen animal solen contenir quantitats suficients per mantenir els mínims nutricionalment necessaris per a l'ésser humà.

L'absorció intestinal del Se depèn de l'estructura química en que es troba l'element. Les formes de Se orgànic, principalment seleno-metionina, s'absorbeixen per mecanismes actius, depenents de les bombes de Na de la mucosa (McConnell i Cho, 1967), en tant que altres formes orgàniques, com la seleno-cisteïna i les formes inorgàniques, com el selenit sòdic, travessen la paret intestinal per mecanismes passius. Els coeficients d'absorció varien en funció de les formes alimentàries i s'estimen en valors de 50 a 75% per les formes inorgàniques i més elevats, de l'ordre de 90 a 95% per les formes orgàniques, tipus seleno-metionina (Mason, 1988).

Un cop absorbit, el Se es diposita en pràcticament tots els teixits del cos, i molt particularment en els ronyons, fetge, pàncrees, melsa i en menor quantitat en el teixit muscular, ossi i nerviós. La seva excreció es realitza fonamentalment per via fecal i renal, estant la fecal composta per les fraccions no absorbides i les excretades per les secrecions biliars i pancreàtiques.

El descobriment de la seva essencialitat per a l'home va raure en la demostració que el Se és part integrant de la glutatión peroxidasa, en la que aparentment es troba com a seleno-cisteïna. A més de la seva involucració en les funcions de la glutatión peroxidasa, al Se se li atribueixen diverses funcions bioquímiques, fonamentalment de tipus antioxidant i preventiu de les llesions causades pels radicals lliures en els teixits tisulars (Passwater, 1980). Segons diversos investigadors, l'administració de nivells adequats de Se pot jugar un paper importantíssim en la prevenció de nombroses malalties importants, com el càncer (Shamberger i Frost, 1969; Jansson, 1975; Schrauzer, 1978, etc.), distròfies musculars (Dinning et al., 1962; Allaway i Hodgson, 1964), cardiopaties i malalties coronàries (Bjorksten, 1979; Frost, 1980, etc.), patologia de les radiacions (Shimazu i Tappel, 1964; Colombetti, 1969; Badiello i Fielden, 1970, etc.), i inclús en la prevenció de la formació de cataractes (Sprinker et al., 1971; Lawrence et al., 1974; Garner i Spector, 1980, etc.) i casos d'immuno-depressió (Spallholz et al., 1973; Desowitz i Barnwell, 1980, etc.).

Les recomanacions del RDA americà, en funció dels estudis basats en nivells sanguinis de la glutatión peroxidasa i els estudis efectuats en zones endèmiques

deficitàries de Se, s'estimen en 70 i 55 ug/dia per a l'home i dona adults respectivament (RDA, 1989). Altres recomanacions, més específiques, senyalen la necessitat de subministrar a més de dietes suposadament correctes en quant al seu contingut en Se, quantitats suplementàries de l'ordre de 100 a 200 ug/dia (Passwater, 1980).

Crom

El crom és un dels darrers elements minerals incorporats a la llista de minerals indispensables per la nutrició animal i humana, si bé la seva inclusió com a tal no ha estat encara degudament oficialitzada. Element de transició metàl·lica, és un metall blavós en estat de puresa, molt resistent a l'oxidació i a la corrosió. Relativament abundant en l'escorça terrestre (0.02 %), se'l troba principalment en forma de cromita, o ferro cromat en combinació amb el Fe. Si bé es coneixen formes bi, tri i hexavalents, tan sols el crom trivalent presenta activitat biològica.

El seu nom prové de la paraula grega, (chrôm) que significa color, ja que la majoria de les seves salts presenten coloracions diverses, principalment de color verd i violat. Metall molt emprat en la indústria de l'acer i per cobrir superfícies metàl·liques d'una capa brillant i resistent a l'oxidació, corrosió, etc. També emprat en la fabricació de pells i en un llarg etcètera d'indústries metal·lúrgiques i tèxtils.

Metall conegut des de l'any 1797, fou considerat com a element tòxic per al cos humà, malgrat les traces que se'n descobriren en els teixits corporals de l'home. Fins el 1959 no es va detectar la relació entre la deficiència en crom i la tolerància a la glucosa (Schwarz i Mertz, 1959) i poc després es demostrava la seva essencialitat per mantindre el creixement en animals rosegadors (Schroeder et al., 1966) i que els estats carencials de crom cursaven amb la aparició d'una síndrome diabètica, amb hiperglucèmia i glucosúria (Schroeder, 1966).

Actualment se sap que la carència de crom provoca alteracions en la tolerància a la glucosa (Glinsmann i Mertz, 1966; Anderson, 1988), al modificar aparentment la resposta de l'organisme a la insulina endògena. El crom sembla tenir la capacitat de normalitzar els nivells de glucèmia, rebaixant-los si son elevats, incrementant-los si son baixos i sense efectes aparents en aquells individus amb nivells de glucèmia normals (Anderson, 1988).

