

# L'ozó o un compost esquizofrènic. Dr. Jekyll i Mr. Hyde

Eric Jover i Comas

Universitat de Barcelona. Facultat de Física. Departament de Física Aplicada i Òptica. A. e.: [ejover@ub.edu](mailto:ejover@ub.edu)

**E**n la societat occidental actual, qui més qui menys pateix d'algun trastorn psicològic (o, per dir-ho d'una manera més planera, està una mica tocat del bolet). És evident, però, que aquestes diguem-ne «faltes d'equilibri» no són tan sols propietat dels humans; així, per exemple, qui no ha hagut de compartir veïnatge amb un gos sàdic que, sabent exactament el dia que necessites descansar per preparar aquella reunió tan important que decidirà el teu futur professional, decideix fer-te la guitza tota la nit i no et permet aclucar l'ull? De la mateixa manera, podríem estar-nos dies parlant dels gossos salsitxa mancats d'autoestima, dels pit bulls agressius i d'un llarg etcètera d'altres patologies. En aquest sentit, és curiós com també podem trobar «problemes» en alguns compostos químics. Un clar exemple és l'ozó; aquest compost és una mica similar al famós Dr. Jekyll i Mr. Hyde, ja que també presenta una marcada doble personalitat.

L'ozó (O<sub>3</sub>) és un compost químic que presenta efectes molt diferenciats i que pot ser extremament positiu o negatiu en funció d'on es troba. El bo, com moltes altres coses, el vàrem començar a valorar quan va començar a faltar! És el que es coneix com a *forat de la capa d'ozó*, descobert l'any 1985 pel British Antarctic Survey. Al voltant de la Terra, a uns 25 quilòmetres d'altura, a l'estratosfera, existeix una capa d'ozó que filtra una gran part dels rajos ultraviolats de la llum solar que arriben a la Terra i que poden incidir, entre d'altres, en la freqüència dels càncers de pell, en les cataractes i en les deficiències immunològiques, alhora que poden tenir greus conseqüències en l'ecosistema. La concentració segueix un equilibri estacional a causa de les reaccions fotoquímiques que el formen i d'algunes que el destrueixen, anomenades *reaccions de Chapman* (figura 1). El gran problema ve quan els humans hem introduït en el medi ambient substàncies que han trencat aquest equilibri. Les substàncies en qüestió són majoritàriament els clofluorocarburs i algunes altres substàncies també clorades o bromades que, a l'estratosfera, actuen com a catalitzadores de la destrucció de l'ozó. En aquest sen-

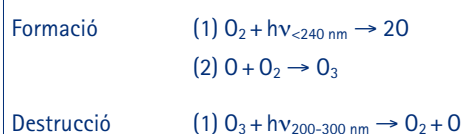


FIGURA 1. Reaccions de Chapman de formació i d'eliminació de l'ozó estratosfèric.



FIGURA 2. Reaccions de destrucció de l'ozó catalitzades per compostos halogenats.

tit, cal destacar que un sol radical de clor provenint d'una d'aquestes molècules pot arribar a destruir unes cent mil molècules d'ozó (figura 2). Aquests productes eren àmpliament presents en la nostra vida quotidiana i es trobaven, per exemple, en les neveres i en la majoria dels esprais. Després d'aparèixer evidències científiques dels efectes d'aquestes substàncies, la comunitat internacional va desenvolupar, l'any 1987, el Protocol de Mont-real, que buscava una limitació de la seva presència. En l'actualitat, cent norant-dos països són signataris d'aquest protocol. Aquest protocol és un dels pocs que ens fan pensar que la col·laboració internacional pot ser un estrí efficient. L'antic secretari de les Nacions Unides, Kofi Annan, així ho confirmà afirmant que «potser l'acord internacional amb més èxit a data d'avui ha estat el Protocol de Mont-real». En efecte, aquest protocol ha permès reduir la producció de les substàncies responsables de la destrucció de l'ozó estratosfèric en un 95 %. Una altra prova de la importància que la comunitat internacional ha donat a aquesta temàtica és el Premi Nobel de Química de l'any 1995, que va recaure en Paul Crutzen, Mario J. Molina i F. Sherwood Rowland pel seu treball en química atmosfèrica i, més particularment, pels seus estudis en la formació i en la destrucció d'ozó.

