

BUSCANDO NA TÁBOA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS*

ARCE ARCE. ALBERTO

*Catedrático de Enxeñaría Química
Profesor Emérito da Universidade de Santiago de Compostela*

1. INTRODUCCIÓN

No ano 2019 conmemorouse o 150 aniversario da táboa periódica dos elementos químicos; esta é unha boa ocasión para destacar o papel que, a química, tivo no desenvolvemento da sociedade. A táboa periódica no seu primeiro esquema foi creada por Dimitri Mendeleev, un científico ruso que impartía a súa docencia na universidade de San Petersburgo. quen isto escribe tivo a oportunidade de visitar a aula naquela lonxana universidade quedando impresionado pola colosal escultura da súa imaxe barbuda que contemplaba aos asistentes irradiando un respecto esaxerado.

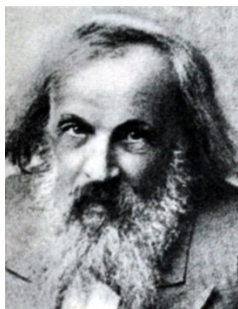


Figura 1. Dimitri Mendeleev

* Artigo traducido ao galego, coa supervisión do autor, por Manolo R. Bermejo.

Se analizamos todo canto nos rodea construído polo home, a Química estivo sempre en dita construción polo que o dito de “todo é química” ten o seu punto de lóxica. En xeral a Química é una parte moi importante da ciencia e o seu continuado estudio é una parte moi importante da Ciencia e o seu continuado estudio supuxo ente outros logros a aparición de novos materiais, hoxe considerados imprescindibles na nosa actividade cotián. A importancia da Química é tal que supón unha disciplina independente para o seu estudio e práctica posterior.

En Galicia cinco facultades universitarias (dúas orientadas á Tecnoloxía de alimentos) ofrecen o grao de Química correspondente, ademais dos centros onde se ofrece o grao de enxeñaría química como a escola superior de enxeñaría da Universidade de Santiago e os correspondentes centros de Vigo e Lugo. Estes centros dedicados ao estudio da Química nas súas diferentes facetas son un exemplo da importancia que, esta disciplina, ten para a sociedade.

A Química tivo ao longo dos anos excelentes profesores impartindo docencia. O ano 2019 a Real Academia Galega das Ciencias dedicouno ao Profesor Don Tomás Batuecas Marugán, catedrático de química física da Universidade de Santiago e profesor de gran prestixio internacional, experto na determinación das masas atómicas. Quen escribe este artigo foi alumno seu na Facultade de Ciencias cando iniciou a súa carreira no 1961, un dos últimos cursos do Prof. Batuecas. Recordo que, D.Tomás, nos facía aprender a táboa periódica dos elementos e que, ao final do curso, nola preguntaba de xeito que non nos podíamos escapar. A min tocoume o sexto período e escribín no encerado os 32 elementos que o formaban. Entrañables recordos desa etapa como alumno de Ciencias Químicas. A aula na que Don Tomás daba clase (acompañábo sempre a súa adxunta Mari Carme Meijón) era a chamada Tras-Magna, que xa non existe na Facultade de Química, unha aula moi inclinada que me veu á memoria na citada aula de Mendeleev na Universidade de San Petersburgo. Curiosamente, aínda que xa pasaron moitos anos, sígome lembrando da táboa periódica completa, unha ferramenta moi importante para os químicos. A achega de Mendeleev coa súa táboa periódica foi dunha importancia enorme destacando o feito de predicir a existencia de elementos químicos aínda non coñecidos, incluíndo as súas propiedades, e que posteriormente se verificaría a súa existencia real.



Figura 2. Don Tomás Batuecas Marugán.

2. ALGÚNS ELEMENTOS QUÍMICOS DA TÁBOA PERIÓDICA

Aínda que todos os elementos químicos da táboa periódica teñen o seu espazo e a súa importancia quixera, nesta artigo, prestarlle unha certa atención a varios elementos químicos decisivos na vida das especies. Os dous primeiros serían o nitróxeno e o osíxeno que constitúen máis do 99% da aire que nos rodea e, a eles, sumaría o hidróxeno que, xunto co osíxeno, forman a molécula da auga. Obviamente heinos relacionar con aspectos industriais nos que interveñen, considerando que a miña área profesional oríentase cara a química industrial, espazo que teño estudado de forma especial.