La intervenció del crom en el metabolisme glucídic és mitjançada per la seva activació o potenciació de la insulina. Tenint en compte que els nivells elevats d'insulina han estat vinculats a la presentació de malalties cardiovasculars, l'administració de crom, al potenciar la insulina, redueix els seus nivells i per tant redueix el risc de cardiopaties (Stout, 1977). Altres símptomes associats a la carència de crom, com són neurosi i encefalopaties, llesions de la còrnia, etc. no han estat degudament documentats, en tant que altres, com la reducció dels nivells de colesterol, han estat descrits, tant en humans (Schroeder, 1968) com en animals (Staub et al., 1969).

El crom es troba àmpliament repartit en els aliments, sense que cap destaquí particularment pel seu contingut. Entre els més rics es citen les espècies, particularment el pebre negre, els fruits secs, espàrrecs, el sucre, el vi i particularment la cervesa, i entre els més baixos els peixos i productes marins. Com en tantes altres coses, les modernes tècniques de processat i refinament tecnològic dels aliments poden produir pèrdues importants en el contingut de crom d'alguns aliments, com per exemple, la farina blanca de blat i el sucre blanc i refinat, que solen contindre tan sols un 44 i un 8 % del contingut original en la farina integral de blat i el sucre morè (Masironi, 1973).

Degut a l'amplitud del contingut de crom en els aliments, la necessitat de suplementar la dieta amb crom ha estat molt discutida. La RDA americana considera que les necessitats diàries de crom estan entre els 50 i 200 ug/dia per adults. Tenint en compte que els aliments aporten un promig de 50 ug/dia i que nivells de 200 ug/dia administrat durant llargs períodes de temps no han produït efectes negatius detectables, es considera que una suplementació de l'ordre de 50 a 150 ug/dia per adults podria ser recomanable, si bé la RDA no es defineix en aquest sentit. (RDA, 1989).

Els compostos de crom s'absorbeixen molt malament en l'aparell gastrointestinal. Els seus coeficients d'absorció són de l'ordre de 0.5 a 3 % i són inversament proporcionals a la concentració en la dieta (Anderson i Kozlovsky, 1985). Tenint en compte aquesta baixíssima taxa d'absorció intestinal i els resultats experimentals amb animals a qui se'ls havia administrat dosis de 100 mg/Kg en la dieta, sense efectes tòxics detectables, es considera que el perill d'intoxicació és molt reduït, a menys que es provoqui per mitjans que no siguin alimentaris, tals com l'exposició a pols i fums contenint residus de crom.

Cloenda

Excel·lm. Sr. President, Il·lres. Acadèmics, Senyores i Senyors: no ha estat la meua pretensió donar-los-hi dades tècniques, ni resoldre incògnites científiques sobre els minerals ni les seves necessitats. Tan sols he pretès, i els prego disculpin el meu atreviment, fer-los pensar, ni que sigui per uns breus instants, sobre la subtil i meravellosa realitat bioquímica de la nostra vida, del seu finíssim entramat, de com els processos més importants per a la nostra vida no depenen de sistemes complicats, com els ordinadors més evolucionats, ni de matèries costoses com l'or i la plata, sinó dels minerals més senzills, barats i abundants a la capa de la terra.

També he volgut ressaltar de quina manera la realitat mineral del nostre cos, d'aquests minerals que ens han donat la vida i ens han fet créixer i desenvolupar-nos, evoluciona cap al seu final, de la mateixa manera que la relació entre l'os cortical i l'àrea transversal d'un os llarg, declina inexorablement amb el passar dels anys i camina vers l'osteoporosi i el final últim i definitiu.

Malgrat els esforços de tota la humanitat, de tots els científics i tècnics que s'esforcen, uns per fer-nos la vida més còmoda i els altres, majoritàriament sanitaris i bioquímics, per perllongar l'activitat dels nostres sistemes vitals, el nostre cos humà, després d'arribar al punt més elevat i físicament més representatiu de la nostra vida, la nostra maduresa, comença el seu declinar cap al final, imparabile, malgrat els esforços de tota la humanitat, com si, de la mateixa manera que les nostres capacitats físiques i psíquiques semblen retornar, amb el passar dels anys, a l'enyorança de la joventut i infantesa, també els minerals del nostre cos desitgessin retornar als seus orígens, als llocs d'on varen sortir per donar-nos la vida, perquè també està escrit que...

