

Álvaro Martínez

sensefronteres

# L'oxigen

Història íntima  
d'una molècula corrent

Premi  
Europeu  
de Divulgació  
Científica  
Estudi  
General



## PREFACI

«El subjecte del cas que descriuré a continuació, el vaig trobar per casualitat al carrer. Era un home d'uns seixanta-cinc anys, amb un notable posat atlètic. L'agitació de les seues extremitats –i fins i tot del cap i del cos sencer– era tan gran que havia esdevingut un tremolor general. Era completament incapaç de caminar; tenia el cos tan encorbat i el cap tan dirigit cap avant, que aquella postura l'obligava a avançar en una cursa contínua, fent servir el seu bastó cada cinc o sis passes [...]. Segons que deia, havia sigut mariner i atribuïa la seua malaltia al fet d'haver estat confinat en una presó espanyola uns quants mesos, al llarg dels quals havia dormit sobre el terra humit i nu. [...] Ara era un pobre captaire, que necessitava una atenció mèdica que no es podia permetre.» D'aquesta manera es va documentar per primera vegada, en l'*Assaig sobre la paràlisi tremolosa*, la malaltia de la Shaking Palsy, la qual afectarà aproximadament l'1% de vostés, estimats lectors que tenen aquest llibre en les mans.

Encara que, ben mirat, és normal que aquest nom no els resulte familiar en absolut. La terminologia original no va tardar a ser abandonada i es va substituir pel cognom britànic del descobridor –metge de professió, agitador polític per vocació. Amb el pas del temps, la Shaking Palsy havia de ser més coneguda com la malaltia de Parkinson.

Un detall que aquest metge no va saber mai és que el seu treball, publicat al Londres previctorià de 1817, estava íntimament relacionat amb el descobriment que, algunes dècades abans, havien donat a conèixer al món Scheele, Priesley i Lavoisier.

Quaranta anys abans que James Parkinson publicara el seu assaig, a les portes de la Revolució Francesa, tres experiments realitzats en paral·lel en diferents països i amb diferents procediments, generaren una d'aquelles rares coincidències que, de vegades, passen en la història. Cadascun dels assajos va arribar a un mateix resultat: l'obtenció d'un nou gas, incolor però extremadament inflamable. Sense pretendre-ho, acabaven de descobrir un nou element químic; un element que havia de tindre una importància fonamental en la malaltia de Parkinson. Entre 1771 i 1775, el farmacèutic suec Scheele, el clergue britànic Priesley i el revolucionari francès Lavoisier identificaren per primera vegada, i de manera –més o menys– independent, l'element que denominaren *aire de foc*, *aire desflogistitzat* o oxigen.

Havien de passar encara dos segles fins que es descobriera un fil que connectara els dos conceptes: l'oxigen, a pesar de la seua importància biològica, pot ser també un element extremadament tòxic. I és aquesta toxicitat la que, en el cas d'actuar sobre el teixit cerebral, pot arribar a causar malalties de tipus neurodegeneratiu, com ara el Parkinson.

D'un llibre que tracta sobre l'oxigen, es podria esperar que començara parlant-ne del descobriment, de l'origen. Sobre com els treballs de Lavoisier desmentien Aristòtil i els seus

quatre elements, sobre com algun dels seus descobridors va morir negant-ne l'existència –Priesley–, o sobre com omplia els buits –d'una altra manera inexplicables– el fet que existira un gas ignorat fins aquell moment i que acabaríem coneixent amb el nom d'oxigen.

No és el cas del llibre que el lector té a les mans. Ací no n'explicarem la història. I no perquè l'origen d'aquest element no tinga interès o perquè el seu descobriment no tinguera gens de transcendència, més aviat al contrari: el seu descobriment va ser clau per a l'abandonament definitiu de l'alquímia i el naixement de la química moderna. L'oxigen va representar per a la química allò que l'efecte fotoelèctric o la caixa negra foren per a la física quàntica: la llavor d'una nova ciència.

El motiu per a ignorar aquesta història és, més aviat, que l'aspiració és que aquest llibre arribe a ser un compendi de rareses de l'oxigen molecular, semblant a un gabinet de curiositats del segle XVIII. Que aporte llum als racons que han quedat amagats, al marge de l'estudi general. Sospesar les investigacions, els tractaments mèdics que han posat en qüestió tot allò que crèiem saber. Mostrar els aspectes extraordinaris que amaga una de les molècules més comunes que podem trobar.

