

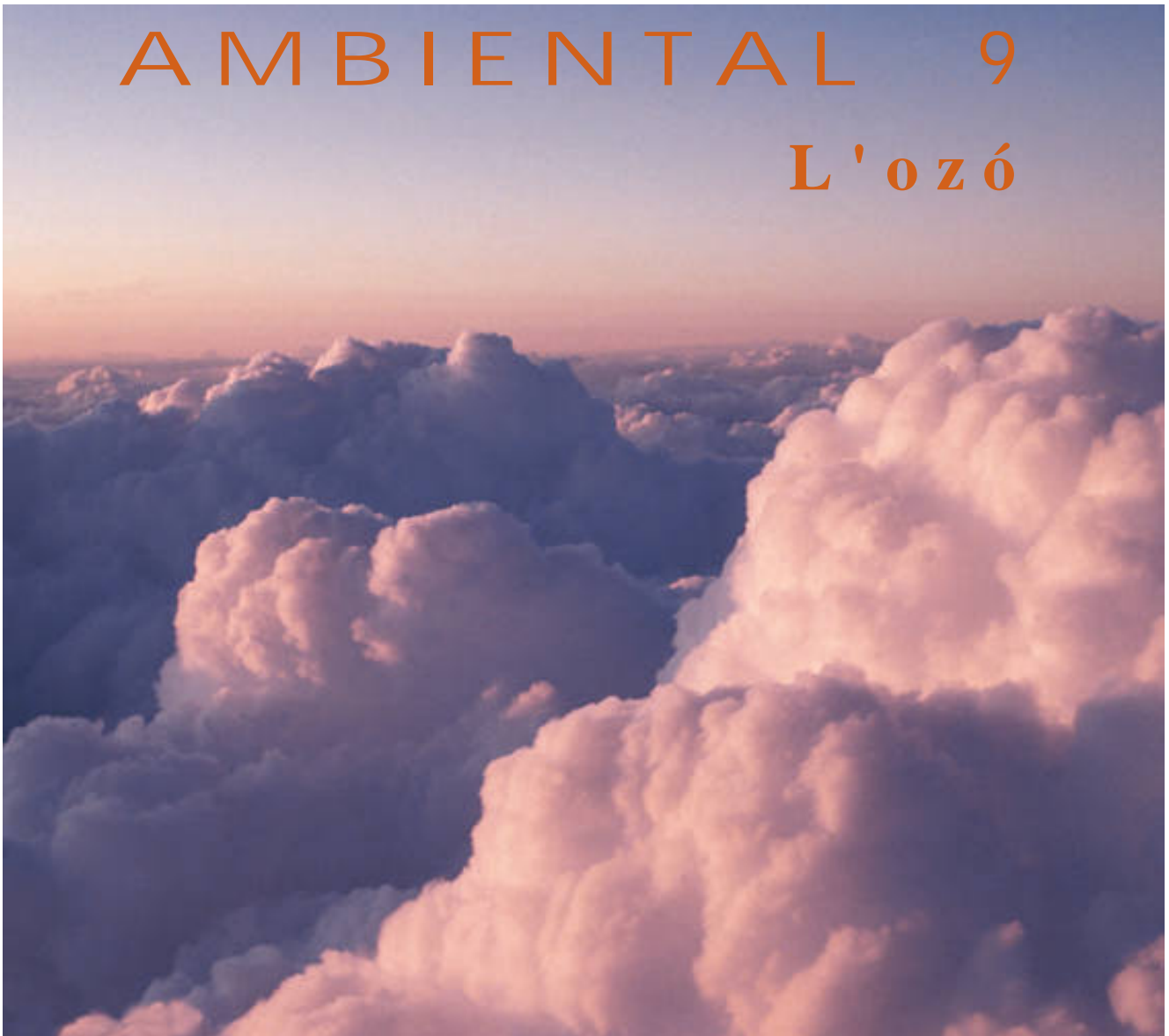


SUPLEMENT DE  
**PERSPECTIVA**  
ESCOLAR

Març 1997

# PERSPECTIVA AMBIENTAL 9

L'ozó



**Març 1997**

P E R S P E C T I V A  
A M B I E N T A L 8

**Edició:**

Associació de Mestres Rosa Sensat  
Còrsega, 271 • Tel. 93-237 07 01  
Fax: 93-415 36 80 • 08008 Barcelona

**Fundació TERRA**

Lledó, 11 • 08002 Barcelona  
Tel/Fax: 93-319 52 80

**Redacció:**

Jordi Miralles, Ralf Massanés, a partir dels materials de la campanya the Watch Trust for Environmental Education Ltd i de la revista INTEGRAL n 197.

**Fotografies:**

Fundació Terra .

**Llavors de tabac Bel-W3:**

Departament de Microbiologia de la Universitat de Massachusetts, Estats Units.

**Assessorament:**

Dr. Josep Peñuelas, CREAM.

**Il·lustracions:**

Montserrat López, a partir de diverses fonts.

**Fotòlits:**

RGB Digital Shop

Imprès en paper ecològic

**Impressió:**

Romanyà-Valls

**Dipòsit Legal:** B. 2090-1975

**L'olor blava**

La llibertat de l'oxigen

L'ozó, el nom de l'olor

L'ozó estratosfèric

La pèrdua d'ozó

L'ozó troposfèric

La formació de l'ozó troposfèric

Ozó de ciutat, ozó de camp

L'olor que malmet la salut

L'alarma contra l'ozó

Bioindicadors en alerta

**Sobre la pista de l'ozó**

Introducció

Com fer créixer el tabac Bel-W3

Com fer el registre de la contaminació

Anàlisi dels resultats

Informació sobre la qualitat de l'aire

**Sobre amb llavors de tabac Bel-W3 per fer germinar**

**Full de registre de dades**

*A les capes altes de l'atmosfera l'ozó protegeix la vida dels efectes letals de la radiació ultraviolada. A les capes baixes de l'atmosfera l'ozó és un producte contaminant, essencialment provinent de l'activitat humana. A dalt i a baix, l'ozó té comportaments diferents com si es tractés d'una novel·la en la qual interpreta el paper del Senyor de la Terra. Aquest és només un apunt biogràfic. La història real, la vivim i la respirem cada dia.*

## L'olor blava

**Fundació TERRA\***



\* La Fundació TERRA és una fundació privada que té per objectiu canalitzar i fomentar iniciatives que afavoreixin una responsabilitat més gran de la societat en els temes ambientals.

