

L'aigua, com més alta menys pura

Water: the higher the altitude, the less pure it is

Eric Jover / Departament de Física Aplicada i Òptica. Facultat de Física. Universitat de Barcelona.



resum

En aquest article es refuta el tòpic, acceptat molt àmpliament, que considera les zones muntanyenques com a poc contaminades. Després de descriure les limitacions del model de dispersió clàssic per explicar la distribució dels contaminants en el nostre món, introduïrem el concepte de transport atmosfèric a llarga distància i el fenomen de la destil·lació global, el qual implica la condensació de contaminants en les zones fredes del planeta. Després de descriure'n l'efecte potencial en l'Àrtic, mostrarem com té lloc el mateix efecte a les zones muntanyenques i en concret donarem alguns exemples d'investigacions que s'han realitzat als Pirineus.

paraules clau

contaminació, Pirineus, transport atmosfèric a llarga distància

abstract

This paper denies the well known topic considering mountains as pollution free areas. After describing the limitations of the dispersion model to acknowledge for the observed pollutants distribution, we will introduce the global distillation model based on the pollutants' long range atmospheric transport. This phenomenon induces the condensation of the pollutants in earth cold areas, in this way, we will describe its potential negative effect on Arctic area and then, as this model also applies to mountain systems, we will present some of the research works which have been carried out in the Pyrenean Mountains.

key words

pollution, Pyrenees, long range atmospheric transport

Introducció

Amb aquest lema publicitari, lleugerament retocat, d'una empresa d'aigua mineral pirinenca ara ja desapareguda, vull cridar la vostra atenció sobre un tema mal conegut, al menys del gran públic, i que crec pot ser del vostre interès. La gent associa els

indrets apartats de les aglomeracions i de les grans zones industrials amb zones bucòliques on regna una harmonia pura i natural. Més en concret, les serralades muntanyenques, com ara per exemple els Pirineus, s'han associat aquests últims decennis amb indrets on escapar-se de l'atrafegament i de la contaminació de les gran ciutats. Qui no ha vist espots publicitaris relacionats amb els Pirineus on es veu tots els actors inspirar profundament fins a gairebé la hiperventilació? Però, són realment regions menys contaminades?

gament i de la contaminació de les gran ciutats. Qui no ha vist espots publicitaris relacionats amb els Pirineus on es veu tots els actors inspirar profundament fins a gairebé la hiperventilació? Però, són realment regions menys contaminades?

N'hi ha prou amb els models de dispersió?

L'opinió clàssica pel que fa referència a la distribució de la contaminació a partir d'un focus emissor és el model de dispersió, segons el qual, quan més ens allunyem de la font contaminant, menors seran les concentracions dels compostos contaminants. En aquest sentit doncs, les muntanyes haurien de ser realment un lloc poc contaminat ja que no solen presentar un dens teixit industrial i es troben relativament allunyades de les principals zones industrials. De fet, fins i tot des d'un punt de vista demogràfic, acostumen a tenir densitats de població molt inferiors a les zones de la plana o de la costa. En efecte, les comarques de l'Alt Urgell i la Vall d'Aran tenen densitats de 14,9 i 15,5 hab/km² respectivament i en canvi el Baix Empordà i el Baix Llobregat tenen densitats de 180,2 i 1.588,5 hab/km² respectivament (Idescat, 2008). Aquest contrast encara es faria més evident si consideréssim la comarca del Barcelonès.

Però el model de dispersió és vist, cada cop més, com insuficient per explicar l'estat de contaminació del nostre planeta.

Aquests últims anys s'han multiplicat els estudis científics que mostren un elevat nivell de contaminació en zones remotes, com ara els pols, molt allunyades de les activitats humanes contaminants.