Des de l'escola, tots sabem què és l'oxigen. Amb més o menys profunditat, tots hem estudiat que és un gas, que constitueix aproximadament el 21% de la composició de l'aire que respirem, que el consumim durant la respiració i que són els organismes fotosintètics, com ara les plantes o el fitoplàncton oceànic, els encarregats de restituir-lo a l'atmosfera.

Potser ens resultarà menys conegut l'origen de l'oxigen al nostre planeta: originàriament, l'atmosfera no contenia la mateixa quantitat d'oxigen que ara sinó que, l'actual, és majoritàriament d'origen biològic. De fet, els primers dos mil milions d'anys de vida en la Terra (aproximadament) van transcórrer sense aquest element. Va ser mitjançant la fotosíntesi oxigènica (duta a terme per cianobacteris i, posteriorment, per plantes i algues) com l'oxigen va anar acumulant-s'hi fins a assolir més o menys les concentracions que podem trobar hui.

Un detall que no solem conèixer és fins a quin punt aquest compost fa un paper fonamental en el desenvolupament de les malalties com l'Alzheimer o el Parkinson, com ha contribuït a formar el nostre imaginari mitjançant la reconstrucció de figures mitològiques, com els vampirs, o de quina manera el podem utilitzar –en combinació amb màquines de dimensions moleculars– per a eliminar tumors amb una precisió per a la qual el qualificatiu *quirúrgica* es queda curt.

De vegades, ocorre que, per a conèixer de veritat un compost, una substància química, no podem anar directament al moll de l'os ni tampoc n'hi ha prou a veure el seu costat més corrent, el que sol mostrar habitualment. Ben al contrari, s'hi han de recórrer els límits i passejar pel costat més extern. Per conèixer-lo de veritat, cal temptar-lo i posar-lo a prova. No n'hi ha prou a conèixer la imatge que sol mostrar, el seu perfil més comú, sinó que cal penetrar en les rareses que pretén amagar. I en aquest cas, no hi ha rareses més grans que les conegudes com a espècies reactives d'oxigen. A aquestes rareses hem dedicat el llibre.

1  
SOBRE LES DIFERENTS MANERES  
DE CREAR LLUM

16 de juliol de 1969. Costa atlàntica de Florida. Estats Units. En una atmosfera enrarida pel fum del tabac, unes desenes d'homes atenen, en un silenci perfecte, el rellotge que enfront seu inicia un compte arrere. Tres minuts. Al fons de la sala de control de la missió Apollo 11, la que havia de portar l'ésser humà a trepitjar per primera vegada el seu satèl·lit, el supervisor del llançament enumera en veu alta els paràmetres que cal comprovar. En resposta a cada pregunta, el tècnic corresponent respon amb un simple «ready».

A la part noble de la sala, a la zona més elevada i a l'esquena de la resta dels tècnics, els responsables de la missió estan amerats d'una suor freda enmig del calorós juliol mig tropical. Entre ells, a la segona fila, hi ha un alemany. Fill dels barons de Wirsitz i antic membre de les Schutzstaffel nazis –les ss–, ara és director del Centre de Vol Espacial Marshall de la NASA. La seua mirada, com la dels altres, se centra en l'enorme pantalla que presideix la sala i que mostra el coet que enlairarà Aldrin, Collins i Armstrong. Però els seus ulls miren la nau sense veure-la, la seua atenció es fixa uns metres més avall, en l'enorme míssil que haurà de propulsar la càpsula amb els astronautes.

## *Química en l'era espacial*

El *Saturn V*. Un dels colossos de majors proporcions creats per l'home. El coet que havia de permetre als Estats Units, per fi, superar la Unió Soviètica en la cursa espacial, avançar les sondes Sputnik, la llegenda de Iuri Gagarin, de Valentina Tereixkova. 110 metres d'altura, 10 d'amplària. 3.000 tones de pes; un tità capaç de portar fins 118 tones a l'òrbita terrestre baixa: una de les màquines més impressionants de la història humana.

El *Saturn V* era el coet impensable. Ben pocs havien gosat de concebre'l i, encara menys, havien tingut el valor d'intentar construir-lo, tot i que era necessari per a poder liderar la cursa espacial. Però, per damunt dels que ho intentaren i fracassaren, més enllà dels que ho van aconseguir massa tard, hi va destacar una figura. Aquell 16 de juliol, les tres paraules que formen el nom de l'alemany acabarien gravant-se en la història de l'aeronàutica i esborrant, així, el record de tots els que havien fracassat abans: el seu nom era Wernher von Braun.

Poques persones són capaces de concebre idees situades just en la frontera de la imaginació, allà on les idees absurdes i les possibles allarguen els dits per tocar-se. Als qui ho aconseguen, els solem anomenar visionaris. I, entre ells, encara n'hi ha menys que tinguen la capacitat de dur-les a terme. Aquests són els genis i a ells pertany la història.

