

PLUJA ÀCIDA. EFECTES SOBRE EL SÒL

per

ANNA ÀVILA

CREAF. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra

CAUSES DE LA PLUJA ÀCIDA

En l'actualitat, la precipitació en molts països industrialitzats és bàsicament una solució diluïda d'àcid sulfúric i d'àcid nítric, fenòmen que ha estat amplament divulgat amb el nom de pluja àcida. Aquests àcids a la pluja s'originen per transformació del diòxid de sofre (SO_2) i dels òxids de nitrogen (NO_x) emesos a la atmosfera en la combustió dels hidrocarburs fòssils i en alguns processos industrials. Les principals fonts d'emissió de SO_2 són les centrals tèrmiques i la indústria pesada, mentre que gran part de les emissions de NO_x procedeixen dels motors dels automòbils.

Tant el SO_2 com el NO_x poden ser oxidats en l'atmosfera per una cadena de complexos processos físics i químics, fins a donar l'àcid sulfúric i l'àcid nítric, els quals poden incorporar-se, per diferents mecanismes, a l'aigua de la pluja. En absència de quantitats suficients de substàncies neutralitzades en l'atmosfera, com per exemple els carbonats o l'amoníac, aquests àcids donaran lloc a una precipitació amb una acidesa lliure major que la que tindria la precipitació "natural"; o el que és el mateix, amb un pH més àcid. El grau en què la concentració d'anions en la pluja ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$) supera a la concentració de cations bàsics i amoni ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{NH}_4^+$) determina l'acidesa de la precipitació.

La pluja àcida, o la deposició d'àcid per via humida, és només un aspecte del problema. Substàncies àcides o precursors d'àcids poden també depositar-se directament sobre la vegetació, el sòl, o les aigües mitjançant l'absorció o l'adsorció de gasos, com el diòxid de sofre (SO_2), el diòxid de nitrogen (NO_2), o l'àcid nítric gasós (HNO_3), i mitjançant la impactació d'aerosols àcids, sense la mediació de la pluja. És el que s'ha anomenat deposició seca d'àcid. L'acidesa associada a la deposició seca sovint iguala o supera a la de la precipitació, sobretot en regions poc plujoses.

Per altra banda, els òxids de sofre i de nitrogen poden ser transportats pels corrents dominants d'aire fins a grans distàncies. Per aquest motiu, depenent de la velocitat del vent, de la cinètica de la formació dels àcids, i de la eficiència amb què els processos de deposició seca i humida retiren de l'atmosfera els àcids sulfúric i nítric i els seus òxids precursors, les àrees més afectades per les pluges àcides poden trobar-se a centenars de quilòmetres de les àrees urbano-industrials. Aquest fet determina que les pluges àcides siguin sovint un problema d'escala regional o continental, on la contaminació generada en àrees emissores pot depositar-se en forma àcida sobre ecosistemes de zones remotes.

Des de principis de la dècada dels anys setanta s'ha dedicat un gran esforç a estudiar la deposició d'àcid i els efectes que produeix en els ecosistemes forestals i aquàtics. No obstant, és molt difícil d'obtenir una descripció única i general: els científics que intenten avaluar els efectes de la deposició àcida en els sistemes sòl-planta i en ecosistemes aquàtics es troben en que hi ha una munió de reaccions químiques i de processos biològics en les que l'ió hidrogen es troba involucrat. Per tal de comprendre-ho millor, es necessari conèixer en detall la dinàmica d'uns pocs processos edàfics fonamentals.

És obvi que els problemes d'acidificació es presenten bàsicament en sòls desprovistos de carbonats. Les regions més sensibles són les que estan sotmeses a una deposició important d'àcid, tenen una litografia resistent a la meteorització, i es troben sota un clima humit on la precipitació supera a la evapotranspiració, al menys en part de l'any, de manera que hi ha percolació de soluts per sota de la rizosfera.

CONCEPTES FONAMENTALS DE L'ACIDIFICACIÓ DELS SÒLS

Una de les característiques més importants dels sòls és el complex d'intercanvi catiònic (càrregues negatives situades a la superfície de les argiles o de la matèria orgànica del sòl). En sòls alcalins o neutres, les càrregues negatives estan combinades amb cations bàsics, com Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , i K^+ . En sòls àcids minerals, dominen les espècies d'alumini (Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$) formades per dissolució de silicats, i en sòls àcids orgànics el catió d'intercanvi dominant és el H^+ . La relació entre els cations bàsics i les formes de l'alumini i H^+ ens determina l'acidesa del sòl.

