



Xavier Giménez

L'aire que respirem

**Històries sorprenents sobre l'atmosfera,
els gasos que conté i el nostre entorn**



Índex

Introducció	15
El paper de la química	17
Part I. L'atmosfera. Un tel gens imperceptible	21
El món electromagnètic	31
La radiació electromagnètica.	33
Tipus de radiacions i els seus efectes.	37
Capes de l'atmosfera	44
Composició de l'atmosfera	47
Part II. Àtoms i molècules. La matèria és atòmica	51
L'àtom i l'home primitiu	55
Els atomismes grec i xinès, medieval i àrab	58
El Renaixement. Pierre Gassendi i Robert Boyle	61
L'impuls definitiu. John Dalton	65
La base experimental.	67
Espectroscòpia	68
La mecànica quàntica	71
L'atomisme, provat	74
Lluita entre contraris	75
Ions	77
Molècules.	78
Ions moleculars i radicals.	85

Miniaturització de gegants	86
Molècules vives	88
Diamants i mines de llapis	90
 Part III. Oxigen. Necessari i tòxic	 95
Respirar l'oxigen	100
L'oxigen en sang	102
Oxímetres.	105
L'oxigen a l'aire	108
Oxigen i electròlisi	113
Magnetisme de l'oxigen	114
Propietats, i una mica d'història	117
Oxigen dins l'aigua	121
Solubilitat i temperatura	123
Usos recreatius de l'oxigen	124
 Part IV. Ozó. L'irritant protector	 127
Combustió amb ozó	136
Producció d'ozó a la troposfera.	137
Fabricació i usos de l'ozó.	138
L'ozó i la salut.	141
L'ozó estratosfèric	143
Chapman i el model de producció i destrucció d'ozó	146
La destrucció catalítica d'ozó.	149
Crutzen, Johnston i els òxids de nitrogen, amb una incursió al Concorde	151
Molina, Rowland i els CFC	153
Núvols estratosfèrics polars	156
 Part V. Diòxid de carboni. Multifuncional	 161
El CO ₂ que respirem	165
CO ₂ i regulació del pH en sang.	168
Fixació bioquímica del CO ₂	170
L'experiment fallit de Van Helmont	172

La combustió	173
Què és el foc?	175
CO ₂ i extinció d'incendis	180
CO ₂ com a refrigerant, i com a escuma aïllant	181
CO ₂ , closques d'ou i begudes efervescents	183
CO ₂ ambiental	184
L'efecte hivernacle i l'escalfament global	187
Estratègies contra el canvi climàtic	189
Segrest del CO ₂	191
CO ₂ i el planeta gelat	194
CO ₂ i l'atmosfera de la Terra, Venus i Mart	196
 Part VI. Aigua. Omnipresent i sorprenent	 199
L'aigua sòlida, líquida i gasosa	202
Sequera i predicció del temps	207
Per què, tanta suor?	211
L'aigua sorprèn la nostra intuïció.	213
És potable l'aigua que bevem?	215
Les gotes de pluja no són allargades	218
Aigua exòtica: supercrítica, iònica i superiònica	224
Aigua, cristall líquid?	229
Aigua gairebé sense viscositat?	231
 Part VII. Nitrogen i hidrogen. Fixació i combustibles nets.	 233
El nitrogen, una substància inerta, però no tant	235
Les aplicacions del nitrogen	238
No totes les formes de nitrogen són útils per als éssers vius.	240
Gràcies a ser inert, ens fa més segurs: <i>airbags</i>	242
Hidrogen, el combustible net del futur	244
El protó: àcids i bases.	248
El pH	251
Hidrogen a la natura	252
El futur es diu hidrogen	254