*"... menjaràs el pa amb la suor del teu front,
fins que tornis a la terra, que és d'on has estat
tret: perquè ets pols i a la pols tornaràs"*

Gènesi, 3:19

Senyores i Senyors: no voldria acabar les meves paraules, deixant-los-hi un mal ressò d'oïde, amb les meves referències bíbliques i el nostre retorn a la pols del camí. Entenc que els nostres científics i sanitaris, gràcies a la seva feina, tot sovint mal recompensada, estan fent possible que tots nosaltres arribem a disposar d'uns coneixements nutricionals amplis i profunds, sobre els minerals en aquest cas, i la correcta utilització d'aquests coneixements i aquests minerals, fa que estem efectivament allargant la nostra vida, millorant la nostra salut, i sobretot, fent-la molt més plaent i agradable. Fer-los-hi arribar aquesta percepció ha estat l'objectiu de les meves paraules.

Moltes gràcies.

BIBLIOGRAFIA

- ALLAWAY W. i J. HODGSON. 1964. *J. Anim. Sci.* 23:271.
- AMERICAN HEART ASSOCIATION. 1957. En "Your 500 Mg Diet". Am.Heart Ass. N.Y.
- ANDERSON R.A. i A.S. KOZLOVSKY 1985. *Am. J. Clin. Nutr.* 41:1177.
- ANDERSON R.A. 1988. En "Trace Minerals in Foods" M. Dekker Edit. N.Y.
- ARNAUD C.D. i S.D. SÁNCHEZ. 1990. *Ann. Rev. Nutr.* 1:397.
- BADIELLO R i M. FIELDEN. 1970. *Int. J. Rad. Biol.* 17:1.
- BAUAMNN E. 1895. *Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem.* 21:319.
- BEAM, K.G. 1989. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 50:127.
- BECH I BORRÁS, J. 1978. L'Edafogomedicina, Nou Aspecte de la Sanitat Ambiental: Aplicació al cas del Goll Endèmic. Fac. Farmàcia. Univ. Barcelona.
- BECH I BORRÁS, J. 1978. *Circ. Farmacèutica* 259:177.
- BECH I BORRÁS, J. 1996. *Rev. R. Academ. Farm.* 3^a Ep., Cat. 17:17
- BECH I BORRÁS, J. 1999. *Mem. Reial Acad. Ciències i Arts.* LVII:10.
- BERNER Y.N. i M. SHIKE. 1988. *Ann. Rev. Nutrition* 8:21.
- BERNSTEIN D.S. et al., 1966. *J. Am. Med. Assoc.* 198:499
- BERTRAND G. 1987. *Bull.Soc. Chim.* 17:753.
- BIRD R.P. 1986. *Lipids* 21:289.
- BJORKSTEN J. 1979. *Rejuvenation* 7:61.
- BOUTIGNY E.J. 1833. *Chim. Med.* 9:147.
- BROWN T.H. i D.B. JAFFE. 1994. *Ann.N.Y.Acad.Sci.* 747:313.
- CANALDA, C. 1999. Comunicació personal.
- CANADELL J.M. i F.G. VALDECASAS. 1946. En "El Bocio Endémico" Dip. Barcelona.
- CHEN C. et al., 1989. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 50:118.
- CLAYTON C. i C. BAUMAN. 1949. *Cancer Res.* 9:575.
- COLOMBETTI G. 1969. *Studia Biophysica* 18:51.
- COOK M.A. 1969. *Lancet* 2:329.
- DAHL, L.K. 1968. *Am. J. Clin. Nutr.* 21:787.
- DAHL, L.K. 1972. *Am. J. Clin. Nutr.* 25:231.
- DANFORD D.E. 1982. *Ann. Rev. Nutrition* 2:303.
- DANKS D.M. et al., 1972. *Pediatrics* 50:188.
- DERIEMER S.A. 1989. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 50:413.
- DESOWITZ R. i J. BARNWELL. 1980. *Infec. & Immunity* 27:87.
- DINNING J. et al., 1962. *J. Biol. Chem.* 84: 2007.
- DISTERHOFT J.F. et al., 1994 "Calcium Hypothesis of Aging and Dementia". *Ann.N.Y.Acad.Sci.* Vol. 747.
- DONALDSON J. et al., 1982. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 60:1398.
- ERWAY L. et al., 1970. *J. Nutr.* 100:643.
- ETTINGER B. 1987. *Ann. Intern. Med.* 106:40.
- FINDLAY, I. et al., 1989. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 50:403.
- FLINK E.B. 1986. *Alcoholism* 10:590.
- FLINSMANN W.H. i W. MERTZ. 1966. *Met. Clin. Exp.* 15:510
- FRANK R.L. i O. MICKELSEN. 1969. *Am. J. Clin. Nutr.* 22:464.
- FREGLU M.J. 1981. *Ann. Rev. Nutr.* 1:69.
- FREIS E.D. 1976. *Circulation* 53:589.
- FRIDOVICH I. 1975. *Ann. Rev. Biochem.* 44:147.
- FROST D. 1980. *CRC Crit. Rev. Toxicol.* 15:6.
- GAMER M. i A. SPECTOR. 1980. *Proc. Nutr. Acad. Sci.* 77:3.
- GARFINKEL L. i D. GARFINKEL. 1985. *Magnesium* 4:60.
- GEORGIEVSKII V.I. et al., 1982. En "Mineral Nutrition of Animals". Butterworths. U.K.
- GIRLING C.A. 1984. *Agricul. Ecosistems Environm.* 11:37.
- HALSTEAD J.A. i A.S.PRASAD. 1960. *Trans. Amer.Clin.Climat.Assoc.* 72:130.
- HALSTEAD J.A. et al., 1974. *J. Nutr.* 104:345.
- HEANEY R.P. et al., 1982. *Am. J. Clin. Nutr.* 36:986.
- HEILBRUNN L.V. 1930. *Protoplasma* II:558.
- HESKETH T. et al., 1985. *Nature* 313:481.
- HIRSCHFELDER A.D. et al., 1934. *J. Am. Med. Assoc.* 102:1138.
- HODGE M.C. 1964. En "Mineral Metabolism" Vol. 2-A, pag. 573. Edit. Comar & Bronner. Academic press. N.Y.
- HOSEY, M.M. et al., 1989. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 50:27.
- HURLEY L.S. i G.L. KEEN. 1987. En "Trace Elements in Human and Animal Nutrition" Vol.1. Academic press.
- ISAACSON L.C. et al., 1963. *Lancet* 1:946.
- JANSSON B. 1975. *Cancer* 36:2373.
- JOLLY S.S. et al., 1969. *Am. J. Med.* 47:553.
- JOWSEY J. Et al., 1972. *Am.J. Med.* 53:43.
- KEILIN D. i T. MANN. 1940. *Biol.J.* 34:1163.
- KEMPNER, W. 1948. *Am. J. Med.* 4:545.
- KENDAL E.C. i A. E. OSTERBERG. 1919. *J. Biol. Chem.* 40:265.
- KHACHATURIAN Z.S. 1994. *Ann. N.Y.Acad. Sci* 747:1.
- KIPL D.P. et al., 1987. *N. Engl. J. Med.* 317:1169.
- KINNAMON S.C. et al., 1989. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 50:112.
- KRAMER P. i F.J. INGELFINGER. 1963. *Gastroenterology* 44:839.
- LAKSHMANAN F. L. et al., 1984. *Am. J. Clin. Nutr.* 40(Supl. 6):1380.
- LANDFIELD P.W. 1994. *Ann.N.Y.Acad.Sci.* 747:351.
- LAWRENCE R. et al. 1974. *Expt. Eye Res.* 18:563.
- LEE G.R. et al., 1968. *J. Clin. Invest.* 47:2058.
- LIDA, C. et al., 1967. *Anal. Biochem.* 18:18.
- LIPKIN M. i H. NEWMARK. 1985. *N. Engl. J. Med.* 313:1381.
- LUOMA H. et al., 1983. *Acta Med. Scand.* 213:171.
- LLINÁS, R.R. et al., 1989. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 50:103.
- MACALLUM A.B. 1926. *Physiol Rev.* 6:316.
- MANTHEY J. et al., 1981. *Circulation* 64:722.
- MARTIN H.E. 1969. *Ann. NY Acad. Sci.* 162:891.
- MASIRONI R. et al., 1973. *Bull. WHO* 49:322
- MASON, A.C. 1988. En "Trace Minerals in Foods" M. Dekker Edit. N.Y.
- MAZIA D. 1937. *J. Cell. Comp. Physiol.* 10:291.
- McCONNELL K.P. i G.J. CHO. 1967. *Am. J. Physiol.* 213:150.
- MENEELY G. R. i C.O.T. BALL. 1958. *Am. J. Med.* 25:713.