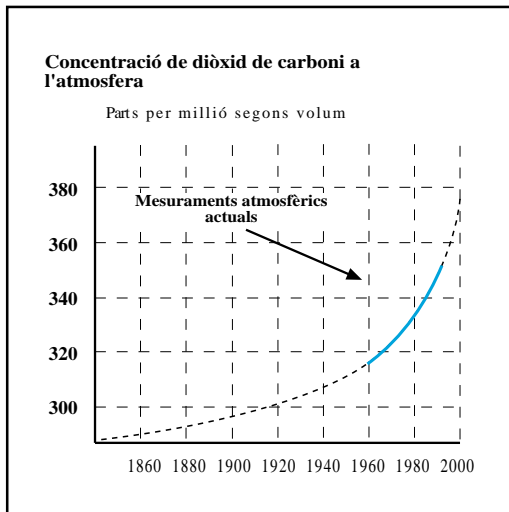
## La llibertat de l'oxigen

Si hi ha algun element de l'atmosfera essencial per a la vida és l'oxigen. I, tanmateix, aquest gas només representa un 21% de la composició de l'aire que respirem; la major part és nitrogen (78%). Curiosament, l'oxigen que és font de vida, en estat pur és mortal per als éssers vius. La proporció d'oxigen a l'atmosfera no és fruit d'un caprici de la natura sinó el resultat d'un equilibri entre la vida i el seu ambient.

L'ecòleg James Lovelock aporta proves en la seva teoria Gaia que l'atmosfera és el resultat d'un complex equilibri de gasos gràcies a la vida. La relació entre els éssers fotosintetitzadors que alliberen oxigen cremant el diòxid de carboni i l'aigua i els animals que generen diòxid de carboni mentre consumeixen oxigen contribueix a mantenir aquest equilibri gasós que fa habitable el nostre planeta. Segons la teoria Gaia en una atmosfera amb una concentració d'oxigen per sota del

16% no seria possible encendre un foc, mentre que per damunt del 25% els boscos es podrien encendre de manera espontània.

Tot sembla apuntar que els éssers vius són els responsables de mantenir l'equilibri de la concentració d'oxigen a l'aire. El nitrogen actua com a diluent de la toxicitat de l'oxigen i és el responsable de la pressió atmosfèrica. No és estrany que el procés final de la vida sigui precisament que uns bacteris descomponen els elements nitrogenats per convertir-los en gas nitrogen que alliberen a l'aire. La lliçó de Gaia és que qualsevol pertorbació d'aquest equilibri entre els gasos atmosfèrics pot produir canvis perillosos per a



Des de finals dels anys 50 es mesura la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera. De llavors ençà, no ha parat d'augmentar espectacularment. El diòxid de carboni emès a l'atmosfera afavoreix l'increment de la temperatura global del planeta.

la supervivència de les espècies. Heus ací potser perquè és tan negativa la contaminació atmosfèrica.

L'origen de l'oxigen cal cercar-lo ara fa més de 2.000 milions d'anys, quan l'atmosfera de la Terra era bàsicament d'hidrogen, metà, amoníac, monòxid de carboni i sulfur d'hidrogen. Sembla ser que

l'escassetat de gasos lliures com l'hidrogen i el sulfur d'hidrogen va provocar que un grup d'éssers vius intentessin utilitzar com a font d'energia l'hidrogen extret de l'aigua. L'aparició de l'oxigen provocaria inicialment l'oxidació de les roques superficials, especialment de ferro i manganès. Però, de mica en mica, es va anar acumulant a l'atmosfera. Fa uns 1.600 milions d'anys la concentració de l'oxigen atmosfèric se situava al voltant de l'1% i es començà a formar la capa d'ozó. Gràcies a aquest filtre natural de les radiacions ultraviolades, els organismes vius van poder començar a propagar-se per les capes superficials de l'aigua i per la terra ferma. L'augment d'oxigen atmosfèric també va propiciar que alguns organismes comencessin a extreure l'energia vital d'aquest element en l'anomenada respiració, en substitució de la fermentació sense oxigen. La respiració aeròbica és una combustió de molècules orgàniques en presència d'oxigen, al contrari de la fermentació. Sembla que el fet essencial per a aquest canvi és que energèticament la respiració és més rendible que no pas una fermentació. D'una molècula de glucosa amb la respiració es poden obtenir 36 molècules amb energia, mentre que amb la fermentació només se'n produeixen dos.

Els nivells actuals de la capa d'ozó es calcula que es van assolir ara fa uns 700 milions d'anys quan la concentració d'oxigen a l'atmosfera era del 7%. Aquest fet fou definitiu perquè la vegetació s'instal·lés a la terra ferma fa uns 350 milions d'anys i formés un mantell verd que generaria l'espectacular increment d'oxigen fins als nivells actuals del 21%. De llavors ençà, no es coneix que els nivells d'oxigen atmosfèric hagin variat gaire; de fet, aquesta constància és essencial per garantir l'obtenció de l'energia vital. En ambients particulars, on l'oxigen no pot entrar, és on romanen els microorganismes

anaeròbics que extreuen la seva energia de compostos reduïts.

Sense oxigen no hi hauria ozó i sense ozó no hi hauria vida tal com la coneixem. Curiosament, l'oxigen en estat pur acaba mantant de la mateixa manera que ho faria l'ozó. Tanmateix, majoritàriament, l'ozó es troba a les capes altes de l'atmosfera on fa de protector per a la vida, però a les capes baixes segueix sent tòxic. En condicions naturals, la formació d'ozó a les capes baixes de l'atmosfera és molt rara, però l'activitat humana incrementa la concentració d'ozó que emmetzina els éssers vius, l'espècie humana inclosa. Heus ací la importància de conèixer a fons les característiques de l'ozó.

L'ozó, el nom de l'olor

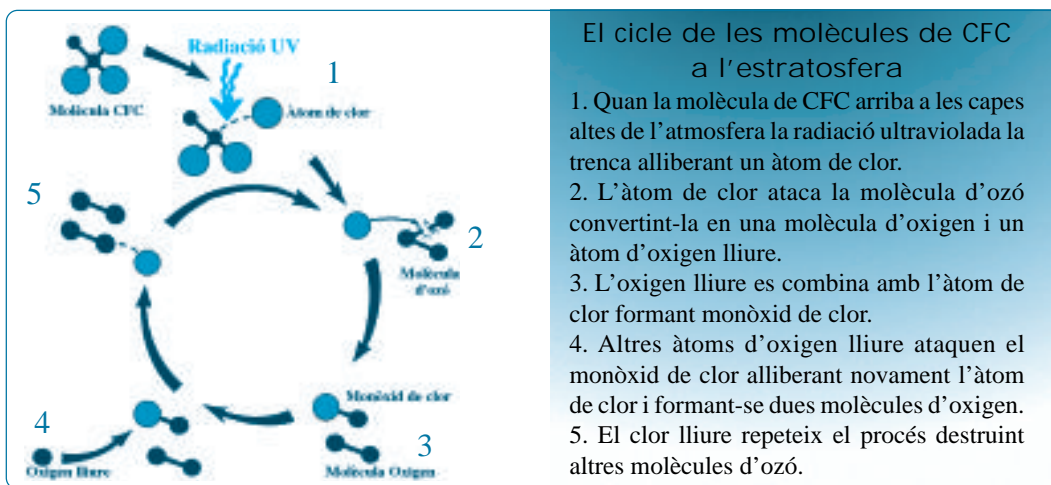
L'ozó és un gas d'olor agradable (el terme ozó prové del mot grec «ozein» que significa fer olor) format per tres àtoms d'oxigen ( $O_3$ ), és a dir que es tracta d'una molècula d'oxigen ( $O_2$ ) amb la qual es combina un àtom d'oxigen. Fou descobert al laboratori l'any 1839 pel químic alemany Christian Friedrich Schönbein (1799-1868). Però, posteriorment, va postular que es trobava present a l'aire i fins i tot va idear un mètode per

