

Repercussió i valoració de l'assaig eudiomètric d'Antoni de Martí i Franquès a principis del segle XIX

PERE GRAPÍ

Centre d'Història de la Ciència. Universitat Autònoma de Barcelona

1. INTRODUCCIÓ

L'estudi seminal que va dur a terme Antoni Quintana i Marí sobre la vida i l'obra d'Antoni de Martí i Franquès (Quintana, 1935) ha restat com a obra de referència de la història de la ciència del segle XVIII del nostre país. No obstant això, una primera aproximació a l'obra científica de Martí es va produir el 1932 en els actes d'homenatge a la seva persona, celebrats a Tarragona, en commemorar-se el primer centenari de la seva mort (Quintana, 1932, p. 100-111).¹ Mig segle després, la commemoració el 1982 del 150è aniversari de la mort de Martí va revifar una recapitulació de la seva obra científica (Ajuntament de Tarragona, 1985) i la revisió de la seva biografia (Rovira, 1982).

Martí dedicà bona part de la seva recerca als àmbits de la fisiologia vegetal i la química pneumàtica, en què va ser reconegut per haver-hi aportat un assaig eudiomètric per determinar la composició de l'aire atmosfèric. Durant les primeres dècades d'aquest segle, algunes de les seves contribucions a la fisiologia vegetal han estat reconsiderades sobre temàtiques concretes, com la reproducció sexual de les plantes (Bernat, 2011) i la generació espontània (Camós, 2013a). A més, han sorgit altres mirades a l'obra de Martí més enllà de la fisiologia vegetal, com ara la seva contribució a particulars problemes mèdics (Camós, 2016b i 2018), les seves posicions sobre l'evolucionisme (Camós, 2016a) i propostes científiques controvertides des del punt de vista de la religió catòlica (Camós, 2013b).

Per altra banda, les contribucions de Martí a la química de l'aire no han merescut, potser, tanta atenció com les dedicades a les temàtiques abans esmentades. Així, la commemoració el 1994 del segon centenari de la mort de Lavoisier va estimular aproximacions a la figura de Martí en el context de l'impacte de la química de l'oxigen a la Catalunya il·lustrada (Nieto-Galan, 1996; Altemir, 2000; Grapí, 2001). La reedició facsimil el 2011 de l'article de Martí del 1795 va contribuir de forma excel·lent a fer assequibles uns documents valuosos de la història de la química (Grau i Bonet, 2011). L'estudi introductori d'aquesta obra està en bona part dedicat a la pre-

1. En aquest mateix exemplar de la revista *Ciència* en què hi ha l'article d'Antoni Quintana s'hi poden trobar altres aportacions sobre l'obra científica de Martí i Franquès: Pius Font i Quer (botànica), Josep Estalella (física i meteorologia) i Enric Moles (química).

sentació de l'eudiòmetre de Martí en el context de l'interès existent en el darrer quart del segle XVIII per la determinació de la bonesa o salubritat de l'aire comú. La continuació d'aquest article pretén estudiar les vicissituds per les quals va passar l'assaig eudiomètric de Martí.

2. LA QÜESTIÓ DE LA BONESA DE L'AIRE

L'interès per determinar la bonesa de l'aire té el seu origen en una tradició higienista que atribueix a l'aire atmosfèric la capacitat de ser portador d'exhalacions perjudicials per a la salut. Restes putrefactes de vegetació i d'animals i aigües estancades emetien, presumiblement, aquestes exhalacions tòxiques. En resum, entorns pútrids generaven aires en mal estat que esdevenien nocius. La propagació de malalties s'explicava, en primer lloc, per una causalitat climàtica que predisposava els éssers vius a la malaltia, seguida de la presència d'un miasma² (aire fètid) casual que podia afectar una composició humoral afeblida.³ Aquesta era una creença arrelada en la tradició hipocràtica que instava els metges a diagnosticar malalties considerant la influència dels factors meteorològics i ambientals (Beretta, 1995, p. 17-18).

El metge anglès Thomas Sydenham (1624-1689) va actualitzar aquesta tradició hipocràtica en el segle XVII en distingir entre les malalties agudes a causa de qualitats perceptibles de l'aire i les malalties epidèmiques que generaven canvis ocults i inexplicables a l'atmosfera. L'estacionalitat d'algunes malalties el va dur a concebre un projecte per a una història natural sistemàtica de la malaltia que havia de proporcionar la base d'un programa d'observació col·lectiva de l'aire. Aquest programa es va desenvolupar durant el segle XVIII amb l'objectiu d'establir correlacions entre l'aparició de malalties i les característiques climàtiques locals (Hannaway i Hannaway, 1977, p. 182-183). En general, la principal preocupació de la pràctica mèdica era determinar els efectes dels aires que constituïen permanentment o accidentalment l'aire atmosfèric sobre els cossos de persones i animals. A més, els metges aspiraven a trobar aquelles combinacions d'aire que afectaven la salut animal tant per disminuir-ne els efectes com per evitar que causessin malalties.⁴

Sigui quin sigui l'enfocament que s'adopti sobre la qüestió de la bonesa de l'aire, no es pot negligir la visió teòrica que es tenia aleshores sobre la naturalesa de les substàncies aèries; és a dir, l'estat gasós. La història dels gasos ho és tot menys simple, atès

2. Del grec antic *Μίασμα*.

3. Des d'Hipòcrates (segle V aC) a Galè (segle II dC), la medicina humoral va reforçar les analogies entre els quatre elements aristotèlics i els quatre humors corporals (sang, flegma, còlera o bilis groga i bilis negra), l'equilibri entre els quals determinava l'estat de salut. La higiene era vital per mantenir una constitució equilibrada i el paper de la medicina era el de restablir aquest equilibri quan es pertorbava.

4. Per exemple, l'àlcali volàtil (amoníac) en les exhalacions de les latrines, els fums (tabac, goma, resines, etc.) i perfums diversos.

que consisteix en una combinació de confluències complementàries. Les operacions químiques antigues, destil·lacions sobretot, van proporcionar evidència de la incoercibilitat dels gasos; és a dir, la seva característica inherent que revelava l'extrema dificultat per recollir-los i que va acabar plantejant un obstacle epistemològic: allò que no es podia manipular difícilment podia ser comprès. A banda de considerar els gasos com a productes essencialment incoercibles dels canvis químics, els filòsofs naturals també els van percebre bàsicament com a aire atmosfèric. Així, Robert Boyle (1627-1691) va caracteritzar l'aire per la seva transparència i la seva propietat de ser compressible i expansible, en altres paraules, la seva elasticitat. Per altra banda, els diferents gasos, o tipus d'aire, els considerava com a aire atmosfèric en graus diferents de puresa, portadors de partícules salines o àcides que alteraven la seva elasticitat (Crosland, 2000, p. 80-86).

Aquesta puresa de l'aire atmosfèric també es va associar amb aquelles exhalacions o miasmes continguts en l'aire comú que no tan sols el feien més o menys impur i inelàstic, sinó que també eren perjudicials per a la salut. En aquest sentit, animals petits —com ara ratolins i ocells— es van convertir en els detectors habituals de la bonesa (és a dir, respirabilitat) de qualsevol aire. Boyle va utilitzar la seva bomba de buit, descrita en els *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air, and its Effects* de 1660, per demostrar que l'aire era necessari per a la respiració, tot col·locant ocells i ratolins al receptor de la bomba, i observant com defallien fins a morir a mesura que s'eliminava l'aire del receptor.

El primer instrument per determinar la bonesa de l'aire —l'eudiòmetre— va ser dissenyat, precisament, amb la intenció de substituir els ratolins com a indicadors qualitius de la bonesa d'una mostra d'aire. No obstant això, l'objectiu d'aquesta innovació no era tan sols aconseguir una major precisió quantitativa, sinó, també, eliminar les molèsties de mantenir un estoc de ratolins en les condicions adequades.⁵ Com a dispositiu experimental, tots els eudiòmetres es basaven en el fet que la part respirable de l'aire atmosfèric es pogués extreure d'una mostra d'aire comú per l'acció d'una substància absorbent determinada. Aquestes substàncies absorbents podien ser materials sòlids (fòsfor, pasta humitejada de llimalles de ferro amb sofre o sulfur de potassi), solucions aquoses (de sulfat de ferro impregnades de gas nitrós i de sulfurs alcalins o de calci impregnades amb nitrogen) i substàncies gasoses com el gas nitrós i l'hidrogen. El 1790, quan el químic naturalista Antoni de Martí i Franquès (1750-1832) va presentar el seu propi eudiòmetre, una bona part d'aquests assaigs eudiomètrics s'estaven desenvolupant. Per tal d'entendre millor l'eudiòmetre de Martí és necessari conèixer els principis bàsics d'aquests assaigs.

5. Levere va idear l'expressió «ruta sense ratolins» (*mouse-free route*) com a breu explicació del significat d'aquest reemplaçament (Levere, 2000, p. 110).

3. VISIÓ ABREUJADA DELS ASSAIGS EUDIOMÈTRICS UTILITZATS ABANS DEL 1790⁶

La bonesa de l'aire es considerava inversament proporcional al seu contingut de flogist o, alternativament, proporcional a la quantitat de flogist que l'aire comú era capaç de capturar.⁷ En conseqüència, determinar la bonesa de l'aire equivalia a determinar el contingut de flogist. En el seu article de 1772, el filòsof natural Joseph Priestley (1733-1804) va proposar l'assaig de l'aire nitrós per comprovar la bonesa d'una mostra d'aire. No obstant això, no va presentar una descripció d'aquest assaig fins al 1774 en el primer volum dels *Experiments and Observations* (Priestley, 1772, p. 210-225 i 250-252; 1775, p. 20-21). Priestley va idear aquest assaig prenent com a base una referència de Stephen Hales (1677-1761) en la seva obra del 1738 *Statical Essays*. L'assaig es basava en la disminució de volum que experimenta una mostra d'aire quan es mescla amb l'aire nitrós (òxid nítric).⁸ El dispositiu eudiomètric de Priestley aviat es va convertir en una font d'inspiració per a altres interessats en la determinació de la bonesa de l'aire, com el professor de física experimental a Milà Marsilio Landriani (1751-1815) i Felice Fontana (1730-1805), metge del gran duc de Toscana. El març del 1775, Landriani va presentar un aparell que feia operatiu el dispositiu experimental de l'assaig de l'aire nitrós de Priestley i va ser el mateix Landriani qui va proposar el nom de *eudiòmetre* per a aquest tipus d'instrument (Landriani, 1775, p. 3, 6-9 i 70-71).⁹ Fontana va fer conèixer, quasi simultàniament, el disseny de vuit «macchinette» que havien d'operar com eudiòmetres. No obstant això, hi ha seriosos dubtes sobre si aquests instruments es van construir realment i, sobretot, si podien funcionar i com. Tanmateix, hi ha proves que almenys un d'ells es va construir (Fontana, 1775).¹⁰ Després d'aquests primers eudiòmetres de Landriani i Fontana, el procés d'instrumentalització de l'assaig de l'aire

6. Pel que fa a l'eudiometria, no hi ha hagut gaire fonts per abordar-ne l'estudi històric. A part de l'exposició general d'*A History of Chemistry* (Partington, vol. 3, 1961-1970), cal considerar els articles i monografies següents: Benedict, 1912, p. 3-68; Watermann, 1968; Levere, 2000; Boantz, 2013, p. 145-170. Per a una visió més extensa i contextualitzada dels diferents eudiòmetres i assaigs eudiomètrics existents durant el segle XVIII i XIX, vegeu Grapí, 2019.