MENEELY G.R. i H.D. BATTARBEE. 1976. Nutr. Rev. 34:225.
MENKES J.H. et al., 1962. Pediatrics 29:764.
MERRILL A.H. et al., 1981. Ann. Rev. Nutrition 1:281.
MOLLARD P. et al., 1989. Ann. N.Y. Acad. Sci., 50:415.
MOOLENAAR W.H. et al., 1984. J. Biol. Chem. 259:8066.
MOREAU P. 1993. En "La Micronutrition Clinique en Biologie et en Pratique Clinique".
Edit. Med. Internt. Paris.
MORGAN J.L. i T. CURRAN. 1986. Nature 322:552.
NIELSEN F.H. 1984. Ann. Rev. Nutr. 4:21.
NIXON R.A. et al., 1994. Ann.N.Y.Acad.Sci. 747:77.
NORDIN B.E.C. et al., 1998. Ann. N.Y. Acad. Sci. 854:336
O'DELL B.L. i J. E. SAVAGE. 1957. Fed. Proc. 16:394.
OKADA Y. et al., 1981. J. Physiol., 313:101.
ORIENT E.R. et al., 1932. Am. J. Physiol. 101:454.
PAGE L.B. 1976. Am. Heart J. 91:527.
PARIZA M.W. 1988. Ann. Rev. Nutrition 8:167.
PASSWATER R.A. 1980. Selenium as Food & Medicine. Pivot Edit., Conn., USA
PENNINGTON J.A.T. 1988. En "Trace Minerals in Foods" Marcel Dekker Edit.N.Y.
PERLOFF, D. 1977. Edit. Med. Clin. North Am., pag. 61
PIKE R.L. i M.S. BROWN.1984. En "Nutrition. An Integrated Approach" 3^e Ed. J. Wiley &
Sons Ed. N.Y.
PRASAD A.S. et al., 1963. J. Lab. Clin. Med. 61:537.
PRIOR I. A. M. et al., 1968. N. Engl. J. Med. 279:515.
QUAMME G.A. 1986. Magnesium 5:248.
RAPER N.R. et al., 1984. J. Am. Diet Assoc. 84:783.
RAULIN J. 1869. Ann. Sci. Natur. Botan. Biol. Vegetale, 11:93.
RDA (NRC). 1996. Recom. Dietary Allowances. 10th Edit.
RENAUD J.F. et al., 1989. Ann. N.Y. Acad. Sci., 50:418.
RECTOR W.G. 1981. Am. J. Med. Sci. 281:25.
REEVES H. et al., 1998. En "L'Historia més Bella del Món" Edic. '62. Barcelona.
RIORDAN J.F. i B.L. VALLEE. 1976. En "Trace Elements in Human Health and Disease"
Academic Press.
SANDSTEAD H.H. 1976. En "Nutrition Reviews. Present Knowledge of Nutrition" Nutrition
Foundation, Washington, D.C.
SEELIG M.S. 1980. En "Magnesium Deficiency in the Pathogenesis of Disease". Plenum
Med. Book Co., N.Y. pag. 347.
SEELIG M.S. i H.A. Heggtveit. 1974. Am. J. Clin. Nutr. 27:59
SHAMBERGER R. 1976. Proc. Symp. Se-Te in Environment. Univ. Notre Dame.
SHAMBERGER R. i D. FROST 1969. Can Med. Ass. J. 100:682.
SCHRAUZER G. et al. 1977. Biinorganic Chem. 7:36.
SCHRAUZER G. 1978. En "Inorganic and Nutritional Aspects of Cancer". Plenum Press.
N.Y.
SCHROEDER H.A. et al., 1963. J. Nutr. 80:39.
SCHROEDER H.A. 1966. J. Nutr. 88:439.
SCHROEDER H.A. et al., 1968. Am. J. Clin. Nutr. 21:230.
SCHWARZ, K. i C.M. FOLTZ. 1957. J. Am. Chem. Soc. 79:3292.
SCHWARZ K. i W. MERTZ. 1959. Arch. Biochem Biophys. 85:292.
SCHWARTZ R. 1988. En "Trace Minerals in Foods" M. Dekker Publ., pag. 117.