Piles, piles seques, piles de combustible i Geoffrey Ballard.	257
Cotxes híbrids, cotxes amb pila d'hidrogen	260
El futur pot ser més clar amb el Clarity	263
 Part VIII. Metà i amoníac. Ramaderia i agricultura	269
CH ₄ i combustió	272
El metà es produeix tant naturalment com industrialment	274
Metà, gas d'esquist i <i>fracking</i>	276
El metà com a gas d'hivernacle	279
Amoníac	280
Set mil milions i l'amoníac	283
Amoníac i lleixiu	289
 Part IX. Òxids de nitrogen i de sofre. Boirum fotoquímic i pluja àcida . . .	291
Origen dels òxids de nitrogen i sofre. La pluja àcida	295
Episodis de boirum a Londres i Los Angeles	297
Els sis del NO.	299
N ₂ O, per a riure sense voler, o per a accelerar-nos	302
Alguns fets històrics clau en medi ambient	303
 Part X. Petroli volàtil. Els vapors de la complexitat	311
El petroli	315
Toxicitat d'alguns components del petroli	318
Biodièlsels	321
 Part XI. Ions. Electricitat molecular	331
Electricitat estàtica	334
Ions, generadors i aire condicionat.	336
 Part XII. Aerosols. Molt més que pols	341
Procedència i composició dels aerosols	345
Transport intercontinental de pols	347
Aerosols i canvi climàtic	349

Per què el cel és blau?	350
Aerosols i els colors del cel	352
Aerosols i volcans	353
Aerosols i aigua	355
Suspensions col·loïdals	357
Efectes sobre la salut	359
Tabac	360
Tabac i jovent	364
Tabac i pulmons	367
Conseqüències de la llei del tabac	369
 Epíleg	 371
 Bibliografia	 375
 Agraïments.	 377

Poques substàncies com l'oxigen reflecteixen la dualitat que virtualment determina la nostra existència: imprescindible per a la vida, sobretot per als organismes superiors; tòxic si en tenim massa i insaciable devorador de substàncies. Aquesta lluita entre contraris manifesta així un dels paradigmes de la vida: necessitem energia per viure, però subministrada en massa quantitat ens perjudica. L'oxigen ha estat la manera de proporcionar energia escollida per l'evolució, ja que facilita una ruta eficient de rendiment energètic. D'altra banda, aquest ús com a font energètica ha requerit una transició gairebé increïble cap a la complexitat; cada pas metabòlic, cada etapa en el procés d'extracció d'energia de l'oxigen, ha necessitat que per evolució es generessin catalitzadors específics que han permès ajustar el ritme de subministrament d'aquesta energia a un valor de compromís, ni gaire baix ni gaire alt. Som, doncs, un delicat equilibri condicionat per l'oxigen.

Qui no n'ha sentit parlar, de l'oxigen? L'oxigen és a l'aire que respirem, sense ell ens ofegariem i ens n'aniríem *ipso facto* a l'altre barri. Quan som en una habitació amb poca ventilació, o en un lloc tancat, sovint tenim necessitat de sortir a fora «a oxigenar-nos». També té la funció de combustible: quan quelcom es crema, ja sigui fusta o gasolina, és que la substància es combina amb l'oxigen de l'aire. De fet, quan un foc de llenya no tira, hi bufem o el ventem, per tal que més oxigen es posi en contacte amb la fusta. També parlem de l'aigua oxigenada i d'òxids, com l'òxid de ferro, el rovell. Són termes relacionats que involucren formes combinades d'oxigen diferents de l'oxigen de l'aire que respirem.

Una bona part dels éssers vius necessiten oxigen. Una bona part, però no tots. Per exemple, alguns bacteris se'n surten obtenint energia d'altres

substàncies, com veurem més endavant. Les plantes, en canvi, produeixen i consumeixen oxigen alhora, tot i que en produeixen més que no pas en consumeixen. Una part de l'energia que necessiten l'obtenen llavors de la llum; d'aquí que als llocs permanentment foscos no hi puguí haver la vegetació que trobem als llocs il·luminats.