detectar-lo: un paper midonat amb una solució de iodur potàssic. Aquest mètode fou perfeccionat pel químic francès Houzeau en els anomenats papers ozomètrics. A Viena existeixen mesures amb aquest mètode recollides entre 1853 i 1920. A finals del segle XIX l'estudi de les propietats de l'ozó va ser extens i va fer que es prediguessin grans aplicacions en el futur.

L'ozó estratosfèric

Curiosament, la presència de l'ozó troposfèric (de les capes baixes de l'atmosfera, per sota dels 18 km) fou anterior al seu postulat com a integrant de l'estratosfera (zona de l'atmosfera situada per damunt dels 18 km). La capa d'ozó estratosfèrica fou postulada l'any 1913 pels científics francesos Ch. Fabry i H. Buisson, assegurant que s'havia de formar per damunt dels 40 km i per causa de l'acció de la radiació ultraviolada. L'absorció de la radiació ultraviolada per l'ozó ja havia estat detectada l'any 1878 per W. N. Hartley.

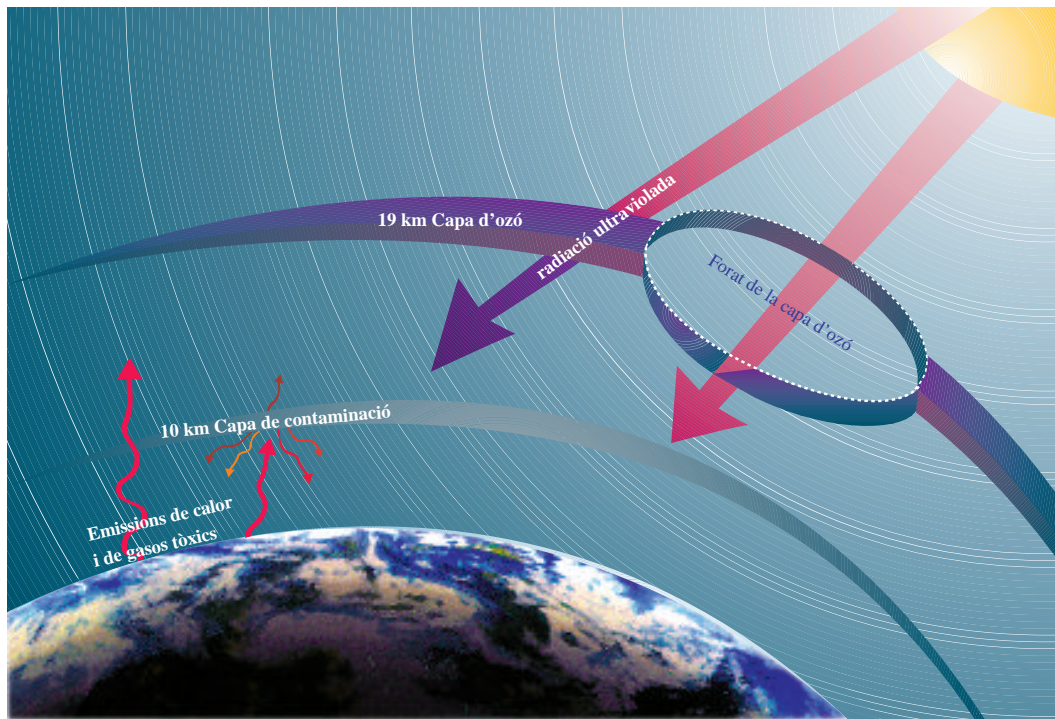
Avui, gràcies als nombrosos estudis duts a terme en la dècada dels anys 20 i 30, sabem que l'ozó es produeix contínuament a les capes altes de l'atmosfera entre 12 i 50 km en



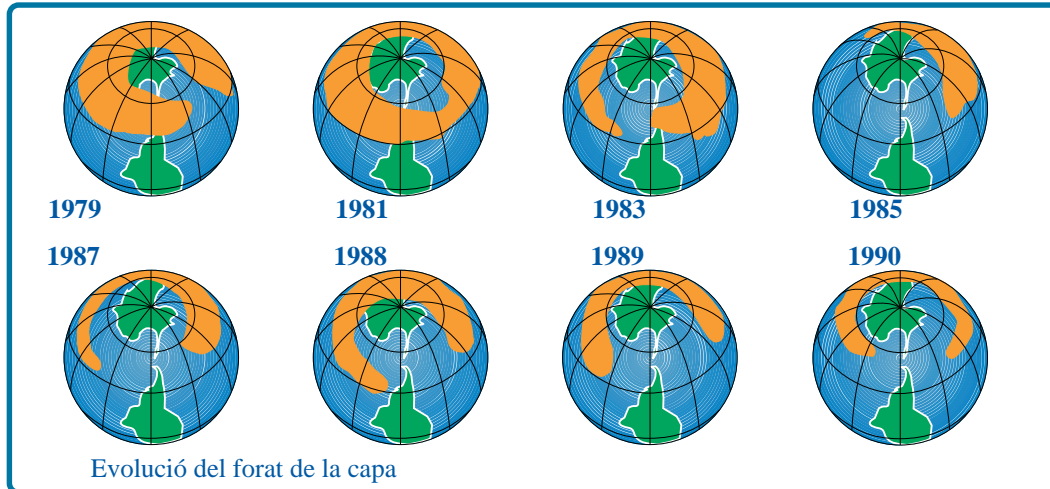
l'anomenada estratosfera. L'ozó és producte de l'efecte de les radiacions ultraviolades sobre l'oxigen de les capes altes de l'atmosfera. A una alçada d'uns 25 km és on la concentració d'ozó és màxima, i per això es parla de la capa d'ozó. Tanmateix, no és una capa en el sentit estricte del terme, sinó més aviat caldria comparar-ho amb una boira irregular que als pols es troba a menys alçada i a l'equador a més alçada. Diuen que si es concentrés tot l'ozó estratosfèric la capa no seria més que una pel·lícula gasosa d'uns 3 mm de gruix i que seria d'un color blavós.