Aquí és necessari que faci un incís per detallar alguns exemples de contaminants que es comporten d'aquesta manera, ja que el seu comportament en el medi natural depèn molt de les seves propietats fisicoquímiques. Estem parlant de compostos químics que siguin relativament volàtils (volàtils o semivolàtils) i que no es degradin fàcilment (compostos persistents). Fem referència, sobretot, a compostos organohalogenats (compostos orgànics que contenen àtoms de clor, brom o fluor). Com a exemples podríem considerar el famós plaguicida DDT o les dioxines i furans (subproductes dels processos de combustió) per a les substàncies clorades; els polibromodifenil èters (compostos retardants

de flama) per a les substàncies bromades; i els àcids perfluorats per a les substàncies fluorades (subproductes, entre d'altres, d'algunes escumes antiincendis). Aquests compostos a més tenen una altra característica: solen ser lipòfils, és a dir, es dipositen als greixos. Així doncs, els organismes vius d'aquestes regions els bioacumulen. Els que més pateixen aquest fenomen són els animals situats a la part més alta de la cadena tròfica, en els quals alguns compostos magnifiquen el seu efecte. Per exemple, si posem en ordre alguns elements d'una cadena tròfica, les concentracions de contaminants augmenten en el mateix ordre que els esglaons de la cadena:

fitoplàncton < zooplàncton < peixos que s'alimenten de plàncton < peixos que s'alimenten de peixos < grans depredadors.

Així per exemple, el bacallà de l'Àrtic pot presentar concentracions de policlorobifenils (retardant de flama) en el greix fins a sis vegades més elevades que les que presenta el plàncton que consumeix (Borjà, 2001). En aquest sentit, s'han trobat nivells molt elevats d'aquests compostos

en els teixits dels óssos polars (esglaó més alt de la cadena tròfica) arribant fins i tot a nivells tòxics. Recentment, investigadors danesos i canadencs han demostrat la relació, causa a efecte, existent entre les concentracions de compostos organohalogenats en la sang dels ossos i les dimensions dels òrgans sexuals tant en mascles com en femelles (Sonne et al, 2006), evidentment, això pot tenir com efecte una disminució de les taxes de fertilitat d'aquests animals.

La problemàtica s'agreuja si considerem d'altres factors. Com hem dit, aquests contaminants són persistents; així doncs, es queden en el medi durant llargues durades de temps abans que aconseguixin degradar-se. De fet, l'ús d'alguns contaminants organoclorats ja ha estat prohibit o restringit però encara els trobem, degut a aquesta persistència, durant molts anys. Un altre factor és que es coneix relativament bé la toxicitat d'aquests compostos individualment però no se sap com poden afectar conjuntament. Les barreges de contaminants poden tenir efectes molt diferents des de la suma de

Aquests últims anys s'han multiplicat els estudis científics que mostren un elevat nivell de contaminació en zones remotes, com ara els pols, molt allunyades de les activitats humanes contaminants



Font contaminant, Wikimedia Commons

les toxicitats individuals, la reducció de la toxicitat o fins a la multiplicació d'aquesta. Finalment, un altre factor que cal considerar és que en els ecosistemes polars les diferents espècies es troben sotmeses a un elevat estrès ambiental a causa de les extremes condicions meteorològiques que han de patir. Aquestes espècies són llavors molt més fràgils i, per exemple, una lleugera disminució de la seva fertilitat per culpa de la contaminació, pot tenir efectes dramàtics en tot l'ecosistema. Així doncs, més estudis són necessaris per a copsar completament quin efecte pot tenir en el temps aquest fenomen de contaminació en els ecosistemes polars.

El fenomen de la destil·lació global

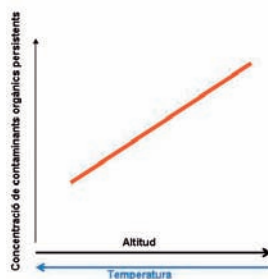
Però, perquè s'observen aquests nivells de contaminació més elevats als pols? Principalment i senzillament, perquè hi fa fred. Hem d'imaginar una zona industrial o una ciutat com una única xemeneia de la qual surten vapors contaminants calents que viatjaran al grat del vent fins que el fred els faci condensar i acumular-se en un indret. Les emissions d'alguns contaminants de les zones temperades viatgen fins a dipositar-se en les zones polars, un fenomen que es coneix com a destil·lació global. En aquest sentit, com que hi ha molta més activitat industrial a l'hemisferi nord que a l'hemisferi sud, els nivells de concentració observats al Pol Nord són superiors als trobats al Pol Sud.