7. Durant l'últim quart del segle XVIII, les primeres especulacions sobre la naturalesa dels aires, com a variacions de l'aire atmosfèric, es van anar desenvolupant en termes de la teoria del flogist. Els gasos no varen ser els únics fluids subtils i invisibles; el flogist també apareix en una llista d'aquests fluids juntament amb el magnetisme, l'electricitat, la calor i la gravetat. Els químics creien que el flogist era un fluid intangible, impossible de manipular, alliberat en les combustions.

8. Aquest fenomen ja havia estat observat per John Mayow (1641-1679) el 1674 i descrit pel mateix Stephen Hales en un anterior treball (*Vegetal Statics*) de 1727. Les reaccions que es produeixen en aquest assaig, dut a terme sobre aigua, són equilibris químics interdependents (Usselman *et al.*, 2008, p. 107). En condicions estequiomètriques ideals el procés global seria: $6 \text{ NO (g)} + 2 \text{ O}_2 \text{ (g)} + 3 \text{ H}_2\text{O (l)} = 5 \text{ HNO}_2 \text{ (aq)} + \text{HNO}_3 \text{ (aq)}$.

9. La primera part del terme *eudiòmetre* prové del terme grec *εὐδιος*, que significa 'clima clar' o 'suau', però que també té el sentit de 'bon aire', atès que *διος* —que prové de *Zeus*— pot significar 'clima' o 'aire'. La segona part del terme *μέτρο* significa 'mesura'.

10. Al Museo Galileo de Florència es custodia una còpia incompleta d'una d'aquestes «macchinette».

nitrós va passar a mans de João Jacinto de Magalhães (1772-1790) a Anglaterra i de René-Louis Gérardin (1753-1808) a França. Molt aviat, però, l'eudiòmetre d'aire nitrós hauria de competir amb altres eudiòmetres: el basat en la combustió del fòsfor i el dissenyat pel filòsof natural italià Alessandro Volta (1745-1827).

Entre final del 1776 i principi del 1777, Volta va observar que després de detonar una mescla d'aire inflamable (hidrogen) —obtingut dissolent alguns metalls en determinats àcids— i aire atmosfèric, mitjançant una guspira elèctrica, el seu volum disminuïa. A partir d'aquesta observació, va fer conèixer el 1778 un prototip —extremadament senzill, enginyós i fàcil d'utilitzar— del que més endavant seria el seu eudiòmetre d'aire inflamable (Volta, 1778, p. 366, làmina III, figura 1; OV, vol. 6, p. 177-178).¹¹ No obstant això, el desenvolupament de l'eudiòmetre d'aire inflamable no va ser l'obra d'una sola persona. Volta va ser el seu dissenyador original i primer desenvolupador (Volta, 1779; OV, vol. 6, p. 185-215),¹² però la posterior evolució de l'instrument va estar també en mans d'altres científics com Monge, Senebier, Van Marum i Guyton de Morveau (figura 1). A més, el desenvolupament de l'instrument deu molt a la inestimable col·laboració de fabricants d'instruments i artesans com vidriers, ferrers i calderers.

Paral·lelament al desenvolupament de l'eudiòmetre de Volta va tenir lloc la incursió de l'eudiòmetre d'aire nitrós en altres àmbits de recerca. Aquest eudiòmetre es va convertir en quelcom més que un instrument per determinar la salubritat de l'aire, atès que es va començar a utilitzar per controlar experiments relatius a la fisiologia vegetal i la respiració animal. El metge neerlandès Jan Ingenhousz (1730-1799) va ser el representant més rellevant d'aquesta nova orientació. A l'estiu de 1779, Ingenhousz va redissenyar l'assaig de l'aire nitrós tant des del punt de vista instrumental com procedimental (figura 2), tot duent a terme un intens treball experimental sobre el fenomen de la fotosíntesi (Ingenhousz, 1779). A més, entre maig i novembre de 1783, Ingenhousz va utilitzar el mateix assaig eudiomètric per confirmar el fenomen de la respiració de les plantes.

Els darrers anys de la dècada del 1770 van ser força prolífics pel que fa al desenvolupament de l'eudiometria. El desenvolupament dels eudiòmetres d'aire nitrós i de Volta va anar acompanyat de l'aparició d'un nou eudiòmetre basat en la combustió del fòsfor. La incertesa sobre la qualitat de l'aire nitrós i inflamable, i la insensibilitat de l'eudiòmetre de Volta per a l'anàlisi de mescles gasoses molt oxigenades, van ser els principals motius pels quals, entre 1778 i 1784, el químic alemany Franz-Carl Achard (1753-1821) va considerar el fòsfor com a mitjà eudiomètric alternatiu.¹³ A més, va

11. La principal substància formada en l'explosió de la mescla gasosa és l'aigua: $H_2(g) + O_2(g) = H_2O(l)$.

12. La darrera i definitiva contribució de Volta al seu eudiòmetre es va produir el 1790 (Volta, 1790, 1791a i 1791b; OV, vol. 7, p. 177-209).

13. L'oxidació del fòsfor requereix un excés d'oxigen i produeix pentaòxid de difòsfor (P_4O_{10}). Aquest òxid blanquinós és molt soluble en aigua i, inicialment, es transforma en els àcids metafosfòrics $[(HPO_3)_n]$ que s'hidrolitzen per formar l'àcid ortofosfòric (H_3PO_4) i també, probablement, l'àcid pirofosfòric ($H_4P_2O_7$).



FIGURA 1. Eudiòmetre de Volta.

FONT: Cortesia de l'INS Francesc Ribalta, Castelló de la Plana.



FIGURA 2. Eudiòmetre d'Ingenhousz.

FONT: Exemplar del laboratori de Jacques Alexandre César Charles custodiat al Museu de les Arts i els Oficis, París, ©Musée des Arts et Métiers-CNAM, París, fotografia de M. Favareille.

considerar que els eudiòmetres d'aire nitrós i inflamable no eren suficientment portàtils per ser utilitzats en qualsevol localització fora del laboratori (Achard, 1780, p. 96-100; 1784, p. 37-40; 1786, p. 36-39). L'eudiòmetre de fòsfor va sorgir, doncs, en el context de l'eudiometria de camp i per solucionar les insuficiències dels eudiòmetres d'aire nitrós i inflamable. Durant els anys següents, el químic francès Henri-Paul-Irénée Reoul (1763-1839) i l'italià Giovanni Antonio Giobert (1761-1834) van continuar treballant en el desenvolupament de noves versions d'eudiòmetres de fòsfor portàtils (Reoul, 1788; Giobert, 1793, p. 59-75) (figura 3).¹⁴

A la darrera dècada del segle XVIII, la credibilitat de l'eudiòmetre d'aire nitrós estava suficientment compromesa per pensar que podia ser substituït pel de Volta, el del fòsfor o el dels sulfurs. Aquestes dues últimes substàncies, juntament amb la pasta humitejada de sofre amb llimalles de ferro, eren mitjans eudiomètrics amb un grau de puresa comparable i més manejables que l'aire nitrós. A més, els dispositius experimentals necessaris per realitzar aquests assaigs eren molt més assequibles que els eudiòmetres d'aire nitrós i el de Volta. L'arribada de l'eudiòmetre de fòsfor de Giobert i dels dispositius eudiomètrics dels sulfurs va suposar el restabliment de la simplicitat en els dissenys eudiomètrics.

Els assaigs eudiomètrics dels sulfurs i el de la pasta humitejada de sofre amb llimalles de ferro tenien els seus orígens en les recerques del químic i farmacèutic suec

14. A pesar que la descripció de l'eudiòmetre de Giobert es va publicar el 1793, la presentació de l'instrument havia tingut lloc l'any 1785 a la Societat Físico-Mèdica de Torí.

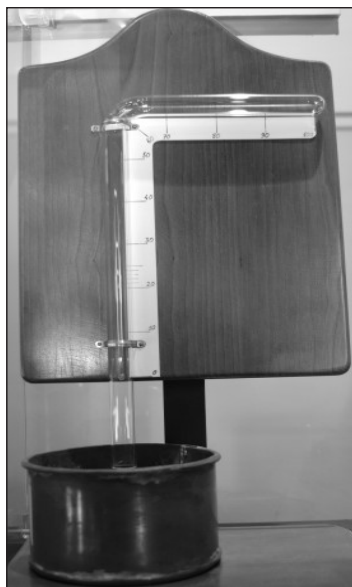


FIGURA 3. Rèplica de l'eudiòmetre de fòsfor portàtil de Giobert.

FONT: Cortesia del Centro Studi Lazzaro Spallanzani, Scandiano, fotografia de l'autor.

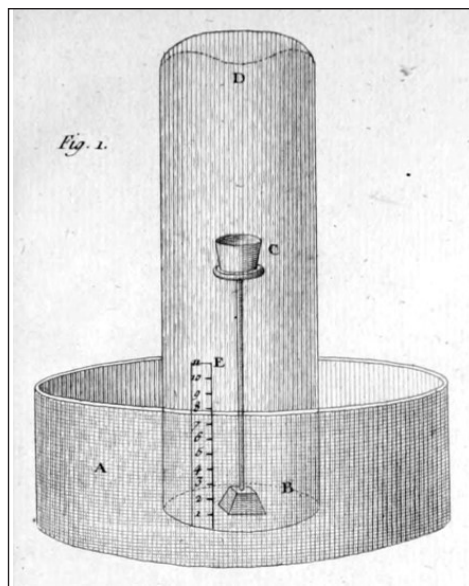


FIGURA 4. Dispositiu experimental de Scheele que utilitza una pasta humitejada de llimalles de ferro amb sofre com a agent eudiomètric.

FONT: *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts*, 1782, vol. 19, làmina 2, fig. 1.