L'ozó és un gas força inestable, però en tot cas molt reactiu. L'oxigen monoatòmic (O) necessari per a la formació de l'ozó només es manté de forma estable a l'atmosfera superior per causa de l'elevada energia dels fotons provinents del Sol. En aquesta zona,

la radiació ultraviolada (UV-B, de 280 a 320 nm i UV-C, de menys de 280 nm) vessa la seva energia per descompondre l'ozó en tres àtoms d'oxigen. Els àtoms lliures tornen immediatament a unir-se i el cicle es perpetua contínuament. Així, la Terra disposa d'un mecanisme inexhaurible per esmorteir l'energia de la radiació ultraviolada. Una part d'aquesta radiació que travessa la capa d'ozó són els raigs ultraviolats menys energètics, els quals estimulen algunes de les cèl·lules de la pell com els melanòfors. Però un excés de radiació ultraviolada pot produir cremades i alterar les cèl·lules donant lloc a càncers de pell. (La radiació ultraviolada que s'incrementarà amb la disminució de l'ozó serà l'anomenada UV-B, que és la que té efectes sobre els éssers vius. La UV-C és mortal per a la vida tal com la coneixem i l'absor-



L'activitat humana està provocant canvis importants en el comportament de l'atmosfera. La contaminació de l'aire fa que aquest es comporti com una trampa que no deixa escapar les emissions de calor i altera la capa d'ozó. Les conseqüències per a la vida humana són imprevisibles; tanmateix, l'augment de la radiació ultraviolada causarà un increment de càncers de pell, afeccions oculars i trastorns immunitaris.



beix tota l'ozó; caldria una destrucció total de la capa d'ozó perquè ens arribés aquesta radiació letal. Les regions de la Terra situades per damunt dels 1.000 m d'alçada reben una intensitat superior de radiació ultraviolada, entre un 10 i un 20% més que arran de mar.) Un estudi de les Nacions Unides calcula que la reducció d'un 1% de la capa d'ozó permet un augment del 2% de la radiació ultraviolada (UV-B), que al seu torn pot incidir en un 5% en l'increment de càncers de pell.

#### La pèrdua d'ozó

La primera alerta sobre la disminució de l'ozó sobre l'Antàrtida va ser llançada l'any 1982 pel científic japonès Sigeru Chubachi en medicions fetes a la base antàrtica de Syowa, que registraven des de 1966 una alarmant disminució de l'ozó. Tanmateix, foren científics del British Antarctic Survey qui l'any 1985 conseguiren publicar les medicions fetes des de la base anglesa amb dades acumulades de 1956. Els satèl·lits meteorològics confirmaren aquestes disminucions i així es va iniciar un extens programa de recerca en el qual no van manca esforços com ho proven els vols que es van fer amb l'avió espia americà ER-2 sobre el cor de l'atmosfera antàrtica l'hivern de 1987.

En l'explicació de les causes es van formular moltes teories, entre les quals la més versemblant, ho justificava com a efecte de l'activitat solar. Tanmateix, la raó d'aquest fenomen ja havia estat predita pels científics de la Universitat de Califòrnia a Irvine (EEUU), Mario J. Molina i F. Sherwood Rowland l'any 1974. Aquests dos científics, que van ser finalment reconeguts amb el premi Nobel l'any 1995, havien postulat que el clor procedent dels gasos clorofluorocarbonats (CFC) reaccionava amb l'ozó arrancant-li el tercer àtom d'oxigen per formar monòxid de clor i oxigen quan era estimulat per radiacions ultraviolades.

A l'Antàrtida aquesta predicció no era possible, ja que a les alçades en què es detectava la disminució de l'ozó no hi havia oxigen monoatòmic per realimentar la reacció i, en canvi, l'increment del monòxid de clor (ClO) era inversament proporcional a la disminució de l'ozó. El 1986 el mateix Mario Molina i equip aportaven la solució a l'enigma després d'estudiar que el monòxid de clor sense oxigen monoatòmic i baixa concentració de diòxid de nitrogen com es donava a l'Antàrtida podia reaccionar amb ell mateix per formar un dímer de diòxid de clor (Cl<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) que sí que era capaç de destruir l'ozó.

En tot cas quedava clar que la disminució de la concentració estratosfèrica d'ozó era per causa de l'activitat humana i en concret pels compostos clorats, especialment els gasos CFC. Un sòl àtom de clor pot destruir una mitjana de 100.000 molècules d'ozó abans de ser inactiva o retornar, eventualment, a nivells més baixos de l'atmosfera on els CFC són inerts. Alguns científics asseguren que el cycle solar també hi influeix.

Tot i que encara hi ha força debat científic sobre el tema de l'aprimament de la capa d'ozó (parlar de forat no seria prou exacte perquè en realitat no és una desaparició total en un indret determinat sinó una disminució) hi ha acord en què la disminució (des de l'any 1979) de la capa d'ozó a l'hemisferi Nord oscil·la entre un 1,1 i un 3,7%, i a l'hemisferi Sud pot atènyer fins el 9% per

efecte del forat d'ozó antàrtic que varia cada any, però que pot arribar a ser del 50%, tot i que després, a l'hivern, es regenera lleugerament. Sobre l'Estat espanyol, en la darrera dècada, es calcula que la disminució primaveral assoleix un 10%.

Cal advertir que la producció de gasos CFC, especialment per ser emprats com a propulsors d'aerosol (62%), agents per a plàstics expandits (18%), dissolvents (12%) i refrigerants (8%), s'inicià a finals dels anys 40. Entre 1960 i 1974 es passà d'una producció mundial de menys de 50.000 t anuals a més de 1 milió de tones. La quantitat de CFC produïda és cinc vegades superior a la suposada capacitat de l'atmosfera per eliminar-los. Tanmateix, sembla clar que malgrat que es disminueixi dràsticament la producció de CFC, la capa d'ozó s'anirà aprimant. Això és perquè, lògicament, mentre els aerosols s'alliberen gairebé després de ser produïts, els CFC continguts en els equips de refrigeració i a les escumes sintètiques tenen un alliberament retardat i, a més, els CFC necessiten un mínim de deu anys per arribar a l'alçada de l'estratosfera.

Malauradament, avui sabem que els CFC no són les úniques substàncies responsables de la destrucció de la capa d'ozó. El metà (produït de forma natural en la descomposició), els òxids de nitrogen (procedents de la combustió de derivats fòssils) o el bromur de metil (un plaguicida agrícola), etc. també destrueixen l'ozó.