La tendència a l'acidificació del sòl depèn de processos que o bé incrementin el nombre de càrregues negatives al complex d'intercanvi catiònic (p.ex. acumulació de la matèria orgànica o formació d'argiles), Per contra, la tendència a l'alcalinització del sòl vindria determinada per processos que reduixin les càrregues negatives (p.ex. destrucció de la

matèria orgànica pel foc) o acumulin cations bàsics (p.ex. meteorització o aportacions externes en la precipitació).

Per entendre millor l'acidificació dels sòls, és útil distingir entre els conceptes de capacitat i intensitat. Capacitat es refereix a la quantitat d'elements emmagatzemada al sòl. En relació a l'acidificació, capacitat es refereix a les quantitats totals al sòl de Al^{3+} o de H^+ , o a les de cations bàsics en el complex d'intercanvi i en els minerals meteoritzables. La pluja àcida provoca un increment dels estocs d'acidesa intercanviable, directament per l'adició de H^+ , o, indirectament, per la producció de Al^{3+} intercanviable com a resultat de la reacció de H^+ amb els minerals del sòl. Un altre efecte de la pluja àcida és la reducció de les bases intercanviables, que són substituïdes per espècies de l'alumnini en el complex d'intercanvi. Els cations bàsics alliberats són lixiviats del sistema en associació amb els anions SO_4^{2-} i NO_3^- procedents de la deposició àcida. De tota manera, com que el compartiment d'acidesa intercanviable es la majoria de sòls és molt gran en relació a l'entrada d'acidesa en la deposició, els efectes de la pluja àcida només es manifestaran a llarg plaç (dècades o centenars d'anys), o només tindran una influència gran en sòls àcids on el compartiment de bases intercanviables és ja molt reduït.

Referent a la intensitat, aquesta es defineix com la concentració d'elements en la solució del sòl. Els canvis de concentració del ió H^+ són importants per la relació que guarda el pH amb la mobilització del alumini. Les concentracions d'altres elements estan governades per processos físico-químics d'equilibri entre el sòl i la solució del sòl i poden ser alterades per la deposició àcida: per exemple, quan més concentrada és la solució del sòl (per exemple, per l'entrada de SO_4^{2-} i NO_3^- de la pluja àcida), més gran és la proporció d'ions de valència alta respecte els de valència inferior (més proporció de Al^{3+} respecte Ca^{2+} i Mg^{2+} , o d'aquests respecte Na^+ i K^+) a la solució del sòl.

Així, en sòls molt àcids, hi ha una mobilització dels compostos de l'alumini, que passen a la solució del sòl. Això té efectes indesitjables perquè l'alumini i les seves espècies són tòxics per a les arrels dels arbres i per a la fauna aquàtica, encara que diferents espècies d'organismes presenten diferents graus de tolerància. Part del deteriorament de boscos i la mort de la fauna aquàtica s'han d'atribuir més a la mobilització del alumini en condicions d'acidesa del sòl que a l'acidificació del sòl propiament dita.

L'ANIÓ MÒBIL

L'exportació de cations bàsics produeix acidificació. Però, aquesta exportació depèn de la presència d'un anió mòbil amb el qual s'equilibren les càrregues positives dels cations, doncs el principi de l'electroneutralitat

requereix una igualtat de càrregues positives i negatives en la solució. L'anió mòbil principal en sòls neutres o moderadament àcids és el bicarbonat que pot actuar com a vector de lixiviació fins a pHs al voltant de 4.5. Però, sota un règim prolongat de pluja àcida, l'entrada d'anions d'àcids forts (principalment el SO_4^{2-}) provoca, després d'un temps de retard que depèn del tipus de sòl, un augment de la concentració de SO_4^{2-} de la solució del sòl. Les consideracions d'equilibri de càrregues dicten que un increment d'un anió s'emparelli amb un increment de cations, i a més, en aquestes circumstàncies, hi ha una tendència cap a proporcions majors dels cations de valència més gran (Al^{3+}) mentre que la proporció de H^+ disminueix. Aquesta disminució és només relativa: en realitat hi ha una lleugera davallada del pH. Els efectes negatius per als organismes en aquests estadi provenen de l'increment d' Al^{3+} relatiu a l'increment de Ca^{2+} . No obstant, quan la saturació de bases és elevada (p.e. > 20%), l'increment de l'alumini es la solució és molt petit, normalment indetectable, i no és suficient per perjudicar seriosament als organismes.