SHIMAZU F. i A. TAPPEL. 1964. Rad. Res. 23:210.
SIESJÓ B.K. 1994. Ann. N.Y.Acad. Sci. 747:140.
SKINNER J.T. et al.,1931. J.Biol.Chem. 90:65.
SLATER J.P. et al., 1971. Biochem.Biophys. Res. Comm. 44:37
SMITH K.T. 1988. En "Trace Minerals in Foods" M.Dekker Edit. N.Y.
SOMMER A.L. i C.B. LIPMAN. 1926. Plant Physiol 1:231.
SPALLHOLZ J. et al. 1973. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 143:685.
SPENCER H. i L. KRAMER. 1988. En "Trace Minerals in Foods". Ed.K.T.Smith. M.Dekker
Inc. N.Y.
SPRINKER L. et al. 1971. Nutr. Rep. Inter. 4:335.
STAUB H. W. et al., 1969. Science 166:746.
STEARMAN R. et al., 1996. Science 271:1552
STOUT R.W. 1977. Atherosclerosis 27:1
THOMPSON D.B. 1988. En "Trace Minerals in Foods" M. Dekker Edit., pag. 157.
TODD W.R. et al., 1934. Am. J. Physiol. 107:146.
TUCKER H.F. i W.D. SALMON. 1955. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 88:613.
UNDERWOOD E.J. 1953. En "Biochem & Physiol. of Nutrition" 2nd Edic. Acad. Press.
N.Y.
UTTER M.F. 1976. Med. Clin. North Am. 60:713.
VALLEE B.L. et al., 1949. Blood 4:467.
VARO P. et al., 1980. Acta Agric. Scand. Supl. 22:115.
VERNADSKI V.I. 1924. cit. en Bech. J. 1996.
VILLERFAL M.L. i H.C. PALFREY. 1989. Annu. Rev. Nutrition 9:347.
WACKER W.E.C. 1980. en "Magnesium and Man". Harvard Univ. Press. Pàg. 11
WEIDMANN S.M. i J.A. WEATHERALL 1970. Ed "Fluorides and Human Health" W.H.O.
Mog. Ser. N° 59:104.
WIDDOWSON E.M. et al., 1974. Proc. Nutr. Soc. 33:275.
WINZERLING J.J. i J.H. LAW. 1997. Annu. Rev. Nutr. 17:501.
WRAY, D.W., et al., 1989. Calcium Channels. Ann. N.Y. Acad. Sci., vol. 50.
YIN H.L. i T.P. STOSSEL. 1979. Nature 281:583.
ZAITSEVA I. et al. 1996. J. Biol. Inorg. Chem. 1:15.
ZIPKIN I. Et al., 1962. Biochim. Biophys. 59:255.
ZWEMER R.L. 1953. En "Biochem & Physiol. Nutrition" Vol. 1. Acad. Press.