A fi d'aturar els efectes dels CFC, l'any 1987 fou signat a Montreal un protocol internacional (Espanya en fou un dels països signataris), l'objectiu del qual era reduir fins a un 50% la seva producció mundial abans del 1999. Reunions polítiques posteriors han intentat avançar que els CFC siguin eliminats, però sembla que hi ha un relaxament en la seva aplicació. Un substitut àmpliament emprat són els FC (fluorocarbonats), que no ata-

#### Taula de conversions

Les mesures d'ozó troposfèric es fan en parts per bilió (ppb) o en micrograms (mg). Aquestes són dues unitats de mesura totalment diferents, que no poden emprar-se per igual.

ppb: Aquesta mesura prové de l'estàndard anglès, i són una unitat per un determinat volum

1 ppb = 1/1000.000.000 part per bilió

mg: En la majoria de països europeus, l'ozó es mesura per unitats de pes per metre cúbic d'aire. Aquestes unitats de pes normalment són els micrograms o  $1 \times 10^{-6}$  grams o 0,000001 g.

La manera de relacionar les dues mesures és ben sencilla.

1 ppb = 2,143 mg/m<sup>3</sup>

100 ppb = 214,3 mg/m<sup>3</sup>

Per simplificar-ho una mica més, podem arrodonir aquesta xifre dient que:

1 ppb = 2 mg/m<sup>3</sup>



quen l'ozó estratosfèric, però incrementen substancialment l'efecte hivernacle.

### L'ozó troposfèric

La presència natural de l'ozó a la troposfera seria per causa de la fotòlisi del diòxid de nitrogen ( $\text{NO}_2$ ). Aquest precursor de l'ozó té el seu origen en les erupcions volcàniques i en l'activitat biològica en general com ara descomposició, fermentacions, etc. Es calcula que al voltant d'un 23% de l'ozó davalla de les capes de l'atmosfera arrossegat pels corrents d'aire i per l'energia elèctrica alliberada durant les tempestes. En tot cas, la presència per causa natural de l'ozó a la troposfera es calcula en una mitjana anual d'uns  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  d'aire.

La major part de l'ozó troposfèric és el resultat de les reaccions produïdes entre productes derivats de la combustió d'hidrocarburs (anomenats gasos precursors) amb l'energia de la llum del sol (radiació solar) i l'oxigen. L'ozó troposfèric és un producte derivat de la industrialització de la nostra societat, la concentració del qual varia segons les condicions climàtiques al llarg de l'any. A començaments de segle el nivell de base de l'ozó se situava entre 20 i  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mentre que actualment oscil·la entre 60 i  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Un fet important és el temps que duren les condicions favorables per a la formació de l'ozó troposfèric. Perquè es produeixi ozó es necessita que la llum del sol incideixi unes quantes hores sobre els gasos precursors. Per això, les hores del migdia a la primavera i a mitja tarda a l'estiu són els moments del dia amb una producció d'ozó més gran. Amb la caiguda del vespre davalla i no tornarà a iniciar-se fins l'endemà. La

matinada és el moment de menor concentració. L'elevada inestabilitat de l'ozó fa que, paradoxalment, els mateixos gasos precursors siguin corresponsables de la seva destrucció quan la radiació solar disminueix, a més dels corrents d'aire. Per això, els efectes de l'ozó són també més patents quan hi ha calma atmosfèrica. Les inversions tèrmiques en aquest sentit són fatals, ja que no només propicien la formació d'ozó, sinó la seva permanència en un determinat espai pel màxim de temps.

### La formació de l'ozó troposfèric

L'ozó troposfèric apareix com a producte de les reaccions químiques entre els hidrocarburs i els òxids de nitrogen sota l'efecte de la radiació solar. Per això, els productes que es formen s'anomenen oxidants fotoquímics. En general, són reaccions complexes i encara mal conegudes. Es veuen afavorides per la forta insolació i per situacions estacionàries d'altres pressions (anticiclons).

#### Concentracions d'ozó i els seus efectes sobre l'home

- 20 ppb =  $40 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Llindar on es pot olorar.
- 50 ppb =  $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Aparició de mal de cap.
- 60 ppb =  $120 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Les persones sensibles presenten tos i irritacions dels ulls. Els malalts d'asma tenen sensació d'asfíxia. Els esportistes tenen una davallada de rendiment.
- 80 ppb =  $160 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Les persones normals tenen trastorns pulmonars.
- 100 ppb =  $200 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Irritació de les mucoses, ulls, pulmons, augment de leucòcits en sang.
- 120 ppb =  $240 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Augment dels casos d'asma.
- 150 ppb =  $300 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Els grups de risc presenten danys irreparables.
- 200 ppb =  $400 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Trastorns de la salut irreparables també en persones sanes.

La reacció inicial és deguda a la descomposició del diòxid de nitrogen ( $\text{NO}_2$ ) amb l'energia de la radiació ultraviolada, que allibera l'oxigen monoatòmic que per reacció amb l'oxigen molecular de l'aire forma ozó. Si no hi ha hidrocarburs ( $\text{COV}_s$ ) a l'atmosfera, el monòxid de nitrogen ( $\text{NO}$ ) torna a reaccionar amb l'ozó per formar-se novament diòxid de nitrogen.

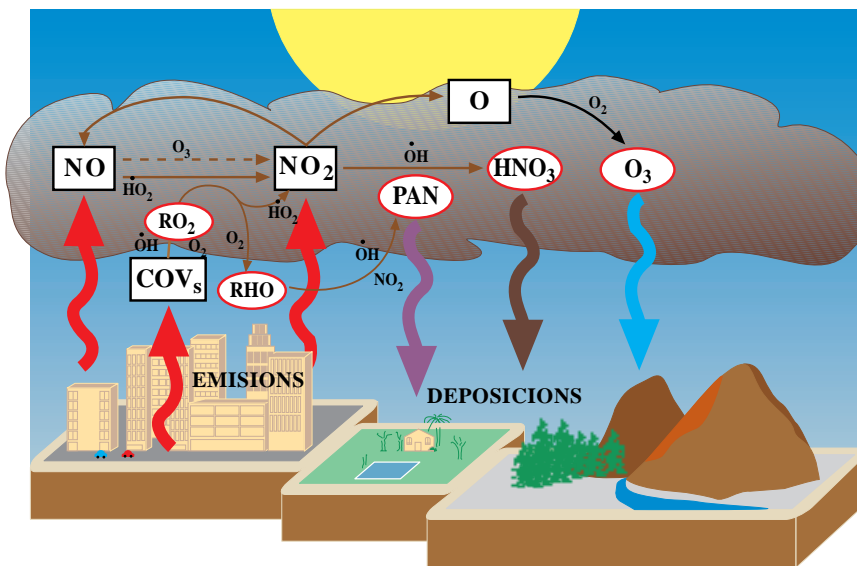
El problema són els anomenats hidrocarburs, que contenen d'un a quatre àtoms de carboni que reaccionen entre ells i amb altres gasos contaminants com ara els òxids de nitrogen, formant productes complexos, entre els quals destaca el nitrat de peroxiacetilè (conegut per l'acrònim PAN) i el mateix ozó. Aquest tipus de contaminació s'anomena vulgarment “*smog* fotoquímic”. La contaminació fotoquímica és especialment greu al matí per causa dels espectaculars augments de les emissions produïdes pels cotxes i les indústries sota l'efecte de la llum solar. Cap al vespre aquestes reaccions s'aturen, fet que produeix un descens en la concentració d'ozó troposfèric. En general, l'*smog* fotoquímic és

més important a l'estiu que a l'hivern, ja que la radiació solar és més intensa a l'estiu. Tant l'ozó com els PAN produeixen efectes sobre els éssers vius. Es consideren contaminants secundaris perquè són el resultat de reaccions entre els gasos típics de la combustió de derivats del petroli.