Aquest transport a llarga distància dels contaminants té implicacions diverses ja siguin polítiques, econòmiques o socials. La contaminació no hi entén de diplomàcia ni de fronteres. Per aquesta raó ens trobem que contaminants emesos en un país poden viatjar per contaminar zones dels països veïns. En aquest sentit es va desenvolupar el Conveni de Ginebra de 1979 sobre la contaminació atmosfèrica transfronterera que a dia d'avui han ratificat 51 països d'arreu del món. Tot i que s'havia desenvolupat pensant en el model de dispersió clàssica, també pot ser

d'utilitat en el nostre cas, ja que els seus objectius inclouen tant la protecció de l'home com la del medi ambient. Pel que fa l'economia i el model de societat, la contaminació a llarga distància implica que les despeses relacionades amb l'impacte d'aquests compostos en el medi ambient no estan internalitzades en els seus processos de producció ni de comercialització. Així doncs, ens trobem davant d'un sistema no sostenible, ja que estem contaminant, de manera anònima (a llarga distància no és possible discernir fonts puntuals de contaminació) i sense de moment assumir-ne les conseqüències.

Com afecta la destil·lació global als Pirineus?

El mateix procés que implica el transport i la concentració dels contaminants a latituds més altes fins a arribar als pols també es dona en els sistemes muntanyosos. A les muntanyes s'observa una variació de la temperatura que depèn del gradient altitudinal que també provoca que els contaminants s'hi condensin (Gràfica 1). Aquest fenomen va merèixer una sessió específica durant el congrés internacional de la SETAC (Societat de Toxicologia i Química Ambiental) a Milà el 2004. La sessió portava per títol *Role of High Mountains in the Global Transport of Persistent Organic Pollutants (Funció de l'alta muntanya en el transport global de contaminants orgànics persistents)* i va donar lloc a la publicació d'un número monogràfic de la revista científica internacional *Ecotoxicology and Environmental Safety*.



Gràfica 1. Evolució de la concentració de contaminants orgànics persistents en zones no impactades directament en funció de l'altitud i de la temperatura ambiental.

Més en concret, i a escala regional, també tenim aquest fenomen de destil·lació, i alguns dels compostos contaminants que aboquen ciutats importants i zones industrials situades a les planes s'acumulen en les zones més fredes dels Pirineus. Aquest fet ja ha estat descrit en diferents estudis científics que inclouen els Pirineus entre els seus punts de mostreig. Com a exemples i sense pretendre ser exhaustius, s'ha trobat que els nivells de substàncies organohalogenades en peixos de llacs pirinencs era major quan a més alçada es trobaven (Gallego et al, 2007) aquest tipus de correlació també s'han trobat per aquests mateixos compostos en les agulles de pi (Blais et al, 2006). Cal destacar que en una d'aquestes publicacions també s'ha observat un augment de la concentració del mercuri en funció de l'altitud, arribant-se a nivells elevats en els peixos (Grimalt et al, 2006). Per alguns dels peixos mostrejats, corresponent a llacs d'alta muntanya (>2.100 m d'altitud) es va fins i tot arribar a superar els nivells guia establerts per al consum de peix de l'Organització Mundial de la Salut. Amb aquesta mena d'exemples, és fàcil de veure la rellevància d'aquest fenomen i que més estudis són encara necessaris per a arribar a copsar exactament aquesta problemàtica. Però els nous estudis, no són tan sols nous estudis de camp, sinó que també es corresponen amb estudis teòrics que busquen a modelitzar el transport atmosfèric a llarga distància en funció de les propietats fisicoquímiques dels compostos considerats. Aquesta mena de treballs ha de representar un important salt endavant ja que es passarà, d'observar aquest fenomen a poder-lo preveure. Aquests models seran excel·lents estris per a avaluar l'impacte ambiental potencial, en aquesta temàtica, de noves substàncies a fi de poder regular-ne la producció, l'ús i les emissions. Així es podria fer una tasca de prevenció evitant-se introduir en el medi ambient noves substàncies potencialment acumulables en zones fredes.