Os filósofos presocráticos estableceron os catro parámetros necesarios para definir a natureza: a *terra*, a *auga*, o *aire* e o *fogo*, evidenciando a importancia que, estes termos, tiveron desde sempre no futuro da vida mesma. Fixarémonos seguidamente no segundo e terceiro destes parámetros.

2.a. O NITRÓXENO E O OSÍXENO

O nitróxeno é o elemento número 7 da táboa periódica. Está presente no aire atmosférico nunha proporción do 78,14% en volume e nun 75,6% en peso. Xunto co osíxeno completan o 98 % da aire, aos que cumpriría sumar os gases nobres e outros compostos que se forman pola actividade humana e pola actividade meteorolóxica.

O osíxeno é o elemento número 8 da táboa periódica. Representa o 23,1% en peso da aire e trátase dun elemento vital para a supervivencia das especies e da vida animal

| | |
|--|--|
| <p>7</p> <p>N</p> <p>Nitróxeno / Nitrogen</p> <p>14.007</p> | <p>8</p> <p>15,9994</p> <p>-2</p> <p>-183</p> <p>-218,8</p> <p>1,14</p> <p>O</p> <p>$1s^2 2s^2 2p^4$</p> <p>Oxígeno</p> |
|--|--|

Figura 3. Elementos nitróxeno e osíxeno

A actividade humana, a traveso da contaminación da aire, envía á atmosfera compostos sulfurados e nitrogenados que derivarán noutros compostos por reaccións químicas coa humidade da aire. As descargas eléctricas poden disociar moléculas de auga, de nitróxeno e de dióxido de carbono formándose ozono, amoníaco, ácido nítrico ou nitrato amónico entre outros. A choiva ácida envía ao solo o nitrato amónico (NH_4NO_3) e o hidróxido amónico (NH_4OH) constituíndo un valioso pero insuficiente abono. Naturalmente a intensidade dos cultivos na actualidade precisa de adubos nitrogenados moito máis de dez veces superior a esta baixa achega.



Figura 4. O nitróxeno industrial e na natureza

Os enxeñeiros químicos contemplamos ao aire como unha valiosa materia prima, practicamente inesgotable e, desde o punto de vista do seu aproveitamento químico- industrial, se pode utilizar por dúas vías de obtención. A primeira sería a separación dos seus compoñentes e, a segunda, a combinación dos mesmos ou con outros elementos para proporcionar á humanidade compostos necesarios para o desenvolvemento da sociedade.

2.b. PROCESOS DE SEPARACIÓN DOS GASES DO AIRE

As aplicacións do nitróxeno do aire son diversas. A aplicación máis importante sería a fabricación de amoníaco (NH_3), a ela sumaríase a produción de cianamida cálcica (CN_2Ca) e, tamén, a súa utilización coma gas inerte.

O osíxeno utilízase no campo da combustión, nas reaccións de osixenación en xeral, nos sopretes de soldadura e nos procesos de corte de metais. Tamén se emprega para o cróqueo do metano (CH_4), na oxidación catalítica do amoníaco ou como comburente dos foguetes artificiais entre outros moitos usos. Trátase dun produto relativamente caro, polo que con frecuencia nas súas utilizacións emprégase osíxeno de pureza media (85-95%), restrinxíndose a aplicación do de gran pureza (>95%) ao caso de non diluír os produtos da combustión polo nitróxeno do aire.

O proceso de separación destes compoñentes (N_2 e O_2) máis importante, sería a destilación do aire. A alimentación antes da correspondente rectificación implica licuar o aire. A presión ambiental, o nitróxeno, ferve a 78K e osíxeno a 90K, diferenza de temperaturas de ebulición dabondo grande como para a realización do proceso de separación. Previamente hase licuar o aire utilizándose ciclos de compresión e intercambios de calor combinados (proceso isoentrópico) ou ciclos de compresión, intercambio de calor e expansión sucesivos. A separación de ambos gases do aire, unha vez licuado, realízase seguindo diversos esquemas de traballo, como a columna Claude ou a dobre columna Linde, sendo esta última a máis axeitada pola mellor integración enerxética do proceso. Mediante rectificación conséguese osíxeno e nitróxeno de gran pureza.



Figura 5. *Compoñentes do aire: N_2 , O_2 e a auga das nubes.*

Un composto presente no aire é a auga que forman as nubes. O aumento de concentración de auga nas nubes produce a choiva cuxa evaporación posterior se acumula novamente nas nubes completando así o ciclo da auga na natureza.