En resum, la llum del sol afecta els contaminants primaris, especialment els gasos del nitrogen, i es genera una galàxia química gens beneficiosa per a la vida. Per això, l'única manera d'aturar l'augment de l'ozó troposfèric és reduir la contaminació atmosfèrica, especialment a les ciutats.

### Ozó de ciutat, ozó de camp

L'ozó troposfèric es produeix al camp i a la ciutat. A les zones rurals és per causa dels hidrocarburs biogènics i per la contaminació procedent de les ciutats. A les ciutats es deu sobretot als gasos emesos pels cotxes i les indústries. Com a conseqüència, els nivells d'ozó poden ser igualment elevats al camp que a la ciutat. Les condicions ambientals com ara el relleu, la climatologia, el tipus de



### Mecanisme bàsic de formació de l'ozó troposfèric i d'altres agents oxidants fotoquímics.

Els precursors de l'ozó es produeixen a les zones urbanes a causa de la contaminació procedent de les combustions i sota l'acció de la llum solar, i es desplacen cap a les àrees rurals.

sòl i de vegetació també determinen el nivell de base d'ozó per cada indret. Per exemple, a les zones litorals, la humitat del mar fa més patents els efectes de l'ozó sobre les plantes. En canvi, en una zona més àrida es necessiten concentracions més grans per observar els mateixos efectes. Finalment, el que determina el grau de perillositat de l'exposició a l'ozó és el temps. I aquest té molt a veure també amb les condicions ambientals que anomenàvem abans. Així, en un poble encloït, l'ozó hi roman més estona i pot tenir efectes més nocius que en una ciutat industrial molt airejada.

L'olor que malmet la salut

Ja hem avançat que els efectes de l'ozó sobre els éssers vius varien amb la concentració i la quantitat de temps que hi està en contacte. Per això, els anomenats llistats de protecció s'estableixen en unitat de concentració per espai de temps.

Els raigs ultraviolats B causen trastorns a tots els éssers vius. En aquests darrers anys, els casos de ceguera entre les ovelles del sud de l'Argentina i Xile han augmentat fatalment. Els pastors utilitzen ulleres de sol, però la còrnia ocular del bestiar queda exposada als efectes de la radiació ultraviolada. A les nostres latituds, les zones d'alta muntanya són les més afectades. Es calcula que la radiació ultraviolada rebuda augmenta darrerament al ritme d'un 1% cada any.

Tanmateix, els raigs ultraviolats B també causen trastorns al metabolisme de les plantes superiors i, en particular, sobre les reaccions fotosintètiques, que fa que es freni el creixement dels vegetals. Alguns equips científics aporten proves que en els darrers 20 anys la producció d'arròs ha caigut un 4% a causa de l'augment de radiació ultraviolada. Altament, i com a factor molt preocupant,

s'està veient que l'augment de la radiació UVB provoca primer trastorns d'orientació i posteriorment la mort al fitoplàncton, cosa que pot reduir substancialment la producció de peix en les properes dècades. Això, sumat a la sobrepesca actual, pot dur a una catàstrofe alimentària que afectarà sobretot els països del sud del planeta.

L'ozó troposfèric que respirem està causant trastorns respiratoris i cardíacs a les persones, especialment a les persones amb problemes respiratoris. Se sap que destrueix les cèl·lules ciliades dels bronquials que fan de filtre de la pols i els bacteris de l'aire. Els símptomes més evidents, com ara la tos i les irritacions a la faringe, els ulls i, en general, el cansament, el mal de cap s'han observat en concentracions d'ozó superiors als 180 µg/m<sup>3</sup>. És clar que aquests símptomes també poden tenir altres causes i ser l'efecte d'altres contaminants. Sigui com sigui, sembla clar que l'ozó es comporta com un indicador del grau de contaminació general de l'aire.

Els cultius també són sensibles a l'ozó ambiental, el qual ataca les membranes foliars pertorbant l'equilibri aigua-sals minerals de les plantes i la fotosíntesi. El seu rendiment davalla dràsticament. L'enverinament per ozó es tradueix en l'engrogiment precoç de les fulles i en una disminució en la producció de gra en els cereals. En aquest sentit, hi ha una dada curiosa d'un estudi suís que demostra que amb una concentració d'ozó de 27 µg/m<sup>3</sup> el nombre de grans d'una espiga era de 37 amb un pes mitjà de 34,4 mg, mentre que amb concentracions de 88 µg/m<sup>3</sup> el nombre de grans per espiga era de 26 i el seu pes mitjà de 19,4 mg. Aquest mateix estudi advertia que l'augment de la concentració d'ozó troposfèric podia produir entre un 5 i un 15% de pèrdues a les collites. A Catalunya, al delta de l'Ebre s'han descrit danys per ozó en alguns cultius d'estiu més sensibles, com ara la mongeta i la síndria. La virulència de l'ozó

troposfèric sobre els sers vius té per causa l'elevat poder oxidatiu d'aquest gas, que provoca l'envelliment dels sers vius oxidant primer els lípids, després els grups sulfidrils de les proteïnes i finalment els àcids nucleics.

L'alarma contra l'ozó

A Catalunya i per extensió a l'Estat espanyol ha estat adaptada una Directiva Comunitària sobre la contaminació atmosfèrica per ozó que preveu l'establiment d'una vigilància permanent dels nivells d'ozó troposfèric i d'informació i alerta de la població a partir d'un cert llindar. Aquests llindars no s'han d'interpretar com a fronteres entre una zona sense perill i l'aparició d'efectes perjudicials per a les persones, sinó més aviat com a valors orientatius per evitar el risc. L'actual legislació obliga a informar a la població a partir de nivells de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durant una hora. El llindar d'alerta i, per tant, d'impedir determinades activitats a l'aire lliure, es situa en valors per damunt dels  $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A Catalunya, en els darrers anys s'ha instal·lat una important xarxa de vigilància ambiental de l'ozó troposfèric. Fins ara els valors assolits no han superat el llistó de llindar d'alerta i els màxims registrats de mitjana se situen al voltant dels  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a ple estiu i durant les hores centrals del dia. Puntualment, s'han donat episodis que han superat el llindar d'informació a la població.

El Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya assenyala com a consells per disminuir els nivells d'ozó:

- no utilitzar el cotxe per a distàncies curtes,
- utilitzar els transports col·lectius o compartir el cotxe entre diverses persones,
- utilitzar pintures i vernissos solubles amb aigua, que no continguin dissolvents orgànics,
- disminuir l'ús de productes que continguin una base dissolvent, com ara ceres de

mobles, abrillantadors de parquets, laques per al cabell i lubricants,

- estalviar energia per disminuir l'emissió de gasos contaminants.

No cal dir que aquestes mesures esdevenen especialment importants quan es detecten episodis de nivells d'ozó per damunt dels llindars establerts.

Bioindicadors en alerta

El tabac i la trella són de les plantes més sensibles a l'ozó, el qual els deixa taques de color sobre les fulles. Per això, aquestes plantes es poden utilitzar com a bioindicadors, és a dir com a organismes capaços de retratar la concentració d'una substància tòxica ambiental. Altres plantes sensibles són els espinacs, els naps, els pèsols, etc.

La utilització de bioindicadors no és per si mateixa una mesura exacta, però en canvi és un sistema barat, senzill i eficaç per establir la presència d'un tòxic atmosfèric invisible, com és el cas de l'ozó troposfèric.

Per a l'elaboració d'aquesta campanya de sensibilització al voltant de l'ozó troposfèric hem escollit una varietat de planta de tabac (*Nicotiana tabacum* L.), l'anomenada Bel-W3, que mostra símptomes aproximadament a concentracions de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , és a dir, d'uns 20 ppb d'ozó. Aquesta unitat de didàctica ambiental també s'acompanya, doncs, de llavors de tabac Bel-W3 per poder fer vosaltres mateixos amb els alumnes l'experiència.

#### Llindars establerts per la legislació espanyola

- Llindar de protecció de la vegetació  
65  $\mu\text{g}$  en 24 hores o 200  $\mu\text{g}$  en 1 hora
- Llindar de protecció de la salut  
110  $\mu\text{g}$  en 8 hores
- Llindar d'informació a la població  
180  $\mu\text{g}$  en 1 hora
- Llindar d'alerta a la població  
360  $\mu\text{g}$  en 1 hora

(Reial Decret 1494/1995)



## Instruccions per fer créixer les llavors de tabac Bel-W3

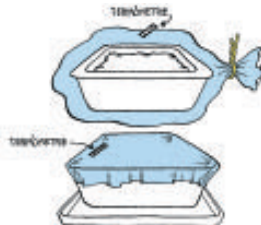


Preparar les safates amb el compost

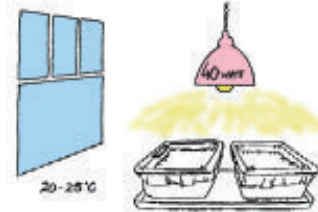
Sembrar les llavors



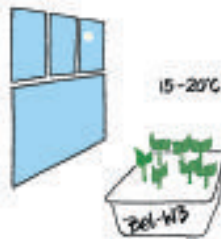
Regar després de la sembra



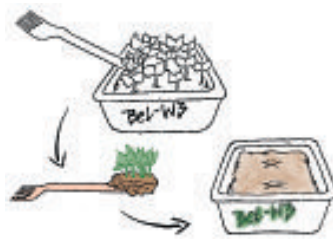
Conservar la humitat



Calor per germinar



Els primers dies de creixement



Trasplantar les plàntules



Tenir cura de les plàntules



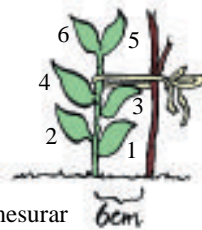
Selecció de la planta



Aclimatació



Ajardinament



Planta per mesurar

Com fer créixer el tabac Bel-W3

### *1. Preparar les safates de germinació.*

Cal prendre dues safates de plàstic (de margarina, de gelat, etc) i fer-hi uns forats per sota. Omplirem amb la mateixa terra vegetal adobada les dues safates i marcarem amb un rotulador resistent a l'aigua cada una de les safates. Una vegada hi haguem col·locat la terra, l'aixafarem lleugerament i la humitejarem amb un dispersor (no la mulléssiu gaire!).

### *2. La sembra de les llavors*

Omplirem una culleradeta rasa de postres de sorra seca i la dipositarem en una tassa. És important que no fem servir més quantitat de sorra. A continuació, col·loquem-hi les llavors del sobre amb la inscripció Bel-W3 i barrejem-les amb compte. Amb la mateixa cullereta les repatirem sobre la safata amb la inscripció Bel-W3. La sorra s'encarrega de dispersar regularment les llavors. És molt important que les llavors no es cobreixin amb terra, ja que són tan petites que poden arrelar sense fer-ho. Si ho féssim o utilitzéssim massa sorra per barrejar-les, no arribarien a germinar. Després de la sembra fora bo que torneïssim a ruixar la terra perquè quedi ben humida. Tancarem la safata en una bossa de plàstic o la cobrirem amb una pel·lícula de plàstic de cuina perquè conservi la humitat. Hem de procurar que sempre estigui humida. En el cas que es formin fongs, treiem el plàstic i deixem de regar-les.

### *2. La germinació*

La germinació és el primer pas per fer créixer una planta. Les llavors de tabac necessiten una temperatura d'entre 20 i 25°C per germinar. Per això és molt important col·locar les safates en un indret on es puguin garantir aquestes temperatures. Una làmpada de 40 wats a 45 cm per sobre de les safates

és suficient per generar aquest calor si no es poden assolir aquestes temperatures dins de l'aula. El millor lloc per a la germinació és una habitació amb llum de dia, que no li toqui el sol directament i que sigui temperada. Potser cal bellugar-les entre el dia i la nit a fi que sempre es trobin en un lloc temperat. Per sota dels 20 °C les llavors no germinen.

Al cap de tres dies d'haver estat sembrades obrirem la bossa o retirarem el film de plàstic i comprovarem que el compost segueix humit. Regarem una mica donat el cas que estigués sec. Repetirem aquesta operació cada tres dies. Les llavors han de començar a germinar al voltant dels deu dies. Si als 17 dies no han germinat demaneu més llavors a la Fundació Terra.

### *3. Els primers dies de creixement*

En el moment que germinin les primeres llavors haurem de ventilar sovint i, en el moment que la majoria hagi germinat, retirarem el plàstic. S'han de mantenir les plàntules amb llum de dia amb una temperatura entre 18 i 20 °C. Per sota de 18 °C les plàntules deixen de créixer i pot ser difícil fer que recuperin el creixement. Al començament, les plàntules són molt xiques i no prendran la constitució d'una planta fins que atenyin uns 25 cm, amb unes llargues fulles.

Si es col·loquen davant d'una finestra (però no directament al sol), llavors cal girar periòdicament les safates, ja que les plàntules tendiran a girar-se cap a la llum. Aquesta operació l'haurem de repetir diverses vegades mentre les plàntules creixen. Només així aconseguirem que pugin rectes.