Carl-Wilhelm Scheele (1742-1786). El 1777 Scheele va publicar la seva primera i única monografia *Chemische Abhandlungen von der Luft und dem Feuer* (*Tractat químic de l'aire i del foc*). Scheele va configurar un dispositiu experimental que es va convertir en una referència per als futurs assaigs eudiomètrics fonamentats en els sulfurs alcalins. L'assaig es basava en l'absorció d'oxigen per part del «fetge de sofre alcalí» que s'obtenia fent bullir sofre amb una solució saturada d'àlcals càustics com la sosa, la potassa o la cal viva (Scheele, 1780, p. 7-8 i 14; 1781, p. 52-54 i 60).¹⁵ Scheele hauria trobat en aquests experiments que l'aire comú contenia aproximadament entre un 20 % i un 30 % d'oxigen. La incertesa d'aquesta determinació va dur Scheele a elaborar un nou procediment eudiomètric, que va utilitzar al llarg de 1778. Aquest nou assaig eudiomètric es basava en l'absorció de l'oxigen atmosfèric mitjançant una pasta humitejada elaborada amb sofre i llimadures de ferro (figura 4). Finalment, Scheele (1782, p. 80-82) va arribar a la conclusió que l'aire atmosfèric sempre con-

15. Aquest «fetge de sofre» era una solució ataronjada formada principalment per polisulfurs alcalins que reaccionaven amb l'oxigen segons: $S_x^{2-} (aq) + 3/2 O_2 (g) = S_2O_3^{2-} (aq) + (x-2) S (s)$.

tenia, encara que amb alguna petita diferència, gairebé 9/33 parts d'oxigen, aproximadament un 27 %.¹⁶

Lavoisier va encoratjar l'ús dels assaigs dels sulfurs alcalins i del fòsfor de forma conjunta per determinar la qualitat de l'aire en diferents llocs, estacions i circumstàncies. El 1790, el químic i naturalista català Antoni de Martí i Franquès va introduir variacions significatives en l'assaig del «fetge de sofre» de Scheele.

4. TOT MILLORANT L'ASSAIG DELS SULFURS. L'EUDIÒMETRE D'ANTONI DE MARTÍ I FRANQUÈS

Antoni de Martí i Franquès va néixer a Altafulla, ciutat costanera de la província de Tarragona, en el si d'una família local de terratinents amb interessos industrials. Martí va ser bàsicament un autodidacte i, a més d'estudiar llatí i filosofia, també coneixia diversos idiomes europeus com el francès, l'anglès, l'alemany, el grec i l'italià. Al llarg de la seva vida va consolidar una notable biblioteca que incloïa les publicacions científiques europees contemporànies més importants, així com un gabinet on va dur a terme gran part del seu treball experimental. Va viure a la seva ciutat natal fins a l'any 1798, que es va traslladar a la ciutat de Tarragona, on va morir a l'agost de 1832. No obstant això, va passar llargs períodes de temps a Barcelona, on va entrar en contacte amb institucions científiques, i va ser elegit membre de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona el 1786.

Martí va dedicar bona part del seu temps a estudiar diversos temes científics. D'una banda, va adquirir coneixements sobre el medi natural, acumulant col·leccions geològiques i botàniques, i també sobre meteorologia. D'altra banda, va realitzar un treball experimental exhaustiu sobre l'estudi de l'aire comú i la reproducció de plantes, i també sobre altres temes com la fisiologia vegetal i la generació espontània. Està documentada l'existència de cinc memòries que Martí va llegir a institucions acadèmiques de Barcelona, dues de les quals estaven dedicades a l'estudi de l'aire atmosfèric que Martí havia iniciat al juny de 1786, una d'aquestes, la *Memoria sobre la cantidad de aire vital que se halla en el aire atmosférico y sobre varios métodos de conocerla*, va romandre inèdita fins al 1795, quan es va publicar al *Memorial literario, instructivo y curioso de la Corte de Madrid*.¹⁷ Les traduccions abreujades d'aquest article al francès i

16. El sofre i el ferro es combinen per formar sulfurs de ferro, les propietats dels quals varien segons les proporcions dels seus components. La pasta feta amb llimalles de ferro amb sofre i aigua ennegreix i pot arribar a inflamar-se. Aquest fenomen era el punt clau de la simulació dels anomenats *focs subterranis*, a partir d'antigues teories sobre la formació de volcans i terratrèmols. Al segle XVII, Nicolas Lémery va presentar les primeres conjectures sobre l'origen d'aquests focs. L'experiment també era descrit com el «volcà artificial de Lémery». Els sulfurs de ferro no estequiomètrics produïts en la pasta humitejada es combinen amb oxigen atmosfèric i donen òxid-hidròxid de ferro $[\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ i sofre.

17. Una transcripció i l'edició facsímil d'aquest article està publicada a Grau i Bonet (2011, p. 47-70 i 75-120). El manuscrit de l'altre article (*Sobre algunas producciones que resultan de la combinación de varias substancias aeriformes*), llegit el 24 de gener de 1787 a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de

a l'anglès van ser publicades respectivament al *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle* i al *Philosophical Magazine*. Una ressenya prou completa va aparèixer publicada també als *Annalen der Physik* (Martí, 1801a; 1801b; 1805).¹⁸

La memòria llegida el 12 de maig de 1790 a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona va ser fruit dels experiments eudiomètrics de Martí realitzats a mitjans de 1787 i es va escriure en termes de la química de l'oxigen. Martí coneixia perfectament les diferents proves eudiomètriques a l'abast en aquell moment (aire nitrós, sulfurs alcalins,¹⁹ pasta humitejada feta amb sofre i llimalles de ferro, aire inflamable i fòsfor). En aquell article Martí va examinar la idoneïtat i exactitud d'aquests assaigs eudiomètrics amb la intenció de presentar el seu propi dispositiu per a l'anàlisi de l'aire atmosfèric. Les determinacions considerades fiables per Martí semblaven demostrar que l'aire atmosfèric no contenia més del 30 %, d'acord amb Scheele, i no menys del 20 % d'oxigen, segons Cavendish.²⁰ Martí es va comprometre a reduir aquest marge d'incertesa.

Martí va concloure que la substància emprada per determinar la puresa de l'aire no havia de ser gasosa ni combustible. Per aquestes raons, no va proporcionar cap recomanació ni per als assaigs de l'aire nitrós i de l'aire inflamable (eudiòmetre de Volta) ni per a l'assaig del fòsfor (Martí, 1795, p. 274; 1801a, p. 175-176; 1801b, p. 252). Així doncs, Martí es va mostrar més confiat amb l'assaig de la pasta humitejada feta amb sofre i llimalles de ferro i amb l'assaig dels sulfurs alcalins (Martí, 1795, p. 348; 1801a, p. 176; 1801b, p. 253). No obstant això, atès que els resultats amb aquest darrer assaig sempre eren superiors als obtinguts amb l'anterior, Martí va afavorir utilitzar l'assaig dels sulfurs alcalins. Val a dir que aquesta decisió venia reforçada per

Barcelona, es va perdre, tot i que finalment se'n va localitzar una còpia a l'Arxiu Municipal de Tarragona (Quintana, 1935, p. 147). El manuscrit del tercer article (*El aire vital de las plantas y particularmente de la pita*), llegit durant dues sessions (10 d'octubre de 1787 i 27 de febrer de 1788) a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, es va perdre definitivament i només se n'ha conservat un petit resum de l'autor. Martí va llegir un quart article (*Experimentos y observaciones sobre el sexo y fecundación de las plantas*) els dies 28 de març, 4 d'abril i 20 de juny de 1791 a la Real Academia Médico-Práctica de Barcelona. El manuscrit de l'últim article de Martí (*Memoria sobre los productos de la mezcla de algunas substancias aeriformes*), llegit el 20 de juny de 1792 a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, també es va perdre i no se'n guarda cap resum.

18. La versió anglesa procedeix de la traducció francesa i no del document original. La publicació als *Annalen der Physik* va ser una revisió més que una traducció abreujada de la memòria de Martí.

19. Martí es va referir a aquest assaig amb diferents noms: «fetje de sofre», «fetje sulfúric», «licor hepàtic» o simplement «fetje», abans de presentar el seu propi assaig eudiomètric. La versió francesa només utilitza el terme *sulfure* i l'anglesa, els termes *liver of sulphur* i *sulphuret*. S'ha pres la decisió de seguir utilitzant el terme *sulfur alcalí* per tal de mantenir la consistència terminològica del text.

20. D'acord amb el primer biògraf de Cavendish (Wilson, 1851, p. 41), aquest va ser capaç de concloure, utilitzant el seu propi disseny experimental de l'assaig eudiomètric de l'aire nitrós, que la quantitat d'oxigen a l'aire comú era de 10/48, és a dir, un 20,8 %. Lavoisier, tot fent ús del mateix assaig de l'aire nitrós, va demostrar que l'oxigen representava aproximadament una quarta part del volum de l'aire atmosfèric. Tot i així, no va rebutjar els valors obtinguts per Scheele a Estocolm (27,3 %) i per ell mateix el 1777 a París (Lavoisier, 1780, p. 367). El motiu era que Lavoisier considerava que la composició de l'aire atmosfèric depenia de circumstàncies com ara la zona geogràfica o l'estació de l'any (OL, vol. 2, p. 507).

l'observació de Lavoisier sobre la formació d'àcid sulfúric en l'assaig de la pasta humitejada de sofre i llimalles de ferro²¹ i la recerca de Priestley sobre l'alliberament d'aire inflamable en la mateixa mescla. Martí va considerar que l'assaig dels sulfurs era el millor per determinar la quantitat d'aire vital que hi havia en qualsevol fluid gasós, ja que deixava de banda l'aire mefític (nitrogen) i els altres tipus d'aire que no es combinaven amb ell, sense córrer el risc que es formessin o es perdessin altres gasos, excepte l'aire vital que el sulfur alcalí absorbia completament (Martí, 1795, p. 349-350; 1801a, p. 177; 1801b, p. 254). El major inconvenient era que l'absorció completa d'aquest aire requeria una exposició de tres dies com a mínim. Justament, per escurçar aquest temps, Martí va reemplaçar el sulfur alcalí pel sulfur de calci (fetge de sofre calcari líquid) per aconseguir una ràpida absorció d'aire vital d'entre tres i cinc minuts.²² S'ha suggerit que aquest canvi lleu però decisiu en la composició del mitjà eudiomètric s'hauria de situar en el marc dels interessos de Martí en l'agricultura (Grau i Bonet, 2011, p. 32). Martí era propietari de diferents tipus de producció agrícola, com ara vinyes, oliveres, fruiters i hortalisses. En aquella època, el sofre de calç (el fetge calcari de sofre)²³ ja era un producte químic conegut per tractar malalties pròpies dels conreus com ara el mildiu i l'oïdi, i és possible que l'oportunitat de reemplaçar el sulfur alcalí pel de calci se li hagués presentat a Martí en aquest entorn.

La substitució d'un sulfur per un altre no va ser l'única novetat que Martí va introduir en el seu assaig eudiomètric. En el seu article sobre l'aire vital procedent de les plantes, Martí ja havia assenyalat l'observació de petites variacions en la determinació de la proporció d'aire vital en l'aire comú quan s'utilitzava l'assaig d'aire nitrós. Des d'aleshores, va continuar experimentant sobre el mateix tema per determinar si aquestes variacions podrien no ser degudes a circumstàncies operatives, sinó, més aviat, de la naturalesa de l'aire atmosfèric (Martí, 1795, p. 264; 1801a, p. 174-175; 1801b, p. 251). Mentrestant, va madurar la idea del paper intrusiu que podria tenir el nitrogen en els diferents assaigs eudiomètrics. Així, tot fent-se ressò de les observacions de Van Breda sobre la influència de l'aigua en l'assaig de l'aire nitrós, Martí va suggerir que l'efecte de l'aigua depenia principalment del seu grau de saturació amb el diòxid de carboni, l'oxigen i el nitrogen (Martí, 1795, p. 270; 1801a, p. 175; 1801b, p. 140). Pel que fa a l'assaig de l'aire inflama-

21. Lavoisier estava convençut que l'àcid sulfúric produït reaccionava amb el ferro per formar hidrogen, el qual es combinava amb el nitrogen residual i es formava amoníac (OL, vol. 2, p. 721; ML, vol. 2, p. 165).