2. c. O HIDRÓXENO

O hidróxeno é o primeiro elemento químico da táboa periódica. É moi lixeiro aínda que cumpre manipulalo con gran coidado por ser moi inflamable. Considérase o elemento máis abundoso do universo, sendo o principal compoñente das estrelas. As reaccións de fusión dos isótopos do hidróxeno presentes nas estrelas son a razón da enerxía que provén dos astros. No noso planeta, o hidróxeno, aparece sempre unido a outros elementos, formando a auga como composto máis destacado.



Figura 6. *O elemento hidróxeno*

Nas refineries de petróleo utilízase, na unidade de hidrosulfuración, nela, o hidróxeno, reacciona cos compoñentes azufrados das correntes petrolíferas formando SH_2 e eliminándose así os compoñentes azufrados. Esta operación corresponde ás directivas europeas que limitan o contido en xofre nos combustibles dos coches a máximo de 10 ppm.

Na actualidade, ao hidróxeno, se lle contempla como un combustible de gran interese. Reacciona co osíxeno con contaminación cero (o produto desta reacción é auga), liberando una gran cantidade de enerxía (a entalpia de combustión do hidróxeno é de 286 KJ/mol). Este feito faíno moi atractivo como combustible, téndose xa deseñados motores e coches utilizando este combustible. De igual xeito se se contara con hidróxeno barato a siderurxia podería modificar o sistema de redución do Fe_2O_3 , hoxe realizado con carbón, minimizando a contaminación resultante e diminuíndo as grandes inversións que as industrias do ferro e do aceiro requiren, e utilizando o H_2 como redutor. Contaminantes como CO, CO_2 , hollíns, etc evitaríanse xa que se produciría auga que se incorporaría ao seu ciclo natural.

2.d. A FABRICACIÓN DO AMONÍACO

No século XIX os adubos máis estendidos para o seu uso agrícola eran o guano (acumulación de excrementos de aves mariñas durante centos de anos) e, tamén, o chamado nitrato de Chile (nitratos de sodio e potasio), chamado así pola súa procedencia daquel país. A necesidade de estender os cultivos, por mor do crecemento da poboación, mantendo a sostibilidade do terreo, obrigou á sociedade a fabricar adubos nitrogenados, podéndose así dosificar a composición dos abonos (fundamentalmente contido do nitróxeno, fósforo e potasio) para a súa aplicación segundo a necesidade dos terreos de cultivo.

A necesidade dos adubos para a agricultura fixo que se construíran fábricas de amoníaco e de nitrato amónico en case todos os países desenvolvidos

A fabricación do amoníaco segue o chamado proceso de Haber, segundo o cal o nitróxeno e o hidróxeno reaccionan directamente para formar o amoníaco. A reacción de síntese combina o nitróxeno (proporcionado polo aire) e o hidróxeno (xerado polo gas natural fundamentalmente). O gas natural ten un 96% de metano, sendo o composto que proporciona o hidróxeno para a reacción da síntese do amoníaco. A separación do hidróxeno e do carbono, do CH_4 , faise polo reformado catalítico do gas natural, combinándose o carbono co osíxeno do aire, polo que o gas de síntese contería: hidróxeno, nitróxeno, e dióxido de carbono, cunhas impurezas de metano e monóxido de carbono. Na planta de fabricación, a separación do CO_2 realízase por absorción do gas de síntese en metanol-aminas e en etanol-aminas ou ben en disolucións de carbonatos. A desorción do CO_2 absorbido permite recuperar este produto para o seu uso posterior, como podería ser a síntese de urea. A separación do CO_2 do gas

de síntese é esencial xa que, este composto, desactiva os catalizadores da síntese do amoníaco. A separación das impurezas do proceso realízase en unidades adaptadas ao proceso como os metanadores ou o “shift converter”.

Unha vez disposta a mestura de nitróxeno e hidróxeno nas proporcións axeitadas lévanse ao reactor que opera a presión elevada (desde 300 ata 1000 bar) e, co catalizador axeitado, conséguese a síntese do amoníaco.