DISCURS DE CONTESTACIÓ

de l'Acadèmic Numerari
Molt Il.ltre Sr. Dr. Jaume Bech i Borràs

Excel·lentíssim Senyor President
Excel·lentíssims i Il·lustríssims Senyors
Molt Il·lustres Senyores i Senyors Acadèmics
Senyores i Senyors,

Constitueix per mi un gran honor, ensems que motiu de joia el fet d'haver sigut designat per la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya, per a contestar al Discurs d'Ingrés del Dr. Francesc Puchal i Mas com a Acadèmic Numerari.

De fet, quan va llegir el seu Discurs reglamentari d'Acadèmic Corresponent el dia 12 de Novembre de 1997 es varen palesar dos fets: el primer referit a que l'il·lustre auditori ja va copsar la valua, profunditat científica i erudició del recipiendari i el segon, el record per mi, en el que també la Junta de Govern em va encarregar fer un resum dels seus mèrits, tasca difícil per a sintetitzar tant extraordinari i molt extens curriculum.

Llavors se'm va encarregar una presentació, ara una contestació. Els dos encàrrecs m'omplen de joia i ensems de basarda perquè l'objectivitat no arribi a ferir llur modestia. Però és ben cert que la llarga i profunda amistat que ens uneix, no farà menys objectius els meus justificats elogis.

El Prof. Dr. Puchal ja fou en el període de Llicenciatura, un estudiant brillant. L'any 1956 obté el Premi Extraordinari de Llicenciatura en Veterinària a la Universitat de Zaragoza. Després d'una breu permanència a la Facultat de Veterinària com a Prof. Adjunt Interí de Farmacologia, obté una beca *Fulbright* i es traslladà als Estats Units on després de tres anys d'Ajudant Post-Graduat de la Universitat d'Iowa assoleix el títol de Doctor en Nutrició Animal (Ph.D.). De l'any 1961 al 1963 queda adscrit com a adjunt a la Direcció de Recerca de la Monsanto Chemical Co. Resideix dos anys a Brusel·les com a Cap del Servei Tècnic del Departament d'Additius Alimentaris de la mateixa companyia, essent responsable de tota l'àrea europea. Retorna a Madrid com a director Tècnic de Monsanto Agrícola d'Espanya. En 1967 llegeix la seva Tesi Doctoral a la Facultat de Veterinària de la Complutense amb Premi Extraordinari (Febrer, 1968), i passa a ocupar el càrrec de Director Tècnic de Pinsos Hens/Cargill.

En el 1968 obté per oposició la Càtedra de Producció Animal de la Facultat de Veterinària de la Universitat de León i en 1973 la de la mateixa denominació de Veterinària de la Complutense a on roman fins que l'any 1975, és anomenat, en Comissió de Serveis, Director del Departament de Biologia i Bioquímica de

la Universitat Politècnica de Barcelona. De l'any 1976 al 1979 fou Director i Catedràtic de Zootècnia de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, adscrita a la Universitat Politècnica.

Després de molts anys d'esforços i gestions logra la fundació de la Facultat de Veterinària, adscrita a la Universitat Autònoma de Barcelona de la qual en fou anomenat primer Degà (1982-84) amb la responsabilitat d'organitzar el claustre docent, posar en marxa l'activitat acadèmica i construir un nou edifici. Logrades aquestes fites, deixa, per decisió pròpia el Deganat, encara que hi continuà com a Catedràtic Numerari de Nutrició Animal fins la seva jubilació.

A més ha impartit cursos a la Universitat Autònoma de Mèxic (1980), a l'Institut Químic de Sarrià (1986 i següents), al Laboratori Municipal de Barcelona (1987), a la Generalitat de Catalunya (1989), al Col·legi Oficial de Veterinaris de Lleida (1993), etc.