Actualment, a l'atmosfera hi ha un 21 % d'oxigen. Això vol dir que, de cada cent parts d'aire, vint-i-una són d'oxigen. Gairebé la resta és nitrogen, que no ens afecta en la nostra respiració. Per tant, quan respirem ens empassem tot l'aire, tant l'oxigen com el nitrogen, però al nostre cos només s'hi queda l'oxigen. El nitrogen entra i surt com si res... gairebé sempre.

El cos humà és molt hàbil capturant l'oxigen de l'aire. La raó d'aquesta efectivitat es troba en el fet que, quan respirem, l'oxigen és capturat per l'hemoglobina de la sang, una proteïna que, dins dels glòbuls vermells, literalment «engoleix» l'oxigen que arriba als pulmons. Llavors aquest oxigen és transportat, pel corrent sanguini, cap a totes les cèl·lules del nostre cos. Quan patim d'anèmia, ens manquen glòbuls vermells i, per tant, ens falta hemoglobina. Per aquest motiu, el transport d'oxigen se'n ressent i no n'arriba tant a les cèl·lules. Per això ens sentim decaiguts i sense energia... ens falta oxigen!

Tornem a l'oxigen de l'aire. Que n'hi hagi un 21 % potser sembla poc espectacular. Però, atès que l'atmosfera és molt gran, aquest 21 % són bilions i bilions de tones d'oxigen. Més concretament, a l'atmosfera n'hi ha mil bilions de tones, és a dir, un trilió de quilograms. Es pot dir, sense por d'equivocar-nos, que no ens l'acabarem pas, l'oxigen. De fet, encara n'hi ha més. És a les roques de l'escorça terrestre, en forma de minerals.

Gairebé totes les roques que puguem observar a la natura són compostos d'oxigen i quelcom més. El més freqüent és que les roques siguin combinacions entre oxigen i silici, o bé oxigen i alumini, o una barreja de tots dos. Les roques granítiques, les argiles, les pissarres i un munt d'altres són compostos d'aquest tipus. L'oxigen hi és omnipresent, fet que demostra la seva capacitat de combinar-se amb pràcticament tot el que se li posa al davant.

En canvi, a l'interior del planeta la situació és diferent. L'oxigen hi és present en molta menor proporció i, de fet, la major part dels compostos no en contenen. Per exemple, el nucli de la Terra és de ferro i níquel, dos metalls molt apreciats i molt útils. I es troben sense estar combinats amb oxigen. Aquest fet és molt remarcable, ja que una part molt important dels esforços tecnològics estan destinats a obtenir ferro i níquel pur dels minerals presents a l'escorça, on es troben combinats amb oxigen, i extreure el metall costa bastant temps i diners.

D'altra banda, als meteorits hi sol haver metalls, i en força casos en estat pur. És freqüent sentir que molt del ferro, níquel, crom, manganès o coure que es troba en estat pur a l'escorça terrestre prové de meteorits que van col·lidir amb la Terra en èpoques prou recents. Una afició, si més no curiosa, consisteix a colleccionar objectes fabricats amb metalls procedents d'aquests meteorits, és a dir, amb material extraterrestre. Tot plegat posa en relleu que les atmosferes amb oxigen són un invent del nostre planeta, ja que allò que ve de fora no en té!

En aquest punt és necessari aturar-nos un moment i parlar de noms. L'element químic oxigen, que es representa mitjançant el símbol O, es refereix a un únic àtom d'oxigen. L'oxigen de l'aire que respirem, que també rep el nom simple d'oxigen, és, en canvi, una agrupació de dos àtoms d'oxigen, i l'identifiquem amb la fórmula química O_2 . Una representació d'aquesta molècula és la que es mostra a la figura 10. Segons les situacions, també se'n diu oxigen molecular, i fins i tot dioxigen. Però, malauradament, el més