22. Martí va utilitzar l'expressió «fetge de sofre calcari líquid» només en presentar els nous mitjans eudiomètrics. Després, va seguir referint-s'hi amb els termes habituals utilitzats per al sulfur alcalí. La versió francesa del text de Martí va utilitzar el terme *sulfure calcaire liquide* i la versió anglesa, el terme *liquid sulphuret of lime*. Aquest fetge calcari de sofre es preparava portant a ebullició una mescla de sofre amb una solució saturada de calç. La mescla líquida resultant de color vermell ataronjat contenia principalment tetrasulfur i tiosulfat de calci. El tiosulfat de calci es descompon fàcilment en sulfít de calci i sofre. Quan el sofre s'utilitza en excés, es produeix una reacció secundària en la qual el sofre es combina amb el tetrasulfur de calci per formar el corresponent pentasulfur (Tartar, 1914, p. 495 i 498).

23. A França el sofre de calç es coneixia com *chaux soufreé*, *bouille soufrée* o *bouille nantaise*. Aquest producte també s'utilitzava com a remei per a la pell.

ble, es va referir al descobriment de Cavendish pel qual una quantitat de nitrogen podia unir-se amb l'oxigen durant la ignició, i pel que fa a l'assaig del fòsfor d'Achard, també va sospitar que no tan sols s'absorbia oxigen de l'aire atmosfèric, sinó també una part del seu nitrogen (Martí, 1795, p. 274-275; 1801a, p. 175-176; 1801b, p. 252).

Quan Martí finalment va decidir utilitzar una solució de sulfur de calci com a mitjà eudiomètric, diferents resultats experimentals ja havien deixat clar que aquest mitjà era capaç de contenir una determinada porció de nitrogen interposat entre les seves partícules. Tanmateix, va assenyalar que aquesta absorció de nitrogen no es podia atribuir específicament al sulfur en solució, ja que aquest actuava com qualsevol altre líquid desproveït de la quantitat de nitrogen que podia absorbir de manera natural (Martí, 1795, p. 353).

En realitat, Martí havia estat experimentant amb l'absorció (*i. e.*, la solubilitat) de diferents tipus d'aires (oxigen, hidrogen i nitrogen) en aigua abans de presentar el seu article del 1790, tot i que només va fer una breu menció d'aquests experiments (Martí, 1795, p. 391; 1801a, p. 181; 1801b, p. 258). Tanmateix, el físic Jean-Baptiste Biot els va posar en relleu en una carta a Berthollet reproduïda als *Annales de Chimie* (Biot, 1807a).²⁴ Biot havia conegut Martí quan el desembre de 1806 es va allotjar a la seva residència de Tarragona per recuperar-se d'unes febres que podia haver contret al convent del Desert de les Palmes a Benicàssim.²⁵

A la primera part de la seva carta, Biot va afirmar que Martí havia fet l'observació que si l'aigua impregnada de nitrogen es posava en contacte amb hidrogen o oxigen, s'absorbien ambdós gasos sense eliminar-se nitrogen. A més, assegurava que es podia fer una anàlisi precisa de l'aire atmosfèric per la sola acció absorbent de l'aigua. Per a això, només calia que l'aigua estigués impregnada prèviament amb nitrogen. D'aquesta manera, l'aigua absorbia exactament vint-i-una parts per cent de l'aire atmosfèric amb què entrava en contacte, precisament com ho faria una solució de sulfur de calci. Segons Biot, Martí havia afirmat que l'aigua, emprada en grans quantitats per evitar que el procés s'allargués massa temps, actuava com un excel·lent mitjà eudiomètric que havia utilitzat sovint.²⁶ La solució de sulfur de calci era més ràpida que l'aigua com a agent eudiomètric.

Martí, finalment, va decidir utilitzar la solució de sulfur de calci impregnada amb

24. Aquesta carta, datada el desembre de 1806, s'ha de situar en el context de l'assistència de Biot a les reunions celebrades a la casa de camp de Berthollet —la Société d'Arcueil— des de l'estiu de 1807 quan Biot ja havia tornat a París (Crosland, 1967, p. 122). La carta també es va publicar al *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* i als *Annalen der Physik* (Biot, 1807b; 1808).

25. Biot havia acudit a Benicàssim per substituir Pierre-François André Méchain després de la seva mort. Méchain era un agrimensor i astrònom que havia estat comissionat per mesurar l'arc del meridià que passa per París. Biot va ser nomenat, conjuntament amb Francesc Aragó, per formar part de la segona expedició que havia de concloure el treball de Méchain (Quintana, 1985, p. 53).

26. L'aigua es podia impregnar amb nitrogen, agitant-la amb aire atmosfèric i deixant-la en contacte durant un cert temps. D'aquesta manera, l'aigua absorbia tot el nitrogen que podia retenir i l'oxigen que s'absorbia al mateix temps no impedia l'absorció de més oxigen provinent de la mostra d'aire a analitzar (Biot, 1807a, p. 275-276; 1807b, p. 125-126; 1808, p. 420-421).

nitrogen com a mitjà eudiomètric per evitar l'absorció del nitrogen atmosfèric (Martí, 1795, p. 353-354 i 356; 1801*a*, p. 178; 1801*b*, p. 255). El sulfur de calci feia que l'assaig anés més ràpid i la impregnació amb nitrogen el feia més precís. Després de diversos intents, Martí va aconseguir desenvolupar un procediment eudiomètric senzill. No s'han conservat cap dels eudiòmetres de Martí, alguns dels quals s'havien fet a París i altres a Barcelona. Antoni Quintana i Marí (1985, p. 58-59) va replicar l'instrument (figura 5) tot seguint la descripció del mateix Martí:

Tot l'aparell consistia en un tub de vidre de 5 línies de diàmetre i 10 polzades de llarg, capaç de contenir al voltant d'una unça d'aigua. El tub estava tapat només per un extrem i dividit en cent parts iguals, cadascuna d'una línia. Per prendre una mostra d'aire comú, el tub s'omplia primer amb aigua, mantenint-lo en posició vertical amb l'orifici cap per avall i tapat amb un polze. A continuació, s'inclinava lleugerament el tub i s'afluixava intermitentment el polze per permetre que l'aire exterior entrés dins del tub, reemplaçant l'aigua, fins a ocupar totes les 100 línies. Després d'això, l'orifici es tapava de nou amb un polze i el tub es submergia en una cubeta d'aigua per equilibrar la temperatura dins i fora del tub. Després de treure el tub de la cubeta, es comprovava si l'aire excedia o no l'espai de 100 línies, per tal de treure o afegir la quantitat d'aire necessari per situar-se exactament al nivell on començaven les divisions. Aquesta mostra d'aire s'introduïa, de la manera habitual, en un flascó que contenia de dues a quatre vegades el seu volum del sulfur de calci líquid, prèviament sacsejat amb nitrogen per a saturar-lo completament.²⁷ El flascó, un cop tapat i agitat durant uns cinc minuts, es destapava dins aigua de la cubeta, es tapava i agitava una altra vegada, i després es transferia el residu de nou al tub graduat.²⁸ L'espai ocupat per aquest aire residual després de l'operació indicava el percentatge de nitrogen en la mostra d'aire i, en conseqüència, les parts que faltaven indicaven el percentatge d'oxigen. Si el tub graduat acabava en un coll amb un tap de vidre, es podia omplir d'entrada amb sulfur de calci en comptes d'aigua. Procedint d'aquesta manera, l'operació era més ràpida, sense necessitat d'emprar aigua, ni d'haver d'introduir aire i transferir la mostra d'aire en un flascó. (Martí, 1795, p. 357-359; 1801*a*, p. 179; 1801*b*, p. 256)

27. Martí no va esmentar com havia obtingut el nitrogen. Cavendish havia proposat que podia obtenir-se a partir de l'aire comú amb una solució de polisulfur de calci o, alternativament, posant-lo en contacte amb una pasta humitejada feta amb llimalles de ferro i sofre. Tots dos procediments consumien oxigen i deixaven un residu de nitrogen.

28. Atès que la solució de sulfur estava saturada amb nitrogen, el primer ja no podia absorbir aquest últim de la mostra d'aire. Martí va argumentar que, degut al fet que la solució de sulfur absorbia oxigen de la mostra d'aire, es produïa un buit a l'interior del flascó. Al mateix temps, l'aire rarificat exercia menys pressió sobre la solució de sulfur, s'alliberava el nitrogen interposat, que es reunia amb el nitrogen restant a la mostra d'aire. No obstant això, després d'obrir i tancar el flascó dins l'aigua i agitar-lo de nou, el nitrogen prèviament eliminat penetrava de nou en els intersticis de la solució de sulfur (Martí, 1795, p. 354 i 356-357).

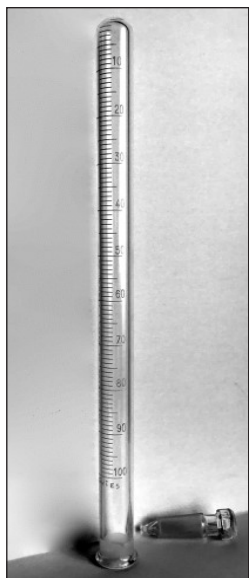


FIGURA 5. Rèplica de l'eudiòmetre de Martí realitzada per Antoni Quintana i Marí.

FONT: Cortesia de Marta i Antoni Quintana, fotografia de l'autor.

Martí va afirmar que feia molt de temps que repetia aquest procediment i durant tants dies que la uniformitat dels resultats obtinguts demostraven clarament l'exactitud del mètode (Martí, 1795, p. 357-359; 1801*a*, p. 179; 1801*b*, p. 256). La seva ferma conclusió era que en totes les estacions, en tots els mesos i a totes hores, l'aire del seu país recollit a camp obert estava sempre compost entre 21 i 22 parts d'oxigen i entre 78 i 79 de nitrogen (Martí, 1795, p. 392; 1801*a*, p. 131; 1801*b*, p. 258-259). Estava convençut que aquesta petita diferència no provenia de la naturalesa de l'aire, sinó d'alguna negligència en l'operació. Martí va dir que havia recollit aire en llocs on es reunien moltes persones, o prop d'estanys d'aigua estancada, i sempre havia trobat que aquest aire era tan pur com l'aire comú (Martí, 1795, p. 392 i 395-396; 1801*a*, p. 181-182; 1801*b*, p. 259).