En l'actualitat, científics d'arreu continuen investigant la dinàmica i les conseqüències del forat de la capa d'ozó emprant les tecnologies més punteres, com per exemple les mesures a través de satèl·lit, com ara el satèl·lit Aura de la NASA, llençat l'any 2004, i els satèl·lits de l'ESA Envisat, llençat l'any 2002, i el MetOp, llençat l'any 2006. El forat de la capa d'ozó, també influenciat per fenòmens meteorològics, va aconseguir un trist rècord l'any 2006 cobrint a l'hemisferi sud 28 milions de quilòmetres quadrats i arribant a mínims de concentració d'ozó a la zona de l'Antàrtic. Segons l'Agència Espacial Europea, aquests nivells no s'haurien de començar a recuperar fins al 2060. També s'està estudiant quines conseqüències tindrà sobre el canvi climàtic la recuperació de la capa d'ozó, ja que les temperatures a l'Antàrtic han baixat en els darrers anys a causa, en part, del forat. Així, doncs, la seva recuperació podria tenir com a conseqüència l'empitjorament del canvi cli-

màtic a l'hemisferi sud. Pel que fa l'hemisferi nord, no s'ha arribat a formar cap forat a la capa d'ozó, però sí que cada primavera s'observen disminucions considerables del seu gruix. Cal destacar que, mentre que la zona de l'Antàrtic es troba força deshabitada, a l'Àrtic, un forat equivalent tindria unes conseqüències molt pitjors a causa de la seva densitat de població.

Després de veure aquesta cara més amable de l'ozó, ens toca conèixer la seva variant més malèvola. El protector ozó que ens esmorteix els rajos solars a l'estratosfera esdevé agressiu a prop de la crosta terrestre. Per sort, a la troposfera, la zona més baixa de l'atmosfera, la concentració d'ozó és molt més reduïda que a les capes altes. Malauradament, aquí també els humans hi hem posat cullerada!

Els processos de combustió a alta temperatura, com per exemple els que es donen en els motors de combustió, alliberen contaminants primaris anomenats *òxids de nitrogen* ( $\text{NO}_x$ ) que reaccionen amb els compostos orgànics volàtils per formar, a través de reaccions fotoquímiques, l'ozó (figura 3). Per aquest motiu, perquè no el generem nosaltres directament, es considera l'ozó com un contaminant secundari. La contaminació per  $\text{NO}_x$  està causada principalment pel transport, i així, les seves concentracions més importants es formen majoritàriament en nuclis urbans. Aquests  $\text{NO}_x$ , un cop emesos, viatgen en funció de les dinàmiques atmosfèriques i poden anar formant, si es donen les condicions adients, l'ozó. Per això els punts de contaminació per ozó no sempre es corresponen amb les zones de màxims dels contaminants primaris, sinó que sovint es troben decalats en funció dels corrents atmosfèrics. Cal destacar, a més, que en les reaccions de formació de l'ozó és necessària la radiació solar, tal com hem vist a la figura 3. Per aquest motiu, la concentració d'ozó a la troposfera seguirà un cicle marcat per la irradiació solar, amb uns nivells mà-

xims durant el dia i amb uns nivells mínims durant la nit. Els compostos orgànics volàtils tenen el rol de mantenir la majoria dels  $\text{NO}_x$  sota la forma de  $\text{NO}_2$ , i així limitar les reaccions de destrucció de l'ozó i, doncs, maximitzar-ne la concentració.