A economía de escala obrigou ao peche de diversas factorías para a fabricación, en Galicia, do amoníaco; como foi o caso da fábrica de Fertiberia ao lado da Coruña. Tratábase dunha fábrica emblemática no noso país e a súa importancia foi tal que determinou que, Renfe, abrise vías de ferrocarril con cargadeiros na propia factoría para a chegada e a expedición dos diversos materiais. Ao peche desta empresa sumouse a desaparición da empresa S.A. Cros, no Burgo de Culleredo (ao lado da Coruña), dedicada tamén á preparación de adubos. Os químicos maiores lembramos esta factoría con certa pena, recordando aínda as históricas cámaras de chumbo para a fabricación do ácido sulfúrico na empresa Cros. Nas Pontes de García Rodríguez había unha fábrica de nitrato amónico que tamén se pechou, se ben esa zona gañou moito, economicamente, no seu tempo coa construción dunha central térmica, hoxe en perigo de peche polas limitacións de emisións contaminantes á atmosfera impostas pola Unión Europea.

O amoníaco fabricado supuxo un cambio importante na preparación e distribución de adubos. Os vellos guano e nitrato de chile deixaron de ser utilizados case por completo. Os abonos de fábrica dosificaban as proporcións dos compoñentes dos fertilizantes na forma precisa e os custos fixéronse moi competitivos, o que xustificou de modo claro o seu emprego na agricultura. O amoníaco, foi i é, un produto de gran relevancia para a sociedade.

2.e. IMPORTANCIA INDUSTRIAL DA AUGA

A molécula de auga, H_2O , está formada polo hidróxeno e o osíxeno, polo que unha primeira aplicación será a súa separación para obter dichos compoñentes puros. A auga está presente na maioría dos procesos de fabricación, non só como un produto dos mesmos procesos senón, tamén, como produto auxiliar para etapas de intercambio de calor ou de transmisión enerxética. Así mesmo una importante aplicación é como disolvente. É un produto de ampla dispoñibilidade e cun custo aceptable, o seu consumo é imprescindible para a humanidade

Desde o punto de vista industrial da dispoñibilidade de auga, temos que considerar, dun lado o da auga potable ou “doce” e, polo outro, o da auga do mar. En relación coa primeira diremos que, esta auga, atópase na natureza como auga natural. Esta auga natural non é pura nin pode selo. Algúns dos produtos que contén (O_2 e CO_2 fundamentalmente) exaltan a capacidade disolvente da auga. Dos sólidos disolvidos teñen especial importancia as sales de calcio e de magnesio (augas duras), restándolle á auga capacidade para o seu uso en caldeiras de vapor e, tamén, pola súa deposición en tubarías podendo chegar a obturalas. En Galicia temos a sorte de dispor de augas con moi baixa proporción de calcio e de magnesio, polo que se reduce considerablemente o problema anterior. O contacto da auga con produtos non desexados, como os orgánicos, produce un efecto de contaminación que debe ser corrixido antes do seu posterior uso.

As características das augas deben ser valoradas antes da súa aplicación. A grandes resgos podemos falar do seu olor e sabor, aos que seguirían a color, turbidez, acidez e alcalinidade. A demanda química e biolóxica de osíxeno (DQO e DBO), que relacionamos coa súa aplicación biolóxica fundamentalmente, mide a destrución da capacidade oxidante da auga. Os vertidos industriais deben controlar con precisión estes parámetros para o seu posterior uso.

O tratamento das augas para a súa reutilización ou vertido pódese clasificar en primario, secundario ou terciario. O primeiro é un tratamento de tipo físico, como a filtración. O segundo consistiría na formación de flocules que, ao se separar, normalmente por sedimentación, arrastran as impurezas

disolvidas. Os tratamentos terciarios corresponden a tratamentos especiais como o cambio iónico, a destilación ou a adsorción mediante carbón activo; así como tratamentos biolóxicos (depuración bacteriana) ou os químicos (cloración).



Figura 7. *As augas naturais.*

A electrólise permite a separación do osíxeno e o hidróxeno da auga con gran pureza. O consumo eléctrico é decisivo nas industrias electroquímicas dado que a calor de formación da molécula de auga é de 13,178 KJ/Kg, magnitude que nos da unha idea sobre a tensión e a sobretensión empregadas. Cando o NaCl está disolvido na auga, a súa electrólise, nos permite obter o cloro (Cl_2) e algúns derivados como o hipoclorito sódico (NaClO), necesarios para a fabricación das lixivias ou para operacións de branqueo. En Galicia contamos ata hai pouco cunha fábrica electroquímica en Pontevedra (Elnosa) pechada pola conxuntura empresarial e político-ambiental existente, privándonos do hipoclorito sódico que se demanda para operacións de depuración e branqueo, e que agora compre importar de Portugal.