Pel que fa als eudiòmetres com a instruments per mesurar la salubritat de l'aire, Martí estava convençut de la seva inutilitat, ja que la insalubritat no podia ser conseqüència d'una desproporció entre l'oxigen i el nitrogen a l'aire atmosfèric. Tot i que els tres diferents tipus d'aire alliberats en les aigües estancades (nitrogen, aire inflamable i diòxid de carboni) eren incapaços de sustentar la vida d'un animal, es despreniaven aparentment en quantitats molt petites en comparació amb la gran quantitat d'aire atmosfèric (Martí, 1795, p. 397-398; 1801*a*, p. 182; 1801*b*, p. 259). Atès que els assaigs eudiomètrics no podien explicar els efectes nocius produïts prop de les aigües estancades, Martí va suggerir que la causa podria trobar-se analitzant l'aigua en suspensió a l'atmosfera (Martí, 1795, p. 399; 1801*a*, p. 182-183; 1801*b*, p. 260). L'objectiu de Martí havia estat trobar un assaig eudiomètric capaç de determinar si era apropiat atribuir l'accidental insalubritat de l'aire atmosfèric a la seva composició, en comptes de participar en una competició d'assaigs eudiomètrics.

5. LA RECEPCIÓ, REPERCUSSIÓ I AVALUACIÓ DE L'ASSAIG EUDIOMÈTRIC DE MARTÍ

Els assaigs eudiomètrics de Martí van tenir un impacte significatiu entre els químics interessats en la composició de l'aire atmosfèric. El seu eudiòmetre va rebre un tracte favorable en els textos de química de principis del segle XIX, tot i que ocasionalment l'assaig va ser mal interpretat (Grau i Bonet, 2011, p. 34-40). La segona part de la carta de Biot a Berthollet proporciona alguns aspectes d'aquesta errònia interpretació, destacant com l'article de Martí, publicat al *Journal de Physique* (així com la seva traducció a l'anglès publicada al *The Philosophical Magazine*), no només va ometre alguns experiments, sinó també alguns detalls sobre els resultats experimentals (Biot, 1807a, p. 277; 1807b, p. 126; 1808, p. 277). La conseqüència de tot això va ser que químics com Berthollet, Gay-Lussac, Fourcroy i el naturalista Humboldt van atribuir a Martí unes opinions i uns resultats inexactes. Per exemple, Gay-Lussac i Humboldt consideraven que l'eudiòmetre de Martí implicava més imprecisions que el de Volta perquè, segons els seus punts de vista, Martí havia determinat que la proporció d'oxigen en l'aire atmosfèric estava entre el 21 % i el 23 % (Humboldt i Gay-Lussac, 1805, p. 134). En realitat, però, aquest no era el cas; Martí havia conclòs aquest marge d'incertesa, però només en els primers assaigs i, precisament, el seu afany per reduir aquest marge el va dur a descobrir la influència de l'absorció del nitrogen com una important font d'incertesa. Una vegada perfeccionat el seu mètode, va aconseguir reduir aquest marge d'incertesa entre el 21 % i el 22 % (Biot, 1807a, p. 278-279; 1807b, p. 127; 1808, p. 423-424).

Biot també va criticar Berthollet per haver atribuït a Martí la troballa que la solució de sulfur era responsable de l'absorció de nitrogen quan, de fet, aquest tampoc no era el cas, i Gay-Lussac i Humboldt van difondre aquesta falsa idea encara més a bastament (Berthollet, 1803, p. 1 i 513; Humboldt i Gay-Lussac, 1805, p. 133). Per a Biot, aquesta idea errònia provenia d'una interpretació inadequada de la traducció francesa de l'article de Martí (Biot, 1807a, p. 278; 1807b, p. 127; 1808, p. 423). De fet, Berthollet no va poder observar l'absorció de nitrogen de l'aire utilitzant solucions de sulfurs alcalins, i va admetre que no havia utilitzat solucions de sulfur de calci tal com ho havia fet Martí. Malauradament, el malentès confonent l'assaig eudiomètric de Martí, utilitzant sulfur de calci, amb l'assaig dels sulfurs alcalins es va reproduir en l'article de Gay-Lussac i Humboldt. Encara pitjor, Fourcroy en el seu article «Eudiométrie» de l'*Encyclopédie méthodique* no tan sols va reincidir en aquests errors, sinó que també va confondre l'assaig de Martí amb el de Scheele (Fourcroy, 1805, p. 280-281).

El fet és que les traduccions abreujades al francès i a l'anglès de l'article de Martí del 1795, publicades el 1801, van descriure el disseny experimental de Martí força adequadament. És aleshores, a partir d'aquest any, quan l'assaig eudiomètric de Martí comença a ser conegut i replicat. A continuació, es tractarà el recorregut que va tenir el seu assaig tot apuntant els aspectes següents relatius a la seva repercussió i avaluació: la posada en funcionament de l'assaig amb relació a l'equipament material i

als reactius, les àrees de recerca en què es va aplicar i, finalment, les opinions significatives que va suscitar.

5.1. *L'eudiòmetre de Hope. Anàlisi de l'aire atmosfèric i la respiració humana*

El 1803, es va publicar la descripció d'un nou dispositiu eudiomètric que utilitzava habitualment el sulfur de calci com a mitjà eudiomètric. Aquest aparell va ser dissenyat i usat per Thomas Charles Hope (1766-1844) tant amb finalitats experimentals com didàctiques. Els biògrafs de Hope amb prou feines esmenten la seva contribució a l'eudiometria.²⁹ Hope va combinar la pràctica de la medicina amb l'ensenyament de la química. L'octubre de 1787 va ser nomenat professor de química a la Universitat de Glasgow, on passaria els vuit anys següents. El 1789 fou nomenat professor adjunt de medicina a la mateixa universitat, però va continuar ensenyant química a més de medicina. Tot i que el 1791 fou nomenat professor titular de medicina i va haver de renunciar a les classes de química, va continuar la seva recerca química com a activitat privada. El 1795 va aconseguir ser nomenat professor adjunt de Joseph Black al Departament de Química de la Universitat d'Edimburg i, a partir d'octubre de 1797, va ser l'únic professor de química d'aquesta universitat. Després de la mort de Black, el 1799, Hope el va succeir com a professor titular durant prop de cinquanta anys.

A través de les seves conferències, Hope es va convertir en el primer professor universitari de química de la Gran Bretanya a abandonar inequívocament la teoria del flogist. El gener de 1804, va llegir a la Royal Society d'Edimburg l'article «On the Contraction of Water by Heat, at Low Temperatures»³⁰ en referència al fet excepcional que l'aigua s'expandia a mesura que es refredava i s'apropava al seu punt de fusió. En aquest sentit, va idear un aparell per mesurar la temperatura a la qual l'aigua assoliria la seva màxima densitat (Traill, 1849; Doyle, 1982; Anderson, 2015).³¹ La ressenya de l'eudiòmetre de Martí publicada als *Annalen der Physik* descrivia l'eudiòmetre de Hope com a semblant al de Martí, completat només en alguns detalls (Martí, 1805, p. 389).

L'eudiòmetre de Hope consistia en dues ampolles (A) i (B) connectades entre si [figura 6]. (A) era una ampolla petita de gairebé dues polzades de diàmetre extern i tres polzades de llargada, amb un coll i un tap a (D) i un altre coll a (C). Aquesta ampolla contenia el mitjà eudiomètric. (B) era una ampolla més gran

29. Traill (1849, p. 427) és l'excepció.

30. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1805, vol. 5, p. 379-405.

31. L'oposició de Hope a la creació d'una càtedra de química pràctica a la Universitat d'Edimburg va suposar una taca en la seva carrera professional. Mentrestant, atès que a les universitats alemanyes disposaven de laboratoris de pràctiques per a alumnes, els estudiants britànics marxaven a estudiar a l'estranger per rebre una formació més completa. La intransigència de Hope va contribuir a la decadència de la Universitat d'Edimburg com a líder mundial en l'educació en química (Anderson, 2015, p. 159).

de gairebé el mateix diàmetre i 8 ½ de llargada.³² El coll de (B) s'ajustava amb precisió al coll d'(A) a (C). Per executar l'assaig, l'ampolla (B) s'omplia primer amb la mostra gasosa i, a continuació, l'ampolla (A) també s'omplia amb un mitjà eudiomètric, com ara la solució de sulfur de calci que Hope solia utilitzar. Després, es tapava la boca d'(A) amb una placa de vidre, es submergia sota la superfície de l'aigua i s'inseria al coll de (B).

Aquest recipient de doble càmera (AB) es treia fora de l'aigua i s'inclinava fins que una quantitat suficient de la solució de sulfur havia fluït cap a la part superior (B). Mentre el recipient s'agitava, la solució eudiomètrica absorbia l'oxigen tot formant-se un buit parcial. Per evitar una absorció completa o massa ràpida, calia submergir l'ampolla (A) sota la superfície de l'aigua amb l'ajut d'una plata i obrir el tap (D) lentament. D'aquesta manera, la pressió atmosfèrica forçava l'entrada d'aigua per reemplaçar el gas absorbit. Amb tot això, la solució eudiomètrica es diluïa però no fins al punt que s'interrompés el procés d'absorció. Aquesta absorció es considera completa quan, després de l'agitació i l'obertura del tap (D), no s'observa un augment en el nivell de la solució. L'assaig conclouïa permetent que tot l'aparell recuperés la temperatura original. Per determinar el grau d'absorció, si l'ampolla (B) estava graduada, es submergia l'aparell en aigua fins anivellar la superfície de l'aigua amb la de la solució interna i obrint el tap. Si l'ampolla no estava graduada, el gas residual es transferia a un tub expressament graduat per mesurar els gasos. (Hope, 1803)³³

Aquesta descripció no desvela els motius pels quals Hope va decidir dissenyar un nou eudiòmetre basat en els sulfurs alcalins o de calci. Tot i que ja es coneixien des del 1803 les contribucions de Scheele, Guyton de Morveau i del mateix Martí sobre l'ús dels sulfurs com a agents eudiomètrics, cap d'ells s'esmenten en l'article de Hope. La diferència més destacada amb els assaigs eudiomètrics que utilitzaven sulfurs alcalins o de calci estava en l'equipament utilitzat en el dispositiu experimental. Mentre que en els altres assaigs s'havien utilitzat simples tubs o ampolles, el de Hope requeria un recipient fet a mida amb dues cambres que es connectaven entre si. A més, el dispositiu estava dissenyat per evitar una ràpida absorció d'oxigen.

L'eudiòmetre de Hope va ser escollit pel metge escocès Alexander Henderson (1780-1863) en els seus experiments per estudiar el controvertit aspecte de l'absorció de nitrogen durant la respiració animal. Després de diverses proves realitzades amb els eudiòmetres de Séguin, Guyton i Davy, Henderson va concloure que tots estaven exposats a diverses fonts d'error. Segons Henderson, no hi havia un problema de pre-

32. Segons l'autor d'aquest relat, les mides esmentades s'adequaven força bé per fer demostracions públiques, tot i que calia un instrument considerablement més petit per a experiments eudiomètrics rutinaris.

33. La descripció de l'eudiòmetre de Hope es va presentar per partida doble en el sisè volum de *Nicholson's Journal* de 1803. La primera vegada en el número del mes de setembre (p. 61-62) i la segona en el número de novembre (p. 210-212). L'autor (W. N.) d'ambdues ressenyes va esmentar que, a causa del fet que la primera era en alguns aspectes inexacta, havia volgut proporcionar una descripció completament nova i un dibuix de l'instrument en la segona descripció.