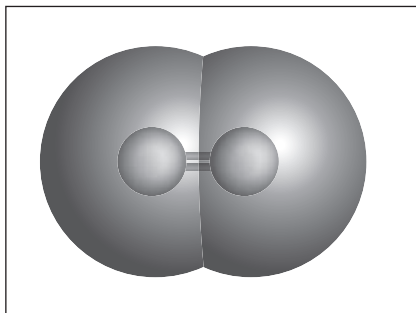


Figura 10. Una representació de l'anomenat *oxigen molecular*, és a dir, l'oxigen de l'aire que respirem, que és format per dos àtoms d'oxigen. El nom és el mateix que el de l'element químic, cosa que sovint porta a confusió. De fet, durant molt de temps es va pensar que l'oxigen molecular —format per dos àtoms d'oxigen— era idèntic a l'atòmic —un sol àtom—, i d'aquí que se'ls assignés el mateix nom.

habitual és utilitzar el mateix nom per a l'àtom individual O i per a la molècula formada per dos àtoms, O_2 . És un problema, que es va originar quan els pioners de la química van caracteritzar l'element i no van saber veure que, a l'aire, l'oxigen es troba en *packs* de dues unitats. A partir d'ara, quan parlem de l'oxigen de l'aire, ens estarem referint sempre a l'oxigen molecular (O_2). En canvi, quan parlem de combinacions d'oxigen amb altres elements, voldrem dir que són els àtoms d'oxigen individuals els que es combinen amb altres elements per a formar compostos.

L'oxigen molecular (O_2) constitueix actualment, com ja hem esmentat, el 21 % de l'atmosfera, més exactament el 20,8 % en volum i el 23,1 % en pes. No és el constituent majoritari, però és, de lluny, el gas més important que en forma part. Aquesta importància té a veure amb el paper que juga en els éssers vius, relacionat, com hem vist, tant amb l'origen i el desenvolupament de la vida com amb el funcionament d'aquesta.

RESPIRAR L'OXIGEN

La quantitat d' O_2 a l'atmosfera no pot variar excessivament si es pretén que la vida, tal com la coneixem actualment, es mantingui. Per dessota del 17 %, l'ésser humà, i molts altres animals, no poden subministrar oxigen al cos a la velocitat a la qual el necessita. Literalment, ens ofeguem. Aquest límit es va poder provar en experiments d'atmosferes artificials, com el que es va dur a terme al desert d'Arizona, als Estats Units, a partir del desembre del 1991. El projecte, anomenat Biosfera, pretenia comprovar si era possible viure en una atmosfera artificial, amb vista a una potencial construcció d'hàbitats a la Lluna. Vuit persones van ser recloses en un ecosistema complet segellat amb parets de vidre. Cap al gener del 1993, l'experiment es va haver d'aturar per ser revisat, atès que l'oxigen de l'aire havia caigut per dessota del 15 %, la qual cosa va fer la respiració pràcticament impossible. Havien desaparegut unes trenta tones del gas, molt probablement per

reacció amb el ferro del sòl, així com també per reacció amb el ciment de l'estructura.¹

Potser és més curiós que l'oxigen de l'aire tampoc no pot superar una certa quantitat màxima, que es calcula que és al voltant del 25 %. Per damunt d'aquesta quantitat, la més lleugera guspira provoca la ignició de l'atmosfera i crema pràcticament tot el que es troba al seu abast. Aquest fet ha provocat alguns accidents horribles, que durant algun temps van alimentar una llegenda que diu que el cos humà pot patir el que s'anomena *combustió espontània*, és a dir, que pot cremar-se, de sobte, sense cap causa. No obstant això, en tots els accidents es va poder demostrar que s'havia produït una guspira en ambients massa rics en oxigen, per la qual cosa aquesta llegenda no té cap fonament.² Un cas força conegut es va donar en la primera expedició tripulada del programa *Apollo*. El 27 de gener de 1967, els tres astronautes que viatjaven a l'*Apollo 1* van morir cremats pocs minuts després d'enlairar-se la nau. Tot va iniciar-se amb un petit foc a la cabina, que ràpidament va ser alimentat per l'ambient ric en oxigen.