Durant segles, va ser impossible construir la cúpula del Duomo de Florència. No hi havia arbres suficients a tota la Toscana per a construir les bastides necessàries, ni diners per a finançar aquella bogeria, ni disseny capaç de suportar

aquell pes. El Duomo, simplement, es quedaria incomplet per sempre més.

Fins que va aparéixer un enginyer, un home eixut, amb els cabells escassos i curt d'estatura. Un arquitecte que, a més, dominava les matemàtiques. Allà que es va fer present Filippo Brunelleschi, amb a penes quaranta-un anys, davant del comitè de nobles florentins, arrossegant un model fet amb fusta que plantejava una solució impossible. La proposta impensable que, alhora, resolía tots els problemes.

La idea d'aquell geni tardaria dèsset anys a construir-se. El 25 de març de 1436, el dia de Cap d'Any, segons el calendari florentí, el papa Eugeni IV va consagrar Santa Maria del Fiore i, sota la seua cúpula immensa, va dir missa. Sis segles després, aquesta cúpula encara és una de les obres d'enginyeria més importants ideada per la humanitat.

A la mateixa altura que el disseny d'aquesta cúpula està –literalment– la del *Saturn V*, el colós del cel. I com la primera, també la idea del coet va ser l'obra d'un geni.

La concepció del *Saturn V* es va forjar en la ment d'una figura mítica de l'aeronàutica, el doctor Von Braun; un home obsedit amb el disseny de coets. Als anys quaranta, va inventar els míssils amb què l'exèrcit alemany va bombardejar Londres durant la Segona Guerra Mundial, els V-2. Vint anys després, treballava per als Estats Units dissenyant els coets del seu programa espacial. Coets i míssils són, al cap i a la fi, sinònims, l'ús dels quals varia segons el context.

Amb el *Saturn V*, Von Braun va solucionar un dels grans –i nombrosos– problemes que plantejava la missió encarregada per John Fitzgerald Kennedy, 35é president dels Estats



Units d'Amèrica, al seu famós discurs de 1962: «Hem triat anar a la Lluna».

El repte que calia superar era immens. Un projecte com n'hi ha hagut pocs en la història. «Si els dic, conciutadans, que enviarem a la Lluna, a uns 384.400 km de l'estació de control de Houston, un coet gegant de més de 90 metres d'altura (la longitud d'aquest camp de futbol americà), fabricat amb nous aliatges de metalls, alguns dels quals encara no s'han inventat, capaç de suportar temperatures i tensions que multipliquen unes quantes vegades les que s'han experimentat fins ara, amb peces acoblades amb una precisió superior a la del rellotge més perfecte, que portarà dins tot l'equipament necessari per a la propulsió, orientació, control, comunicacions, alimentació i supervivència, en una missió sense assajar, a un cos celestial desconegut, i que ho tornarem tot sa i estalvi a la Terra, després d'haver tornat a entrar a l'atmosfera a velocitats superiors als 40.000 km per hora, que provocarà una calor d'una temperatura més o menys com la meitat de la temperatura del sol (quasi tanta calor com la que fa hui ací) i que ho farem, i ho farem bé, i que ho farem els primers, abans que acabe aquesta dècada... Aleshores hem de ser valents».

No s'havia triat la Lluna perquè era un repte senzill sinó perquè presentava una gran dificultat. Una dificultat que el convertia en un projecte quasi impossible d'acomplir.

A l'èxit d'aquesta missió va contribuir de manera decisiva el *Saturn V*, i no només pel seu disseny. A l'interior, un immens treball d'investigació química resplendia amb llum pròpia.

El repte: trobar una substància la combustió de la qual permetera enlairar 3.000 tones de pes fins més enllà de l'atmosfera terrestre. En altres paraules, calia inventar un combustible que, en ser cremat, alliberara una quantitat tan gran d'energia que permetera al colós escapar de l'atracció terrestre.

S'invertiren milions en la investigació. Es van provar centenars de mescles. Químics de vint països van treballar junts en una gesta que, com tantes altres, seria eclipsada per les dimensions del projecte i l'èxit que assoliria. Al final, la solució es va mostrar clarament davant dels seus ulls.

El combustible triat va ser un refinat del querosé, una forma extremadament pura de petroli. I, en combinació amb el querosé, l'element clau, el que va fer realment eficaç la combustió, el que va permetre l'enlairament: l'oxigen líquid. 300.000 litres d'oxigen líquid.