Matisant un tòpic

Però tornant al nostre cas, ens trobem que el tòpic insinuat en el títol es troba contradit per un fenomen físic que provoca que al Pirineu arribi la contaminació que es genera en d'altres indrets. Així doncs, és veritat que les nostres muntanyes no són tan impol·lutes de contaminants com ens les imaginem però cal insistir que si que continuen essent igual de belles! Així, com a mínim pel que fa a la contaminació visual, aquest tòpic continuaria essent vàlid. No obstant, fins i tot aquesta parcel·la de veritat es troba en perill pel model de creixement desmesurat que massa sovint se'ns presenta com l'únic vàlid. Així es pot reflexionar en la no sostenibilitat ambiental del actual model de societat i a adonar-nos que de vegades les conseqüències de les nostres decisions s'han d'estudiar amb la suficient perspectiva geogràfica i temporal per avaluar-les en la seva totalitat.



Llac de Fontargent, Pirineu.
Fotografia d'E. Jover.

Potencial pedagògic

Aquest exemple de tòpic que es contradia, com a mínim parcialment, amb la realitat és molt interessant ja que és compartit per la majoria de la població, incloent-hi els alumnes. A més, les lleis físiques que el contradueixen són ben comprensibles. De fet, per entendre el fenomen de condensació aplicat al transport atmosfèric a llarga distància de contaminants tan sols



Mapa dels Pirineus. Eric Gaba, Wikimedia Commons

hem de posar una cassola d'aigua a bullir, considerar-la com la nostra indústria o ciutat, i veure com l'aigua, gas que es correspondria amb els nostres contaminants, condensa quan es refreda suficientment, per exemple, quan entra en contacte amb la tapa de la cassola.

Referències bibliogràfiques

- BLAIS, J.M.; CHARPENTIE, S.; PICK F.; KIMPE L.E.; ST. ARMAND, A.; REGNAULT-ROGER, C., (2006) "MERCURY, polybrominated diphenyl ether, organochlorine pesticide, and polychlorinated biphenyl concentrations in fish from lakes along an elevation transect in the French Pyrénées" *Ecotoxicology and Environmental Safety*, núm 63, pp. 91-99.
- BORGÅ, K.; GABRIELSEN, G.W.; SKAARE, J.U. (2001) "Biomagnification of organochlorines along Barents sea food chain", *Environmental Pollution*, núm 113, pp. 187-198.
- GALLEGO, E.; GRIMALT, J.O.; BARTRONS, M.; LOPEZ, J.F.; CAMARERO, L.; CATALAN, J.; STUHLIK, E.; BATTARBEE, R., (2007) "Altitudinal gradients of PBDEs and PCBs in fish from European high mountain lakes." *Environmental Science & Technology*, núm 41, pp. 2.196-2.202.
- GRIMALT, J.O.; VAN DROOGE, B.L., (2006), "Polychlorinated biphenyls in mountain pine (*Pinus uncinata*) needles from Central Pyrenean high mountains (Catalonia, Spain)" *Ecotoxicology and Environmental Safety*, núm 63, p. 61-67.
- SONNE, C.; LEIFSSON, P.S.; DIETZ, R.; BORN, E.W.; LETCHER, R.J.; HYLDSTRUP, L.; RIGET, F.F.;

KIRKEGAARD, M.; MUIR, D.C.G. (2006) "Xenoendocrine pollutants may reduce size of sexual organs in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*)", *Environmental Science & Technology*, núm 40, pp.5.668-5.674.

<http://www.idescat.cat/>, revisat novembre 2008. Institut d'Estadística de Catalunya, http://www.unece.org/env/lrtap/lrtap_h1.htm, revisat novembre 2008. Convention on long-range transboundary air pollution



Eric Jover Comas

Eric Jover i Comas és investigador postdoctoral Juan de la Cierva. Treballa al grup FEMAN, IN2UB del Departament de Física Aplicada i Òptica de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona. És secretari de la Junta directiva de la Societat Catalana de Química i membre de la Junta Directiva de la Societat Andorrana de Ciències. Treballa en línies d'investigació relacionades amb el desenvolupament de nanopartícules, de metodologies analítiques basades en eines cromatogràfiques i en l'estudi de la contaminació ambiental. ejover@ub.edu