D'altra banda, es calcula que durant el carbonífer, ara fa uns tres-cents milions d'anys, el nivell d'O₂ va arribar al 35 %. Es creu que aquesta és una de les causes que va permetre l'aparició d'animals de mida gegant, i també un dels factors coadjuvants en l'extinció massiva dels dinosaures. Així, l'impacte del meteorit va veure incrementada la seva acció devastadora per la deflagració de l'atmosfera.

¹ Després de molts alts i baixos, canvis de propietari, etc., el projecte Biosfera continua actualment amb el nom de Biosfera 2 i la gestió de la Universitat d'Arizona.

² Més que manca de fonament, el que ocorre és que hi ha arguments teòrics que porten a equívocs. La confusió prové del fet que, en el cos humà, molts dels compostos orgànics que el componen, com són les proteïnes, els sucres, etc., són menys estables, ja sigui respecte als fragments que els componen o respecte als productes de la combustió amb oxigen. Això voldria dir que, en principi, les molècules grans s'haurien de descompondre en els seus fragments constituents més petits. Ara bé, en tots els casos es comprova com aquesta ruptura és extraordinàriament lenta. En conseqüència, tenen lloc molt abans tots els processos propis del metabolisme que no pas la descomposició en fragments o la combustió.

Cal aquí un comentari important. Els malalts amb dificultats respiratòries es tracten amb oxigen bastant pur. Això podria fer pensar que corren el perill de cremar-se, però no és cert. El perill s'origina quan tot el nostre entorn, diguem-ne l'atmosfera, és ric en oxigen, i no pas quan en respirem més amb un aparell dissenyat a aquest efecte.

Hem vist, doncs, com poc oxigen a l'ambient ens ofega, i massa pot cremar-nos. Respirar aire massa ric en oxigen també pot ser molt perjudicial. Si la composició o la pressió d'oxigen és massa alta, l'ésser humà pot experimentar convulsions. Aquest fenomen és molt conegut pels bussos, atès que patir-ne en profunditat pot provocar accidents fatals. Aquest problema els va portar a desenvolupar mescles de nitrogen (N_2) i oxigen, les anomenades *mescles nitrox*. Són barreges una mica més riques en oxigen que l'aire normal que respirem. Actualment, s'usen mescles d'heli (He) i oxigen, que permeten treballar amb seguretat per sota dels cinc-cents metres.

L'OXIGEN EN SANG

Com és sabut, l'oxigen entra al cos humà a través dels pulmons. Però, directament, no és excessivament soluble en la sang. Per tant, no podria transportar-se cap al seu destí, les mitocòndries cel·lulars —que és on es combina amb la glucosa per generar energia— simplement per dissolució. L'oxigen és transportat pels glòbuls vermells i empaquetat dins una proteïna, l'hemoglobina. Al cor de l'hemoglobina hi ha àtoms de ferro atrapats dins uns grups moleculars específics, anomenats *porfirínics*. Al complex ferro-porfirina se l'anomena grup *hemo*, i l'hemoglobina en té 4. Cada ferro de cada grup hemo és el punt d'ancoratge específic de l' O_2 , de manera que cada litre de sang transporta fins a 200 centímetres cúbics d'oxigen, unes cinquanta vegades més que l' O_2 que es dissol en aigua.

Els grups hemo de l'hemoglobina són els responsables del color vermell de la sang, atès que absorbeixen fortament la llum blau verda i, per tant,

veiem el color complementari, el vermell. De fet, quan l'hemoglobina efectivament captura oxigen, el seu color canvia lleugerament, d'un vermell blavós a un vermell brillant, cosa que distingim fàcilment per la diferent coloració de les artèries, riques en oxigen, de les venes, més pobres en el compost.