A les 13:32 hores (GMT) del 16 de juliol de 1969, els motors del *Saturn V* entraven en ignició. La mescla de querosé i oxigen en flames, l'enlairament de la bèstia, va fer estremir el terra amb tanta intensitat que el tremolor es va poder notar a desenes de quilòmetres a la redona. Pocs segons després, el cel d'aquell dimecres de juliol va ser tallat per una flama de centenars de metres de longitud i milers de graus de temperatura.

Va ser d'aquesta manera com un equip d'enginyers dirigits per un alemany de cinquanta-set anys, exmembre de les SS, segon fill d'una família de barons del derrotat imperi alemany, va posar l'home on, abans, només havia pogut somiar que hi seria.

## *En la mescla hi havia la clau*

Usar oxigen líquid com a combustible. No sembla, *a priori*, una idea massa ortodoxa i, de fet, a ben pocs se'ls acudiria esmentar aquest compost en la llista dels combustibles més comuns. Però la veritat és que, d'una manera o d'una altra, la mescla d'oxigen i querosé s'utilitza des dels anys cinquanta en l'aeronàutica espacial. Els primers satèl·lits artificials foren enlairats pels anys cinquanta amb l'ajuda d'oxigen líquid, les naus Soiuz russes que, al començament dels 2000 posaren en òrbita els satèl·lits de posicionament Galileu (el GPS europeu), s'impulsaren amb oxigen líquid, i fins i tot en els nostres dies, l'empresa de transport espacial d'Elon Musk (SpaceX) utilitza aquest compost als seus Falcon.

Però, per què oxigen líquid? Què fa aquest compost tan especial?

És clar per què utilitzem el querosé: n'extraiem l'energia. Aquest compost emmagatzema una gran quantitat d'energia que pot alliberar, guardada a l'interior de cadascuna de les seues molècules que funcionen com depòsits energètics diminuts. En trencar aquestes molècules, tota la calor que concentren s'allibera.

Però, aleshores, en quin punt participa l'oxigen? La veritat és que, a pesar de considerar-se com un dels combustibles utilitzats, aquest compost no forma part de la matèria que es crema sinó que, en certa manera, és allò que crema. Expliquem-nos.

Com ja hem esmentat, el querosé –com la gasolina, la nafta o el gas natural– és en realitat una mescla de molècules de longitud variable. Cadascuna d'aquestes molècules es pot entendre com una cadena d'àtoms units entre ells

mitjançant enllaços. Però el detall interessant és que cadascun d'aquests enllaços funciona com un minúscul depòsit d'energia; i en el cas que l'enllaç es trenque, l'energia és alliberada. La conclusió és evident: com més gran siga la longitud de la cadena d'àtoms que forme la molècula de combustible, més energia contindrà al seu interior.

Quan cremem querosé als propulsors espacials, gasolina al nostre cotxe o gas natural a les nostres cuines, allò que estem fent en realitat és trencar aquestes molècules. I en desfer-les, l'energia que guardaven és alliberada en forma de calor. En altres paraules, el foc que veiem als foguers només és el producte de trencar milions de molècules alhora, de partir els enllaços que les constitueixen.

I què utilitzem per a trencar els enllaços? Efectivament: l'oxigen. Aquest és el procés que habitualment anomenem combustió o crema, tot i que en llenguatge químic l'anomenem oxidació (no ens jutgen: hi ha massa reaccions que cal anomenar i la imaginació arriba fins on arriba).

En definitiva: l'oxigen només és la ferramenta que utilitzem per a partir les molècules.

En cuinar, amb l'oxigen que hi ha a l'aire en tenim prou i massa per fer cremar el gas natural; al cap i a la fi, una quarta part de la nostra atmosfera està formada per aquest compost. Però quan volem enlairar una nau espacial, la història canvia. En aquest cas necessitem cremar una quantitat tan elevada de combustible en un interval de temps tan reduït que amb l'oxigen que ens proporciona l'atmosfera no en tenim prou: en necessitem un flux molt més gran. Per això cal disposar d'un estanc amb 300.000 litres d'oxigen líquid, un gas condensat al voltant dels 200 graus sota zero.

La combustió a gran escala de querosé amb oxigen líquid que va portar l'home a la Lluna, en realitat es diferencia ben poc, químicament, de la crema de carbó que produïa el moviment de les locomotores de vapor o, fins i tot, de les fogueres que mantenien viu l'*Homo sapiens* primitiu a les coves de Cromanyó, al sud-oest francès.