Però el marc universitari no ha sigut suficient per a contenir el seu delit, dinamisme i entusiasme professional i gairebé sense poder atendre les consultes tècniques que se li feien i fan arreu, tant a nivell nacional, com internacional, després de fundar el Departament de Biologia i Bioquímica de la UPC i fundar la Facultat de Veterinària, encara ha tingut el coratge i la confiança en si mateix i en l'equip de col·laboradors i deixebles per assolir una tercera fundació, la de l'empresa pròpia, Industrial Tècnica Pecuària S.A., dedicada a la recerca i producció d'additius alimentaris per a la producció animal, amb prestigi i projecció internacional.

El prof. Puchal pertany des de 1961 a la Societat Honorífica d'Agricultura "Gama Sigma Delta Society" dels Estats Units i també a la *American Society of Animal Production*, del mateix país. Des de 1966 és membre de l'*Acadèmia de Ciències Veterinàries de Barcelona* (del 1970 al 1973 assolí la Presidència, que deixa per trasllat a la Càtedra de Madrid).

Des de 1969 és membre de la "World's Poultry Science Association". En 1975 ingressa com a acadèmic numerari a la *Reial Acadèmia de Medicina de Barcelona* i en 1994 a l'*Acadèmia de Ciències de New York*.

És Comendador de la Orden Civil Espanyola del Mérito Agrícola (1970) i en 1987 li fou concedida per la Generalitat la Medalla de l'Agricultura Catalana. Premi de Sant Martí en Categoria d'Or, otorgada per l'Ajuntament del Districte X de Barcelona, a tots els nats a Sant Martí i que han assolit prestigi internacional. Queda palès, doncs, que també ha sigut profeta a la seva terra.

Pertany a moltes més Societats Científiques nacionals i estrangeres, però la llista seria massa feixuga de detallar.

Ha dirigit més de 14 Tesis Doctorals, ha publicat més de 50 treballs científics, la majoria en prestigioses revistes internacionals, i ha impartit més de 60 Conferències, una molt bona part a diversos països arreu del món.

Recentment, en octubre de 1999 en virtut de llurs rellevants contribucions científiques li fou otorgada per la Generalitat de Catalunya la Medalla Narcís Monturiol i en novembre de 1999 la Facultat de Veterinària de Catalunya li va

retre un solemne i emotiu homenatge d'agraïment al eminent Professor, Fundador de la Facultat i Primer Degà. Dóno fe com a participant de l'emotiu i fervorós acte, de que no hi mancava ningú important del món acadèmic i industrial de les Ciències Veterinàries, fins hi participaren dos Srs. Rectors de la UAB, l'actual i el que exercia en el moment de la fundació.

Val a dir que en la cristal·lització de tots aquests mèrits, hi juguen un rol decisiu la seva estimada esposa, Montse, farmacèutica d'amplis coneixements i gran sensibilitat, que sempre està i ha estat junt al seu marit, fins i tot acompanyant-lo en els seus nombrosos viatges. Seria injust no remarcar entre les moltes altres qualitats que adornen la Sra. Puchal, llur senyorial distinció, gran simpatia i la d'irradiar al proïsme un optimisme inesgotable i encomanadís.

A continuació, intentaré comentar breument, l'extraordinari Discurs amb el que ens ha deleïtat el Prof. Puchal.

El tema elegit "Nutrició Mineral: fonaments de la nostra salut i benestar" ha sigut molt encertat doncs és de gran actualitat i ens ha ofert una visió holística però sota la profunda i escrutadora mirada d'un gran nutròleg amb molta experiència i extraordinària cultura biològica.

El recipiendari ha iniciat el magnífic Discurs posant èmfasi en la relació dels sòls amb l'*origen de la vida* "en el fang de les llacunes", hipòtesi que hom havia oblidat i que de pocs anys ençà s'ha reprès. Dic que s'havia oblidat doncs ja era admesa per Parmènides i Demòcrit. Fins fa poc temps les hipòtesis acceptades feien sorgir la vida dels oceans. Darrerament, hom s'ha adonat del gran poder catalític d'argiles i zeolites, degut a llur gran superfície reactiva i s'han fonamentat les hipòtesis de la síntesi proteica, gràcies al gran poder catalític d'aquests components pedològics.

Més endavant ha al·ludit a la *geofàgia*, pràctica coneguda en homes, simis i altres mamífers des de la més remota antiguetat i que encara es practica a molts indrets d'Àfrica i Amèrica del Sud. Els colonitzadors espanyols ja varen observar-la i també Humboldt, entre d'altres. S'ha volgut explicar, en els casos més remots associada a l'home que menja glans -paleolític-. Les argiles ingerides per aquests primitius habitants del planeta, els hi neutralitzava l'estringència dels tanins de les dites glans i sobretot les toxines d'altres plantes (especialment Solanacees) o aliments menjats en males condicions.

El Prof. Puchal també ens ha citat l'ús de les *terres sigillades*, emprades arreu des d'èpoques remotes fins el segle actual. Evidentment llur activitat contra la *peste*, verins, etc. era deguda al gran poder adsorbent, bescanviable i en algunes neutralitzador de l'acidesa. Actualment i en base a les dites propietats, el *kaolí* s'empra com a anti-diarrèic (Vg. "*Kaopectate*" (The Upjohn Co of Canadà, Don Mills, Ontario).