Quan la solució del sòl enriquida en SO_4^{2-} s'escola per sota de la zona de les arrels, es produeix una exportació de cations bàsics acompanyants. L'increment de la taxa d'extracció de cations bàsics té un efecte acidificador net.

En resum, la pluja àcida produiria 2 efectes principals: 1) increment de la concentració de H^+ en la solució, juntament amb la de compostos de l'alumini, altament tòxics, i 2) increment de la taxa d'exportació de cations bàsics com a resultat de l'increment de la concentració de SO_4^{2-} a la solució del sòl. No obstant, alguns autors són optimistes en pensar que aquest darrer procés es produeix molt lentament, i que entretant, per meteorització de minerals i de la roca, s'anirien proporcionant cations en un procés compensador dels cations perduts per lixiviació. Aleshores, l'acidificació amb efectes negatius es produiria només en sòls amb una saturació de bases molt baixa i un complex d'intercanvi catiònic molt reduït.

ACUMULACIÓ D'IONS A LA BIOMASSA

D'altra banda, el concepte de que una reducció del compartiment de bases intercanviables produeix acidificació implica que una acumulació neta de cations bàsics a la biomassa és acidificant, a menys que hi hagi una meteorització concomitant compensadora o una addició de cations per la precipitació. Aquesta tendència acumuladora de cations de la biomassa és màxima en els estadis inicials de regeneració de la vegetació, i va disminuint a mida que la massa vegetal arriba a fases més madures o l'increment net de la biomassa és cada vegada més atenuat. A la llarga, i

en absència de pertorbacions, s'assoleix un estadi estacionari on el flux d'acumulació d'elements en la producció primària de l'ecosistema iguala al flux d'alliberament d'elements per descomposició.

Una pertorbació que retiri la biomassa de l'ecosistema, com és una tala, representa una exportació neta de cations bàsics, sinònim d'acidificació. No obstant, en la mida que els fluxos externs, com la meteorització i la precipitació, puguin compensar la quantitat extreta de cations bàsics, no hi haurà canvis en l'estat d'acidificació del sòl. Per aconseguir això, cal que els torns de tala siguin suficientment espaiats per donar temps a l'acumulació de les quantitats de cations preexistents abans de la tala.

Un altre tipus de pertorbació, el foc, allibera els cations acumulats en la biomassa, fenòmen que equival a una alcalinització del sòl. Això no sempre es compleix, i podem tenir alcalinització superficial però acidificació en els perfils més profunds del sòl per l'absorció de cations per part de la nova vegetació. A més, una part dels nutrients alliberats pel foc es perden en el fum, les cendres aixecades a l'atmosfera o la ràpida exportació en l'escorriment d'aigua. Això significa que en part es retiren cations del sistema, i per tant, l'existència de certa acidificació.

ESTUDIS DE CIRCULACIÓ DE NUTRIENTS EN CONQUES EXPERIMENTALS

L'ús de petites conques experimentals ha estat molt útil als Estats Units i a Europa per tal d'estudiar la resposta dels boscos enfront de pertorbacions externes, com per exemple, la pluja àcida. Aquesta metodologia es basa en l'acoblament que existeix entre els ecosistemes terrestres i aquàtics, i considera que la composició química del rierol que drena la conca ens proporciona informació clau sobre les interaccions de l'aigua de la pluja amb la vegetació i els sòls de la conca. Els balanços de nutrients en conques ens permeten veure si l'acidesa en la precipitació ha estat neutralitzada, si hi ha una pèrdua elevada de cations o si hi ha acumulació d'elements, i permet fer estimes de la taxa de meteorització.

A més, la mesura de la taxa d'acidificació dels sòls, deguda a processos naturals o antròpics, requereix determinar: 1) el creixement de la biomassa, 2) l'estat de la matèria orgànica del sòl (virosa), l'estat de la solució del sòl i del complex d'intercanvi catiònic, 4) els balanços de nutrients a nivell de conca. Estudis d'aquests tipus s'estan portant a terme des de 1978 en dues localitats catalanes: a la Serra de Prades (Tarragona) i al Montseny (Barcelona). Els resultats obtingut ens indiquen que, malgrat l'existència d'episodis puntuals de pluja àcida, no hi ha perill d'acidificació del sòl, ni efectes negatius sobre les masses forestals, ni en els ecosistemes aquàtics en aquestes localitats.