L'ozó presenta una marcada toxicitat relacionada sobretot amb el seu elevat potencial d'oxidació. Tant directament com a través de la formació de radicals, aquest contaminant afecta principalment les vies respiratòries (irritacions, increment de la incidència de l'asma i altres afeccions) i altres mucoses. L'ozó també afecta negativament, per les mateixes raons, els ecosistemes naturals. Aquests fets han provocat que s'hagin establert legislacions específiques referents a aquest contaminant que busquen la limitació de les concentracions en el medi ambient. En aquest sentit, la Directiva Europea 2002/3/CE, relativa a l'ozó de l'aire ambient, fixa els valors objectius que no s'han de superar a partir del 2010 i les concentracions en les quals es requereix actuar: 1)  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que no hauran de superar-se més de vint-i-cinc dies per any civil en una mitjana de tres anys (màxim de les mitjanes sobre vuit hores del dia); 2) nivell d'informació:  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (mitjana horària), i 3) nivell d'alerta:  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (mitjana horària). En el cas de Catalunya, l'any 2008 es disposava de cinquanta-una estacions de vigilància de l'ozó i, durant aquell any, no es va observar cap superació del nivell d'alerta, però sí superacions del llinar d'informació en vuit estacions, i en quaranta-tres estacions es va arribar als  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en alguna ocasió (Generalitat de Catalunya, 2008). Així, doncs, l'ozó és un contaminant atmosfèric que s'ha de tenir especialment en consideració. S'estan fent nombrosos esforços per limitar les concentracions dels seus precursors (compostos orgànics volàtils i  $\text{NO}_x$ ) a l'atmosfera. La inclusió de catalitzadors de tres vies en els automòbils ha permès el fet de reduir-ne substancialment les concentracions. Però també existeixen altres vies de prevenció i així s'han d'entendre les noves limitacions de velocitat als voltants de l'àrea metropolitana de Barcelona. Però, quan aquestes mesures no són suficients i se supera el nivell d'informació, s'ha de seguir una sèrie de recomanacions que, per exemple, inclou el fet de limitar els esforços físics i les activitats exteriors per a les persones especialment sensibles (persones amb problemes respiratoris, gent gran i nens petits). En cas de superar els nivells d'alerta, es pot limitar la circulació de cotxes o camions, l'activitat d'algunes indústries o la prohibició d'algunes activitats com, per exemple, la realització de treballs de pintura a l'exterior (a causa de les elevades emissions de compostos orgànics volàtils).

Formació	(1) $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{O} + \text{NO}$ (2) $\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$
Destrucció	$\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$
Reacció que permet formar la destrucció de l'ozó	$\text{COV} + 2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{RCHO} + 2\text{NO}_2$

FIGURA 3. Reaccions simplifiades de formació i de destrucció de l'ozó a la troposfera. M és habitualment  $\text{N}_2$  o  $\text{O}_2$ . COV (Compostos Orgànics Volàtils).

Però l'agressivitat de l'ozó, si està ben domada, també ens pot resultar d'una certa utilitat. D'aquesta manera, l'ozó és cada cop més emprat com a desinfectant en el tractament de les aigües. El seu ús permet evitar, com a mínim en part, el problema de la generació de subproductes de desinfecció com els trihalometans quan s'utilitza clor o algun dels seus derivats. Finalment, recentment estan apareixent formes terapèutiques basades en les propietats oxidatives de l'ozó. Així, per exemple, en contacte amb la sang, és capaç de generar  $H_2O_2$  i productes d'oxidació dels lípids que actuen com a missatgers farmacològics en l'organisme i que han demostrat efectes beneficiosos.

Tal com veieu, no tan sols els éssers vius demostren estats d'ànim, sinó que fins i tot les molècules poden semblar més humanes del que sovint ens pensem...

## Referències bibliogràfiques

Per als qui estiguin interessats a ampliar coneixements entorn de la temàtica de l'ozó estratosfèric, recomano fortament la lectura dels documents següents:

*Montreal Protocol, on substances that deplete the ozone layer. 20 years of success* [en línia]. Nova York: Nations Development Programme, 2007.

<<http://www.undp.org/chemicals/montrealprotocol.htm>>

[Publicat per commemorar el vintè aniversari d'aquest protocol]

*Resum de la campanya de vigilància dels nivells d'ozó troposfèric durant l'any 2008* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2008.

<[http://mediambient.gencat.net/Images/eng/104\\_160095.pdf](http://mediambient.gencat.net/Images/eng/104_160095.pdf)>

[Consulta: novembre 2009]