Més endavant ens ha recordat el paper de Paracels especialitzant l'*alquímia* en *iatroquímica* o química mèdica. Val a dir que l'estrident suís havia estat influït pel neoplatònic Marsili Ficino, el qual havia pouat en l'*aigua viva* dels eminents Ramón Llull i Arnald de Vilanova.

El Prof. Puchal ha seguit exposant magistralment el paper jugat pels diferents elements químics en el cos humà, tant des del punt de vista histològic com bioquímic i fisiològic. Així en un itinerari d'alt nivell científic, ensems que pedagògic, ens ha mostrat el camí del Ca^{2+} des dels ossos fins les calpaines, a través dels canals de Ca, "misatgers de 2on grau", calmodulines, canals T, L i P, calcibindines, etc. De passada ens ha parlat de les aigües *dures* i del delicadíssim equilibri del Ca lliure citosòlic i de la malaltia de Alzheimer.

Val a dir que el quimisme de les aigües alguns autors l'han relacionat amb malalties cardiovasculars i la malaltia d'Alzheimer, amb un excés d'alumini en les aigües i sòls, la qual cosa té lloc en sòls àcids, quina acidesa "*natural*" pot incrementar-se per les pluges àcides.

Semblantment ens ha descrit els rols estructural, energètic, genètic i metabòlic del fòsfor. Des del nostre punt de vista podríem subratllar dos aspectes: a) que en els fosfats emprats com a fertilitzants i nutrients caldrà controlar la qualitat i quantitat de metalls pesants que usualment els acompanyen i que poden entrar així a les cadenes tròfiques i b) les possibles deficiències de P en conreus sobre *oxisols* i *andisols* per *fixació*, la qual cosa caldrà tenir en compte a efectes de fertilització suplementària.

Pel que pertoca al sodi, una de les explicacions possibles de l'elevada concentració en aigües marines rau en la seva feble retenció pels col·loids del sòl, a diferència d'altres cations. Per això és fàcilment lixiviat i rius avall arriba al mar.

Respecte al potassi, el fet de llur predilecció pels medis intracel·lular, a diferència del sodi que prefereix els extracel·lulars, podria explicar-se, almenys en part, per analogia amb el bescanvi catiònic dels sòls. El potassi es reté amb més força que el sodi en el complex d'absorció edàfic.

El Prof. Puchal ha posat també èmfasi en el antagonisme Na/K en la fisiologia humana. Dic també, perquè semblantment ja en els sòls té lloc aquest antagonisme.

Pel que fa al magnesi, és ben cert que com afirma el recipiendari, els excessos de Mg disponible, en general són excretats, però excepcionalment i lligat a factors pedològics, climàtics i potser de interaccions nutricionals es donen casos de toxicitat crònica com per exemple en la regió xinesa de Jiayi. En uns sòls salins molt rics en magnesi i deficients en Zn i Mn s'ha descrit la *malaltia de Jiayi*, amb símptomes de diarrees i alteració de la funció reproductora.

Sòls deficients en seleni són causants, com molt bé ha explicat el Prof. Puchal, de la malaltia de *Keshan* a Xina. També una altra de semblant, la malaltia de *Kaschin-beck* es dona en una banda de sòls *sial-lítics* del NE al SW de Xina i és deguda, així mateix, a deficiència de Se en els sòls. En canvi en altres indrets del planeta hi ha sòls *selenífers*, que provoquen toxicitat, almenys en el bestiar que hi pastura.

També se'ns ha parlat dels excessos de fluor en certs sòls i aigües, que poden produir *fluorosis* al bestiar i als humans, amb trastorns als ossos i dents i deficiències en iode que menen vers el goll.

Dec cloure aquets Discurs de contestació, reiterant la meua admiració, felicitació i agraïment per haver escollit el Prof. Puchal aquest tema que sens dubte s'apropa a les meves "inclinacions científiques" com ens ha dit en l'Introducció. Aquets detall ha sigut per a mi un honor i un plaer. He fruit intensament amb el seu magnífic Discurs, sentiment que crec que comparteixen tots els presents.

Aquesta Reial Acadèmia se sent honorada i enriquida amb l'incorporació del nou recipiendari. Espero haver complert l'honorable i en aquest cas joiosa tasca que m'ha encomanat la Reial Acadèmia de Farmàcia de Catalunya de contestar al Discurs d'Ingrés del Molt Illre. Dr. Francesc Puchal i Mas.

Ara, tal com estableixen els Estatuts d'aquesta Reial Institució, respectuosament sol·licito al nostre Excel·lentíssim Senyor President que es digni a entregar-li en aquest moment solemne la Medalla i Títol que acreditaran al recipiendari com Acadèmic Numerari.