2.f. A AUGA DO MAR COMO MATERIA PRIMA QUÍMICO-INDUSTRIAL

A auga considérase o disolvente químico por excelencia e o mellor exemplo dese uso é precisamente a auga do mar. Contén diversos compostos como son os cloruros, os sulfatos e os carbonatos, destacando a proporción de NaCl. A auga do mar absorbe o CO_2 e o SO_2 existentes no aire (a súa capacidade de absorción é triplo que a da auga doce) axudando deste xeito á eliminación do exceso destes compostos no aire atmosférico e diminuíndo o efecto invernadoiro que crean no noso planeta. Como dato de certa curiosidade a maior parte dos elementos químicos coñecidos están presentes na auga do mar, por exemplo: a prata está na orde de 10^{-6} , o cobre na orde de 10^{-7} e o ouro na orde de 10^{-8} ($0,01 \text{ g/m}^3$) Estas cifras parecen insignificantes, pero se fora posible a súa extracción, co reparto de todo o ouro contido nos océanos do planeta nos tocaría, a cada habitante, 10 toneladas de ouro.

O iodo do mar concéntrase nas algas, que son a materia prima para a obtención dos máis diversos produtos como os alxinatos e o agar-agar.

O NaCl contido na auga do mar emprégase á súa vez como materia prima para outros usos. As súas aplicacións son moitas destacando o seu uso como conservantes de alimentos ou por ser materia prima para a fabricación do carbonato sódico (proceso Leblanc primeiro e logo substituído polo proceso Solvay). O Na_2CO_3 foi, e aínda o é, o álcali industrial máis común. O proceso Solvay é o proceso utilizado hoxe máis empregado aínda que se propuxeron algunhas modificacións como é o emprego do cambio iónico. En todos estes procesos o produto non desexado é o CaCl_2 .



Figura 8. Salinas de onde obter o NaCl.



Figura 9. Auga do mar.

Nos últimos anos vense utilizando as augas dos mares para regadíos, en agricultura, previo proceso de desalinización. Estas técnicas de desalinización son moi variadas destacando a destilación (evaporación preferentemente) ou a de separación mediante membranas. Estas últimas utilizan preferentemente a osmose inversa. A reversión do proceso osmótico require o uso de elevadas presións (da orde de 70 bar) dado que a presión osmótica da auga do mar é de 25 bar e débese superar moito ese valor para compensar os efectos de polarización da concentración que ten lugar na superficie das membranas. A auga potable que se consegue con esta técnica non sería axeitada para o consumo humano, dado que non consegue eliminar todas as sales contaminantes, pero si sería axeitada para o seu uso en regadíos.

3. FINAL

As reflexións anteriores, sobre os elementos químicos nitróxeno, osíxeno e hidróxeno, que inevitablemente debemos estender aos medios naturais onde se atopan moi abundosas, nos indican a importancia destes elementos para a humanidade e para a vida das especies. Non só pola utilización directa destes medios, senón tamén polo seu uso como materias prima para a fabricación doutros compostos que a sociedade demanda. Hoxe sería difícil conseguir unha agricultura sostible sen dispor de adubos axeitados e do uso de auga para os correspondentes regadíos. Sen estes produtos extensas zonas xeográficas se desertarían ou a vida nelas reduciríase considerablemente. Cos produtos

derivados desta agricultura conséguense os alimentos que permiten que a humanidade poda organizar a súa alimentación para largas temporadas. Incluso se chegou a utilizar estes medios para prácticas deportivas, poñendo de manifesto que a imaxinación humana non parece ter límite para o seu propio beneficio.

Polo que se refire aos procesos químicos industriais correspondentes indicouse varias veces que son de importancia decisiva, aínda que a investigación científica segue a traballar na mellora dos procesos existentes ou na procura de novos procesos químicos nun intento de mellorar a vida e o entorno da humanidade.

O papel xogado pola química tería sido máis destacado en Galicia se a industria química se tivera desenvolvido mellor. Pero a conxuntura social e económicas presentes supuxeron moitos cambios ao que contribuíron unhas comunicacións deficientes para salvar o tradicional illamento de Galicia.