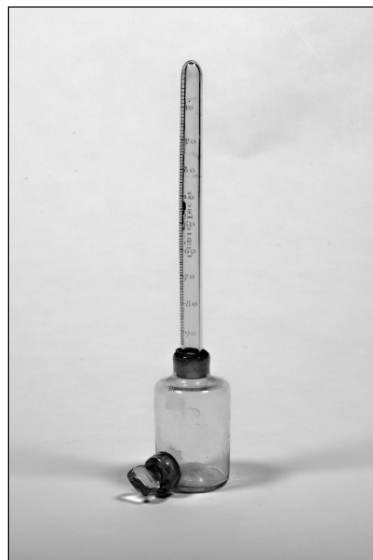
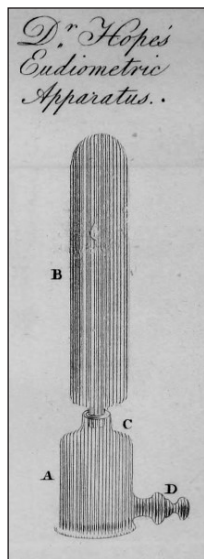


FIGURA 6. Eudiòmetre de Hope.

FONT: Esquerra: exemplar al *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*, 1803, 6, làmina 12; dreta: exemplar (c. 1825) del Museu de la Història de la Ciència, Universitat d'Oxford. Inv. 4056 ©Museum of the History of Science, University of Oxford.

cisió amb l'assaig dels sulfurs d'alcalins i calci, sinó amb el temps transcorregut abans de completar-se l'absorció d'oxigen. No obstant això, va trobar que l'eudiòmetre de Hope podia superar aquests obstacles, combinant en gran mesura els avantatges de la seva senzillesa amb els de la precisió i la rapidesa d'execució. Després de diverses proves amb aquest eudiòmetre, Henderson va decidir utilitzar el sulfur de calci en comptes del sulfur de potassi com a agent eudiomètric per una qüestió d'eficiència.³⁴ Henderson era conscient de la incertesa que hi havia en utilitzar solucions del sulfur de calci, perquè podien absorbir no tan sols oxigen, sinó també petites proporcions de nitrogen atmosfèric. No obstant això, va considerar que aquest no era un fet prou contrastat, tot i reconèixer que aquesta absorció de nitrogen es podia observar en solucions fresques de sulfur de calci (Henderson, 1804).

El problema amb l'eudiòmetre de Hope consistia en el fet que, si el coll de l'ampolla més gran (B) i el tap (D) no ajustaven prou bé, l'aire podia penetrar dins l'aparell per contrarestar el buit parcial ocasionat per l'absorció d'oxigen. Aquesta absorció generava una disminució de la pressió interior i, en conseqüència, cap al final de cada agitació l'absorció s'alentia. A més, la solució eudiomètrica es diluïa progressivament per l'admissió d'aigua a través de (D). William Henry va ser qui va assenyalar aquesta mancança i qui va intentar rectificar-la amb un nou disseny.

34. La majoria d'aquestes proves es completaven en uns vint minuts.

5.2. *La innovació de Henry*

William Henry (1774-1836) era el fill d'un apotecari de Manchester. Va començar a estudiar medicina a la Universitat d'Edimburg el 1795, que en aquella època ostentava una gran reputació en l'ensenyament de la medicina, i on Joseph Black encara ocupava la càtedra de química. Després d'un any, va abandonar la universitat per dedicar-se al negoci familiar. Durant aquest període va assumir un paper actiu en la vida intel·lectual de Manchester a través, sobretot, de la Manchester Literary and Philosophical Society. Una sèrie de conferències pronunciades els anys 1798 i 1799 van convertir-se en el nucli del text *An Epitome of Chemistry*. Després de publicar diversos articles sobre química, va retornar a Edimburg el 1805 per continuar els seus estudis i es va doctorar en medicina l'any 1807 amb una tesi sobre l'àcid úric. El 1808 va ser elegit *fellow* de la Royal Society i l'any següent va obtenir la medalla Copley d'aquesta societat. Henry va ser molt influent com a divulgador de resultats experimentals i exponent de l'estat actual de les ciències químiques. Henry va actualitzar els continguts del seu perdurable *An Epitome of Chemistry* en les successives edicions, però el títol es va canviar a *Elements of Experimental Chemistry* en la sisena edició, de l'any 1810.³⁵ El progrés de la química després de l'última edició de l'*An Epitome of Chemistry* del 1808 va palesar no tan sols el nombre i la novetat dels descobriments que s'havien produït, sinó també la importància de les generalitzacions a les quals havien conduït. Henry es va mantenir com un investigador actiu, i va ser especialment rellevant la seva recerca sobre la solubilitat dels gasos en l'aigua. També es va dedicar a la construcció i venda d'aparells de laboratori i, en aquest sentit, el llibre de Henry va funcionar força bé com a prospecte promocional d'aparells de laboratori. La primera edició dels *Elements of Experimental Chemistry*, de 1810, va constituir una actualització, en particular, dels continguts en eudiometria de l'*An Epitome of Chemistry*. La contribució genuïna de Henry en aquest camp va consistir en la identificació d'algunes de les deficiències abans esmentades en l'eudiòmetre de Hope i la proposta de modificacions substancials tant procedimentals com materials.

Primer va reemplaçar l'ampolla més gran (B) de l'eudiòmetre de Hope (figura 6) per un tub graduat (a) acuradament ajustat al coll de l'ampolla (b) (figura 7, fig. 20).³⁶ El tub tenia un volum d'una polzada cúbica i estava dividit en cent parts iguals. Quan cessava la contracció de volum, es retirava el tub amb el coll de l'ampolla sota l'aigua i es mantenia invertit dins l'aigua durant uns minuts. Després d'això, ja es podia constatar i mesurar la disminució en volum. Henry va utilitzar com a mitjà eudiomètric una solució de sulfur de calci preparada bullint una mescla d'aigua de calç i sofre que un cop filtrada s'agitava durant un temps en una ampolla mig plena d'aire (d'aquesta

35. Les cinc edicions d'*An Epitome of Chemistry* es van publicar els anys 1800, 1801, 1803, 1806 i 1808. *Elements of Experimental Chemistry* també va ser un llibre molt reeixit que va arribar a tenir onze edicions en anglès, l'última publicada el 1829.

36. La referència en el text (fig. 28, plate II) és un error d'impressió; hauria de dir «(fig. 20, plate II)». Aquesta ampolla (b) es mostra a la figura 6 de l'eudiòmetre de Hope (A).

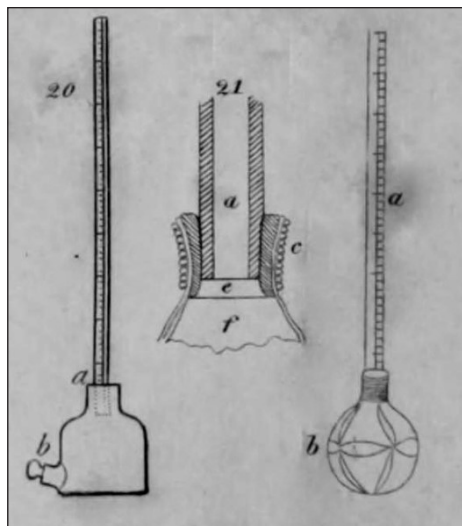


FIGURA 7. Eudiòmetre de Henry.

FONT: William Henry, *Elements of Experimental Chemistry*, Londres, 1810, vol. 1, làmina II, fig. 20 i 21.

manera, la solució quedava saturada amb nitrogen atmosfèric). Per superar les dificultats observades en l'eudiòmetre de Hope, Henry va substituir l'ampolla petita de vidre de l'eudiòmetre de Hope per un baló de cautxú (figura 7, fig. 21, dreta, b). El tub (a) s'ajustava acuradament en una curta secció del tub reforçat i amb una boca més ampla (figura 7, fig. 21, centre, c), la superfície externa de la qual estava esmerilada per retenir de manera més efectiva el coll del baló de cautxú que estava subjectat amb un cordill. Segons Henry, l'única dificultat consistia a retornar tot el gas residual al tub, una operació que era una mera qüestió pràctica (Henry, 1810, vol. 1, p. 192-193).

5.3. Anàlisi de mescles gasoses inflamables. La portabilitat de l'eudiòmetre de Martí

A principis del segle XIX, l'eudiòmetre de Volta ja s'utilitzava per analitzar mescles gasoses diferents de l'aire atmosfèric. Claude-Louis Berthollet (1748-1822), el 1803, en tractar de la composició de compostos hidrogen-carburats (hidrocarburs) i hidrogen-oxigenats (una suposada combinació ternària de carboni, hidrogen i oxigen en proporcions variables), va estudiar la qüestió general de l'anàlisi de les mescles de gasos inflamables utilitzant l'eudiòmetre de Volta.³⁷ John Dalton (1766-1844) ja havia descobert el mètode d'anàlisi per explosió amb l'eudiòmetre de Volta el setembre de 1803, que havia emprat en els seus experiments relacionats amb l'elaboració de la

37. Aquestes anàlisis es basaven en el fet que l'hidrogen i el carboni es combinaven amb l'oxigen per formar aigua i gas àcid carbònic (diòxid de carboni), ambdós compostos de composició constant. D'aquesta manera, es podia determinar la quantitat de carboni i hidrogen en el gas inflamable un cop conegut el seu pes específic.

seva teoria atòmica química (Dalton, 1819, p. 476). En particular, la seva anàlisi l'agost de 1804 del gas dels pantans (metà) i del gas «olefiant» (etè)³⁸ utilitzant aquest mètode li va permetre establir un segon cas de proporcions múltiples de combinació (Dalton, 1810, p. 440, 445 i 448; Roscoe i Harden, 1896, p. 29, 62-64 i 68; Farrar, 1968, p. 179; Rocke, 1984, p. 27 i 34).³⁹ No obstant això, hi havia raons per no estar del tot satisfet ni amb el mètode analític esmentat ni amb els resultats obtinguts. Els productes de la combustió d'un mateix gas variaven considerablement entre experiments diferents i, en alguns casos, es posava de manifest que no tot el carboni del gas es combinava amb l'oxigen atesa la formació de residus carbonosos durant la detonació.

Les investigacions que Nicolas-Théodore de Saussure (1767-1845) va presentar a la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Ginebra, el 31 d'agost de 1809, sobre si la combustió del carbó prèviament escalfat fins a enrogir alliberava hidrogen el van dur a algunes conclusions sobre els processos eudiomètrics més habituals. Saussure va emprar el procés ideat per Humboldt i Gay-Lussac —utilitzant l'eudiòmetre de Volta— per determinar quantitats molt petites d'hidrogen en un altre gas i així poder determinar la petita proporció d'hidrogen en el residu obtingut després de cremar carbó vegetal, fusta, oli o qualsevol substància vegetal en oxigen pur obtingut a partir del clorat de potassi. Tanmateix, Saussure també va advertir que l'eudiòmetre de Volta era susceptible d'error quan el gas d'hidrogen cremava lentament en una mescla d'oxigen i nitrogen, atès que aquest últim es combinava parcialment amb l'oxigen o amb l'oxigen i l'hidrogen simultàniament.