Més encara, la diferència és mínima fins i tot si la comparem amb la manera con nosaltres mateixos extraiem l'energia dels aliments. També nosaltres utilitzem l'oxigen, a l'interior de minúsculs reactors situats dins de cada cèl·lula, denominats mitocondris, per a oxidar, o cremar, els sucres.

D'aquesta manera és com obtenim l'energia necessària per a dur a terme la majoria dels processos biològics. Per això, de fet, respirem: per a introduir oxigen a l'interior del nostre organisme i continuar obtenint energia. L'oxidació, en definitiva, és una reacció d'allò més corrent.

En aquests quatre exemples fem servir l'oxigen per a trencar la matèria orgànica i obtindre'n així l'energia necessària, bé siga per a enlairar una nau de 3.000 tones, perquè un tren pugui transportar mineral de ferro de la mina a la siderúrgia o, simplement, per a aixecar una cama. I això només és possible per una característica fonamental d'aquest compost: la seua enorme –i potencial– reactivitat, el seu immens poder per a destruir tot allò que és orgànic, la matèria viva.

«Espera un segon», podria argumentar algú. «Com seria possible això? “Enorme reactivitat de l'oxigen”? Però no acabes de dir que la quarta part de la nostra atmosfera és oxigen? Nosaltres mateixos estem nadant en oxigen! Si fora tan reactiu, no hauríem d'estar encesos en flama ara mateix?»

Bé, això seria cert si no fora per la segona característica que, combinada amb la primera, fan únic l'oxigen: la seua estabilitat. La seua enorme –i beneïda– estabilitat. Amb un exemple, això s'entendrà millor.

### *Una història de llum i sabó*

Enormement reactiu i molt estable. Curiosa combinació, tot i que, no representa una contradicció? Com pot un mateix compost, una mateixa substància, ser molt reactiva però, alhora, no reaccionar? Bé, tot depén de la característica en què ens fixem.

En 1999 David Fincher va estrenar *Fight Club*, una pel·lícula basada en el llibre homònim de Chuck Palahniuk. En la pel·lícula, un joveníssim Brad Pitt que acabava d'eixir de *Coneixes Joe Black?* encarnava Tyler Durden, un *particular* venedor de pastilles de sabó. «Tyler venia sabó als grans magatzems a 20 dòlars la pastilla. Déu sap a quin preu les devien vendre ells. Era meravellós. Reveníem a les dones riques els seus mateixos culs cel·lulítics.»

El cas és que aquelles pastilles, d'un color rosa intens, fabricades amb el greix que sobrava a les clíniques de liposucció, es convertirien en una imatge icònica del film. Amb aquelles pastilles es tancava una mena de cercle irònic: les víctimes de la denominada teoria de la perfecció a la qual s'oposava el protagonista, acabaven utilitzant per a la seua cura personal les mateixes deixalles que prèviament els havien extirpat a les clíniques. I, alhora, els beneficis de la venda servien per a finançar el club. Això que hem dit: un cercle perfecte.

Encara que, si hem de triar una referència del film que ha passat a la cultura pop, és, sens dubte, la primera de les normes que enuncia Tyler: no parlar mai del club de la lluita. No en parlem més, per tant, i centrem-nos en un dels elements que més criden l'atenció en aquesta pel·lícula: l'ús de la química. I és que, en *El club de la lluita*, allò que més interessa Tyler i companyia del negoci del sabó no són els sucosos beneficis que reporta –tot i que tampoc no els fan ois, tot cal dir-ho–, sinó un dels subproductes de la síntesi del sabó: la glicerina.

Amb greix i sosa es produeix el sabó, però també es genera una deixalla coneguda amb el nom de glicerina. Una cosa que sap poca gent –encara que sí que la sabia Tyler– és que amb la glicerina i una miqueta de gràcia per a la química, tindrem a les nostres mans un conegut explosiu: la nitroglicerina. Un compost la volatilitat del qual tots coneixem per mil referències cinematogràfiques, però l'origen del qual, a partir dels greixos i de l'oli, és generalment insospitat.

Qui podria intuir que, darrere del greix, s'amaga un explosiu? Només cal partir una molècula d'oli pel lloc adequat per a obtindre el precursor d'un potent explosiu. És a dir, si li apliquem els canvis adequats, transformem un compost estable i innoeu en un altre d'enormement reactiu.

Passa igual amb l'oxigen: mitjançant una lleugera transformació química, podem passar de l'oxigen molecular (estable, molt poc reactiu, atòxic) al radical hidroxil o al superòxid (tòxics amb ràbia). Només cal afegir-hi algun hidrogen, introduir-hi algun electró més. Aplicant un mínim canvi d'estructura, alliberem tot el seu poder.