Tots els vertebrats i molts invertebrats usen l'hemoglobina per a transportar l'oxigen. En canvi, els artròpodes i els molluscs usen l'hemeritrina, que conté ferro però no grups hemo. Finalment, alguns altres invertebrats, com les aranyes i els escamarlans, usen l'hemocianina com la proteïna que fa l'ancoratge de l'oxigen. L'hemocianina conté coure en comptes de ferro, la qual cosa confereix a la sang un característic color blau. De fet, són els autèntics membres de sang blava del regne animal!

Parlant de sang blava, podem recordar aquí que aquest és un terme, d'origen castellà, que serveix per a designar els individus d'ascendència noble. Els caps dels exèrcits castellans identificaven així la seva procedència, en mostrar com a la pell, pàl·lida, ressaltava el to blavós de les venes i artèries superficials. Aquest to contrastava amb la pell acolorida dels musulmans, l'enemic durant els cinc-cents anys de la Reconquesta.

Hi ha qui afirma, però, que el qualificatiu de «sang blava» identifica les classes adinerades, des de molt més antic, fins i tot des de l'època egípcia. Els primers metges sabien que les classes econòmicament fortes patien menys infeccions, i van atribuir empíricament aquest fet a l'ús de cobrteria de plata. L'ús de culleres, forquilles i ganivets de plata actua de desinfectant i antisèptic, com molt bé s'ha determinat científicament en temps molt més recents. La utilització d'aquests coberts, a través del temps, va portar, tanmateix, a una lenta però gradual acumulació de plata a l'organisme, fins a desenvolupar lleus manifestacions d'argíria —nom que prové de l'argent, la plata—, una malaltia que es manifesta per una coloració blavosa de la pell.

Tornem al viatge de l'oxigen per l'interior del nostre cos. El seu objectiu final, quan és transportat a través de la sang, és subministrar energia. Aquesta s'obté de la combustió dels sucres, que genera diòxid de carboni i

aigua, que és en essència el procés de respiració. És curiós perquè la reacció primària d'obtenció d'energia és, doncs, una combustió. Això ja ho va demostrar Lavoisier, a finals del segle XVIII, a partir de la comparació de pesades, extraordinàriament precises, entre els productes de la respiració i els de la combustió. Un procés, el de la respiració, s'associa al manteniment de la vida, mentre que l'altre, la combustió, s'associa literalment a destrucció.

Com s'explica, això? Bé, en primer lloc perquè, tot i que els processos parteixen de les mateixes substàncies, que en química anomenem *reactius*, i donen els mateixos productes finals, les etapes intermèdies són completament diferents. De fet, la clau són els productes intermedis; en parlarem més endavant.

Aquí volem ara emfasitzar un altre aspecte: la respiració, l'obtenció d'energia a partir de l'oxigen, no és un procés exempt d'efectes secundaris. Per tant, no és completament segur. Fins ara hem explicat alguns dels arguments que justifiquen la importància de l'oxigen per al funcionament dels éssers vius. Però la realitat és que tractar amb oxigen no està lliure de perills. Per exemple, si la respiració transporta massa oxigen, es pot acabar patint un efecte semblant al que causa la radiació. En particular, l'oxigen genera amb facilitat radicals lliures. Ja hem analitzat, a la part II, que els radicals són substàncies en les quals el nombre d'electrons que contenen és imparell, motiu pel qual són especialment reactives, gràcies al fet que el magnetisme dels electrons no queda compensat.

En el nostre cas, els radicals lliures que es formen són espècies químiques que provenen del mateix oxigen, però amb electrons desaparellats. Aquestes substàncies s'identifiquen com l'ió superòxid ($\cdot\text{O}_2^-$) o el radical hidroxil ($\cdot\text{OH}$). El primer s'obté quan l'oxigen molecular captura un electró addicional, mentre que el radical hidroxil, una substància molt important en química atmosfèrica, prové d'una transformació més complexa. Primer, la molècula d'oxigen es trenca i forma dos àtoms d'O, i després, un d'aquests àtoms captura un àtom d'hidrogen.