Per determinar la proporció d'oxigen abans i després de la combustió del carbó vegetal, Saussure va utilitzar l'assaig de Martí, emprant una solució concentrada de sulfur de potassi impregnada de nitrogen, i després va comparar els resultats d'aquest assaig amb els obtinguts amb l'eudiòmetre de Volta. Saussure va seguir el procediment ideat per Martí (excepte que va utilitzar el sulfur de potassi en comptes del sulfur de calci), però deixant la solució de sulfur alcalí en contacte (sense agitació) amb el gas a analitzar durant cinc dies, i així va aconseguir resultats més consistents que els obtinguts en uns pocs minuts, per agitació, seguint el mètode original de Martí. El procés eudiomètric realitzat amb el sulfur de potassi va resultar ser més precís que el realitzat amb l'eudiòmetre de Volta per determinar la proporció d'oxigen mesclat només amb nitrogen, però quan la mescla es feia amb gasos hidrogen-oxigenats era preferible emprar l'eudiòmetre de Volta (Saussure, 1809, p. 270-271 i 279-280; 1810, p. 166-167, 170 i 174).

Entre 1820 i 1823, l'assaig eudiomètric de Martí encara va ser utilitzat per Eugène Julia de Fontenelle (1780-1842) en un estudi sobre les emanacions insalubres de pantans, latrines, estables i clavegueres. En aquell moment, Julia de Fontenelle era professor de química mèdica a la Facultat de Medicina de París. En el seu estudi va analitzar mostres d'aire dels voltants de pantans i estanys de diferents localitzacions del

38. El terme *olefiant* descrivia la propietat d'aquest gas de formar una substància oliosa (diclorur d'etilè) en combinar-se amb el clor. Aquesta substància era popularment coneguda amb el nom de *licor holandès*.

39. Dalton va establir les fórmules CH per a l'etè i CH₂ per al metà.

Rosselló i l'Erau, a la Catalunya del Nord, així com de les muntanyes de Montjuïc i Sant Jeroni de la Vall d'Hebron, i de les ciutats de Girona, Figueres i Barcelona. L'aire d'aquesta última ciutat tenia un interès particular a causa de l'epidèmia de febre groga que havia assolat Barcelona l'any 1820. Julia de Fontenelle va preferir utilitzar l'eudiòmetre de Martí, que va qualificar com «l'aparell de Scheele perfeccionat per Martí», perquè considerava la solució de sulfur de calci saturada de nitrogen com un excel·lent mitjà eudiomètric (Julia de Fontenelle, 1823, p. 52 i 92).

6. CONCLUSIONS. EL DESIGUAL RECORD DE L'ASSAIG EUDIOMÈTRIC DE MARTÍ

Pel que fa a la qüestió sobre en quins termes es va utilitzar l'assaig en relació amb l'equipament material i els reactius químics, va haver-hi certa diversitat. La solució de sulfur de calci (amb impregnació de nitrogen o sense) era la utilitzada habitualment (Hope, Henderson, Henry i Julia de Fontenelle), encara que la solució de sulfur de potassi també s'utilitzava ocasionalment (Saussure). El tret característic de l'assaig de Martí de saturar la solució eudiomètrica amb nitrogen va ser una opció divisòria. Henry, Saussure i Julia de Fontenelle van prendre aquesta opció, mentre que Hope i Henderson no ho van fer. Els assaigs eudiomètrics van evolucionar no només adoptant variacions en la composició dels reactius, sinó també en el disseny d'instruments. Hope, i Henry després, van idear un aparell més complex amb un enginyer per prevenir una absorció massa ràpida d'oxigen. No obstant això, el disseny original de Martí (un tub simple graduat de vidre) va sobreviure com un instrument molt senzill que es podia utilitzar, sol o en concert amb altres eudiòmetres, en diferents àrees de recerca com l'anàlisi d'aire comú i d'altres mescles gasoses i la respiració humana. La simplicitat de l'eudiòmetre de Martí el va convertir en un instrument portàtil de maneig senzill i de transport fàcil que es podia treure fora del laboratori.

L'eudiòmetre de Martí no va ser sempre citat per altres eudiometristes que van seguir la seva innovació. Per exemple, Hope i Henry no es van referir a Martí en les seves publicacions. No obstant això, cal esmentar dues opinions rellevants que elogiaven l'assaig de Martí. Humphry Davy, en la lliçó «On the Chemical Composition of the Atmosphere» del seu curs *The Chemistry of Nature*, impartida el gener del 1807, va elogiar l'eudiòmetre de Martí juntament amb el de Berthollet (basat en la combustió lenta del fòsfor), el de Hope i el seu propi mètode eudiomètric utilitzant una solució de sulfat de ferro impregnada amb gas nitrós (Davy, 1836-1840, vol. 8, p. 249). Vint anys després, el 1827, John Dalton encara considerava el sulfur de calci com un reactiu excel·lent per determinar la proporció d'oxigen, atès que es podia aplicar tant a l'aire comú com a altres mescles que continguessin oxigen. Dalton va lloar l'eudiòmetre de Martí en aquests termes (Dalton, 1837, p. 351).⁴⁰

40. «It was to de Martí of Spain we owe the most successful attempt with the quadrisulphuret of lime to abstract the oxygen from atmospheric air. His memoir, printed in 1795, and reprinted in the Journal de Physique, vol. lii., 1801, may still be read with interest.»

Va ser a Martí d'Espanya a qui devem l'intent més reeixit per extreure l'oxigen de l'aire atmosfèric utilitzant el tetrasulfur de calci. La seva memòria, impresa en 1795, i reimpresa al *Journal de Physique*, vol. lii., 1801, encara es pot llegir amb interès. (Tradució de l'autor)

Un reconeixement prou valuós trenta-set anys després que Martí hagués fet públic el seu eudiòmetre.

BIBLIOGRAFIA

Abreviacions

- ML LAVOISIER, Antoine Laurent (1805). *Mémoires de chimie*. París: inèdit. 2 v.; 2004. *Mémoires de physique et de chimie*. Bristol: Thoemmes Continuum. 2 v.
- OL LAVOISIER, Antoine Laurent (1864-1893). *Oeuvres*. París: Imprimerie Impériale. 6 v.
- OV VOLTA, Alessandro (1918). *Le opere di Alessandro Volta: Edizione nazionale*. Milà: Ulrico Hoepli. 7 v.

Fonts primàries

- ACHARD, Franz C. (1780). «Mémoire sur la mesure de la salubrité, renfermant la description de deux nouveaux eudiometres». A: *Nouveaux mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres à Berlin: Classe de philosophie expérimentale*, p. 91-100.
- (1784). «Mémoire sur la mesure de la salubrité, renfermant la description de deux nouveaux eudiometres». *Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts*, vol. 24, núm. 1, p. 33-40.
- (1786). «Recherches faites dans la vue de découvrir une méthode exacte pour mesurer les quantités relatives de phlogistique contenues dans une sorte d'air donné, de façon que les degrés de phlogistication de l'air soient réduits par cette méthode à des rapports justes & numériques». A: *Nouveaux mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres à Berlin*, p. 27-43.
- BERTHOLLET, Claude L. (1803). *Essai de statique chimique*. París: Fermin Didot. 2 v.
- BIOT, Jean B. (1807a). «Extrait d'une lettre de Mr. Biot à Mr. Berthollet». *Annales de Chimie*, 61, p. 271-281.
- (1807b). «Extract of a Letter from Mr. Biot to Mr. Berthollet». *A Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*, vol. 18, p. 123-128.
- (1808). «Einige Bemerkungen über die Absorption von Gasarten durch Wasser, und über die Eudiometrie, von Herrn Antonio de Marty in Tarragona; aus einem Briefe Biot's an Berthollet». *Annalen der Physik*, vol. 28, p. 417-426.
- DALTON, John (1808). *A New System of Chemical Philosophy*. Part I. Manchester: R. Bickerstaff.
- (1810). *A New System of Chemical Philosophy*. Part II. Manchester: R. Bickerstaff.
- (1819). «Memoir on Sulphuric Ether». *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, segona sèrie, vol. 3, p. 446-482.

- DALTON, John (1837). «Sequel to an Essay on the Consitution of the Atmosphere, Published in the Philosophical Transactions for 1826; with some Account of the Sulphurets of Lime». *Philosophical Transactions*, vol. 127, p. 347-363.
- DAVY, Humphry (1836-1840). *The Collected Works of Sir Humphry Davy*. Londres: Smit, Elder and Co. Cornhill. 9 v. [Editat pel seu germà John Davy]
- FONTANA, Felice (1775). *Descrizione ed usi di alcuni stromenti per misurare la salubrità dell'aria*. Florència: Gaetano Cambiagi.
- FOURCROY, Antoine F. (1805). «Eudiomètre», «Eudiométrie», «Laboratoire». A: *Encyclopédie méthodique*. Vol. 4: *Chimie et métallurgie*. París: Chez H. Agasse. 6 v.
- GIOBERT, Giovanni A. (1793). *Des eaux sulphureuses et thermales de Vaudier, avec des observations physiques, économiques et chimiques sur la vallée de Gesse et des remarques sur l'analyse des eaux sulphureuses en général*. Torí: Imprimerie de Jaques Fea.
- HENDERSON, Alexander (1804). «Experiments and Observations on the Change which the Air of the Atmosphere Undergoes by Respiration, Particularly with Regard to the Absorption of Nitrogen». *A Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*, vol. 8, p. 40-45.
- HENRY, William (1810). *The Elements of Experimental Chemistry*. Londres: J. Johnson and Co. 2 v.
- HOPE, Thomas C. (1803). «Account of a Simple Eudiometric Apparatus Constructed and Used by T. C. Hope». *A Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*, vol. 6, p. 61-62 i 210-212, làmines IV, XII.
- HUMBOLDT, Alexander F.; GAY-LUSSAC, Louis J. (1805). «Expériences sur les moyens eudiométriques et sur la proportion des principes constituans de l'atmosphère». *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts*, Pluviose an XIII, vol. 60, p. 129-168.
- INGENHOUSZ, Jan (1779). *Experiments upon Vegetables, Discovering their Great Power of Purifying the Common Air in the Sunshine, and of Injuring it in the Shade and at Night: To which is Joined a new Method of Examining the Accurate Degree of Salubrity of the Atmosphere*. Londres: P. Elmsly and H. Payne.
- LANDRIANI, Marsilio (1775). *Ricerche fisiche intorno allà salubritat dell'aria*. Milà: [s. n.]
- LAVOISIER, Antoine L. (1780). «Expériences sur la combinaison de l'alun avec les matières charbonneuses et sur les altérations qui arrivent à l'air dans lequel on fait brûler du pyrophore». *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, p. 363-372.
- MARTÍ I FRANQUÈS, Antoni de (1795). «Memoria sobre los varios métodos de medir la cantidad de ayre vital de la atmosfera». *Memorial Literario, Instructivo y Curioso de la Corte de Madrid*, p. 261-275, 347-360 i 389-404.
- (1801a). «Mémoire sur la quantité de l'air vital de l'atmosphère et sur les différentes méthodes de la mesurer». *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle*, vol. 52, p. 173-185.
- (1801b). «Memoir on the Quantity of Vital Air in the Atmosphere, and the Different Methods of measuring it». *The Philosophical Magazine*, vol. 9, p. 250-262.
- (1805). «Antonio de Martí's eudiometrische Untersuchungen, ausgezogen vom Herausgeber». *Annalen der Physik*, vol. 19, núm. 4, p. 389-393.
- PRIESTLEY, Joseph (1772). «Observations on Different Kind of Airs». *Philosophical Transactions*, vol. 62, p. 147-252.
- (1775). *Experiments and Observations of Different Kinds of Air*. Vol. 1. Londres: J. Johnson.

- PRIESTLEY, Joseph (1776). *Experiments and Observations of Different Kinds of Air*. Vol. 2. Londres: J. Johnson.
- (1777). *Experiments and Observations of Different Kinds of Air*. Vol. 3. Londres: J. Johnson.
- REBOUL, Henri P. I. (1788). «Description d'un eudiomètre atmospherique». *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, Inscriptions et Belles Lettres de Toulouse*, vol. 3, p. 378-383.
- SAUSSURE, Nicolas T. de (1809). «Observations sur la combustion de plusieurs espèces de charbon et sur le gaz hydrogène». *Annales de Chimie*, 71, p. 254-324.
- (1810). «Observations on the Combustion of Several Sorts of Charcoal, and on Hydrogen Gas». *A Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*, vol. 26, p. 161-175 i 300-309.
- SCHEELE, Carl W. (1780). *Chemical Observations and Experiments on Air and Fire*. Londres: J. Johnson.
- (1781). *Traité chimique de l'air et du feu*. Paris: Rue et Hôtel Serpente.
- (1782). «Expériences sur la quantité d'air pur qui se trouve dans notre atmosphère», *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts*, vol. 19, p. 79-82.
- TRAILL, Thomas S. (1849). «Memoir of Dr. Thomas Charles Hope, late Professor of Chemistry in the University of Edinburgh». *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, vol. 16, p. 419-434.
- VOLTA, Alessandro (1778). «Première lettre adressée à M. Priestley sur la inflammation de l'air inflammable mêlé à l'air commun dans des vaisseaux fermés, et sur les phénomènes que présentent sa décomposition et la diminution qu'il produit dans l'air respirable avec lequel on le mêle». *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts*, vol. 12, part 2 (novembre), p. 365-373.
- (1779). «Seconde lettre adressée à M. Priestley sur la inflammation de l'air inflammable mêlé à l'air commun dans des vaisseaux clos, et sur les phénomènes que présentent sa décomposition et la diminution qu'il produit dans l'air respirable avec lequel on le mêle». *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts*, vol. 13, part 1, p. 278-303.
- (1790). «Descrizione dell'eudiometro ad aria infiammabile il quale serve inoltre di apparato universale per l'accensione al chiuso delle arie infiammabili d'ogni sorta mescolate in diverse proporzioni con aria respirabile più o meno pura, e per l'analisi di quelle e di queste». *Annali di chimica ovvero raccolta di memorie sulle scienze, arti e manifatture ad essa relative*. Vol. 1, p. 171-231.
- (1791a). «Descrizione dell'eudiometro ad aria infiammabile il quale serve inoltre di apparato universale per l'accensione al chiuso delle arie infiammabili d'ogni sorta mescolate in diverse proporzioni con aria respirabile più o meno pura, e per l'analisi di quelle e di queste». *Annali di chimica ovvero raccolta di memorie sulle scienze, arti e manifatture ad essa relative*. Vol. 2, p. 161-209.
- (1791b). «Descrizione dell'eudiometro ad aria infiammabile il quale serve inoltre di apparato universale per l'accensione al chiuso delle arie infiammabili d'ogni sorta mescolate in diverse proporzioni con aria respirabile più o meno pura, e per l'analisi di quelle e di queste». *Annali di chimica ovvero raccolta di memorie sulle scienze, arti e manifatture ad essa relative*. Vol. 3, p. 36-45.

Fonts secundàries

- AJUNTAMENT DE TARRAGONA (ed.) (1985). *Miscel·lània Antoni de Martí i Franqués amb motiu de la commemoració del 150è aniversari de la seva mort, 1832-1982*. Tarragona: Ajuntament de Tarragona.
- ALTEMIR, José A. (2000). «Antoni Martí i Franqués, un científico de su tiempo». *Estudis Altfullencs*, núm. 24, p. 65-74.
- ANDERSON, Robert G. W. (2015). «Thomas Charles Hope and the Limiting Legacy of Joseph Black». A: ANDERSON, Robert G. W (ed.). *Cradle of Chemistry: The Early Years of Chemistry at the University of Edinburgh*. Edimburg: John Donald, p. 147-162.
- BENEDICT, Francis G. (1912). *The Composition of the Atmosphere with Special Reference to its Oxygen Content*. Washington: The Carnegie Institution of Washington.
- BERETTA, Marco (1995). «Introduzione». A: *Marsilio Landriani: Recherche fìsiche intorno alla salubrità dell'aria*. Florència: Giunti, p. 5-51.
- BERNAT, Pasqual (2011). «Antoni Martí i Franqués i el sexe de les plantes». *Recull de Treballs*, núm. 12, p. 40-51.
- BOANTZA, Victor D. (2013). «The Rise and Fall of Nitrous Air Eudiometry: Enlightenment Ideals, Embodied Skills, and the Conflicts of Experimental Philosophy». *History of Science*, vol. 51, p. 377-412.
- CAMÓS, Agustí (2013a). «Antoni de Martí i Franqués, la generació espontànea y la transformación de los organismos». *Asclepio*, vol. 65, núm. 2, p. 22-34.
- (2013b). «Antoni de Martí i Franqués i Fèlix Torres Amat: Ciència i dissidència religiosa a la Catalunya d'inici del segle XIX». *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, vol. 6, p. 55-86.
- (2016a). «Antoni de Martí i Franqués, ¿un genio aislado? La llegada del lamarckismo a Barcelona en la primera mitad del siglo XIX». *Dynamis*, vol. 36, núm. 2, p. 391-417.
- (2016b). «Antoni de Martí i Franqués i el debat sobre la febre groga que tingué lloc a Barcelona en els primers anys del segle XIX». *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, vol. 9, p. 105-136.
- (2018). «Juan Smith Sinnot y Antoni de Martí i Franqués en la vacunación de Tarragona del año 1801». *Asclepio*, vol. 70, núm. 1, p. 209-221.
- CROSLAND, Maurice P. (1967). *The Society of Arcueil: A View of French Science at the Time of Napoleon I*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- (2000). «“Slippery Substances”: Some Practical and Conceptual Problems in the Understanding of Gases in the Pre-Lavoisier Era». A: HOLMES, Frederic L.; LEVERE, Trevor H. (ed.). *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. Cambridge; Londres: The MIT Press, p. 79-104.
- DOYLE, W. P. (1982). «Thomas Charles Hope M. D., F. R. S. E., F. R. S. 1766-1844». *Scottish Men of Science*. Edimburg: Scotland's Cultural Heritage.
- FARRAR, Kathleen R. (1968). «Dalton's Scientific Apparatus». A: CARDWELL, D. S. L. (ed.). *John Dalton & The Progress of Science*. Manchester: Manchester University Press; Nova York: Barnes & Noble Inc., p. 159-186.
- GRAPÍ, Pere. (2001). «Antoni Martí i Franqués i la nova química del segle XVIII». *Estudis Altfullencs*, núm. 25, p. 51-58.
- (2019). *Inspiring Air: A History of Air-Related Science*. Delaware: Vernon Press.

- GRAU, Josep; BONET, Josep (2011). *Antoni de Martí i Franquès: La química de l'aire*. Tarragona: Publicacions URV.
- HANNAWAY, Owen; HANNAWAY, Caroline (1977). «La fermeture du cimetière des Innocents». *Dix-huitième Siècle*, núm. 9, p. 181-191.
- JULIA DE FONTENELLE, J. S. E. (1823). *Recherches historiques, chimiques, et médicales sur l'air marécageux*. París: Chez Gabon et Compagnie.
- LEVERE, Trevor H. (2000). «Measuring Gases and Measuring Goodness». A: HOLMES, Frederic L.; LEVERE, Trevor H. (ed.). *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. Cambridge; Londres: The MIT Press, p. 105-135.
- NIETO-GALAN, Agustí (1996). «Martí i Franquès, Carbonell i Bravo, i els usos de la nova química a la Catalunya il·lustrada». A: IZQUIERDO, Mercè; FIGUEROLA, Iris; GRAPÍ, Pere; NIETO-GALAN, Agustí; SÁNCHEZ, Montserrat (ed.). *Lavoisier i els orígens de la química moderna, 200 anys després (1794-1994)*. Barcelona: IEC, p. 159-184.
- PARTINGTON, James R. (1961-1970). *A History of Chemistry*. Londres: Macmillan; Nova York: St. Martin's Press. 4 v.
- QUINTANA I MARÍ, Antoni (1932). «Martí d'Ardenya, ciutadà i home de ciència». *Ciència: Revista Catalana de Ciència i Tecnologia*, vol. 7, núm. 48, p. 100-111.
- (1935). *Antoni de Martí i Franquès: memòries originals, estudi biogràfic i documental*. Barcelona: Nebots de López Robert i Cia. [Memòries de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, tercera època, núm. 24]
- (1985). «Biografia desapassionada d'Antoni de Martí i Franquès». A: *Miscel·lània Antoni de Martí i Franquès amb motiu de la commemoració del 150è aniversari de la seva mort, 1832-1982*. Tarragona: Ajuntament de Tarragona, p. 47-88.
- ROCKE, Alan J. (1984). *Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro*. Columbus: Ohio University Press.
- ROSCOE, Henry E.; HARDEN, Arthur (1896). *A New View of the Origin of Dalton's Atomic Theory: A Contribution to Chemical History*. Londres; Nova York: Macmillan and Co.
- ROVIRA, Salvador (1982). *Antoni Martí i Franquès i l'Altafulla del seu temps (1750-1832)*. Altafulla: Centre d'Estudis d'Altafulla.
- TARTAR, Herman V. (1914). «The Reaction between Sulfur and Calcium Hydroxide in Aqueous Solution». *Journal of the American Chemical Society*, vol. 36, núm. 3, p. 495-498.
- USSELMAN, Melvin C.; LEAIST, Derek G.; WATSON, Katherine D. (2008). «Dalton's Disputed Nitric Oxide Experiments and the Origins of His Atomic Theory». *ChemPhysChem*, vol. 9, p. 106-110.
- WATERMANN, Rembert (1968). «Eudiometrie, 1772-1805». *Technikgeschichte*, vol. 35, núm. 4, p. 293-319.
- WILSON, George (1851). *The Life of the Honourable Henry Cavendish*. Londres: Harrison and Son.