### *4. Transplantament de les plàntules*

Quan les plàntules han assolit els 2 cm llavors es poden trasplantar en safates o testos individuals. Per fer les medicions del nivell d'ozó n'hi ha prou amb unes tres plantes de Bel-W3.

Retirarem diverses plàntules amb una mica de terra i les col·locarem en les safates preparades: tres per a la Bel-W3. Aquestes safates han de ser més fondes. Alternativament, poden ser uns tetrabriks tallats per la meitat o testos de plàstic.

Traspassar les plàntules és una operació molt delicada que cal fer amb cura. Sempre és bo retirar-les amb una mica de terra i prémer-les contra la terra de la nova safata amb el dit. Per treure-les ens podem ajudar amb una forquilla i sempre hem de procurar que no fem malbé les arrels i la plàntula (una bona manera de fer-ho és ficar una part de les plàntules amb el pa de terra en aigua i deixar que aquest s'estovi per treure-les). Als testos preparats, fem-los forats amb un llapis, on col·locarem finalment les plàntules escollides. Les regarem després d'aquesta operació, sense inundar-les. La resta de llavors germinades es poden col·locar en altres jardineres ja que ens poden servir en cas que les que hem escollit no creixin prou bé. El creixement d'aquestes plàntules s'allargarà encara fins a 8 setmanes. Durant tot aquest temps cal mantenir-les a temperatures entre 15 i 20 °C.

Al cap de dues setmanes observarem quines són les tres plàntules que creixen més sanes i altes. Retirarem les altres de les safates escollides per a l'experiment i les replantarem a les jardineres pròpies que hem preparat. A mesura que vagin creixent es necessita mantenir la terra humida, però només lleugerament humida.

En total les deixarem que creixin unes vuit setmanes.

### *5. Aclimatació*

Abans de col·locar-les a l'indret a l'aire lliure escollit per dur a terme l'experiment de medicació del nivell d'ozó, és bo deixar la safata en un indret mig arrecerat de l'aire. Per exemple, sota una porxada, en un indret

que quedin protegides de la pluja i el vent. Atenció, que el fred no pugui fer mal a les fulles. Si és necessari, de nit les entrarem a l'aula. A partir d'ara, les plantes començaran a ser més resistents a les baixes temperatures, però si les col·loquéssim de sobte a fora es podrien estressar i quedar afectades.

### *6. Ajardinament*

Finalment, a la novena setmana, trasplantarem definitivament les plantes que ens servirán per a l'experiment. Escollirem l'indret adient per a dur a terme les medicacions d'ozó. Cal que sigui un indret on l'aire hi pugui circular bé, sense que sigui un lloc excessivament esventat.

Prepararem un test o un forat a terra d'un mínim de 25 cm de diàmetre. Col·locarem la planta amb la mateixa terra de la safata en el test o forat que hem omplert de terra. No separarem el compost de les arrels de la planta a l'hora de trasplantar-la. Si plantéssim més d'una planta a l'exterior, haurem de fer-ho a una distància mínima de 1,5 m, per una banda perquè les plantes no competeixin entre elles i perquè tinguem espai a l'hora de fer les medicacions.

A fi d'ajudar que la planta creixi millor col·locarem una canyeta separada uns 6 cm i li lligarem un cordill al voltant.

Atès que, ben segur, disposarem de moltes més plantes, podrem repetir la mateixa operació de trasplantar-ne d'altres i cercar altres indrets on col·locar-les per a les medicacions d'ozó o, fins i tot, podríem endur-nos-en a casa nostra per comparar-ho amb els resultats de les plantes de l'escola.

### *6. Preparades per mesurar l'ozó troposfèric*

Durant les tres properes setmanes, les plantes treuran noves fulles i creixeran. L'experiment es pot dir que començarà a la setmana novena i s'allargarà durant tres setmanes. A partir de les dotze setmanes les plantes se-



guiran creixent, però ja hauran acomplert el seu paper per a aquesta campanya de vigilància de l'ozó.

Les plantes Bel-W3 poden començar a registrar taques per contaminació d'ozó troposfèric a concentracions d'un mínim de 30 a 40 ppb. Lògicament, a mesura que la concentració d'ozó augmenti, també ho faran el nombre de taques que apareixen a la fulla. Per saber la intensitat de l'atac per ozó fixeiu-vos en la il·lustració de la Carta de densitat de taques (pàg. 16).

A fi de prendre bé les dades, anomenarem a la fulla més baixa la número 1, la següent la 2 i així successivament. Pot ser aconsellable col·locar un tros de llana de color groc sobre la fulla 3, un de vermell sobre la fulla 6 i un de blau sobre la 9. Lògicament, a les vuit setmanes potser no tindreu les nou fulles, però tant li fa. Cal recordar sempre de comptar les fulles amb el mateix ordre. Aquestes marques de color ens ajudaran a seguir un mètode per comptar les fulles. El dia que caigui la fulla 3 es col·loca la cinta groga a la fulla 12 i així successivament anirem pujant. Hem de fer-ho de la mateixa manera amb totes les plantes.

#### Com fer el registre de la contaminació

Les plantes de tabac es poden treure a fora a partir de les nou setmanes o fins i tot abans, però cal que en el moment d'iniciar les lectures de contaminació per ozó les plantes tinguin un mínim de vuit a deu fulles ben desenvolupades.

Per poder elaborar un informe general de l'estat de la contaminació per ozó troposfèric amb totes les escoles participants d'arreu de Catalunya ens caldrà que preneu dades de com evolucionen les fulles de les vostres plantes. És una tasca molt senzilla en la mesura que és simplement comparar el nombre de taques que teniu a cada una de les fulles

de les vostres plantes amb la Carta de densitat de taques. La lectura s'ha de fer un sol dia per setmana (per exemple el dimecres) durant les quatre setmanes properes que tingueu les plantes a l'exterior. Tindrem present que dins l'aula també poden aparèixer algunes taques, ja que l'ozó troposfèric també penetra dins les nostres llars. Tanmateix, realment ens adonarem de la contaminació observant les plantes situades a fora.

Per fer aquesta tasca d'observació de la contaminació per ozó disposeu d'un full de registre per poder ser llegit per ordinador. Cal escollir sempre el mateix dia per fer la lectura; es recomana que sigui, per exemple, el dimecres.

A l'hora de fer la lectura de les vostres observacions preneu una fotocòpia de la carta de densitat de taques que serà la vostra guia i una fotocòpia del full de registre i situeu-vos davant de les vostres plantes. Anoteu l'alçada de la planta amb un cinta mètrica i fixeiu-vos en l'estat de les vostres fulles comparant-les amb la carta de densitat de taques. Us recomanem d'utilitzar una fotocòpia del full de registre a fi de no malmetre o embrutar l'original. Després de l'observació, preneu l'original i marqueu les caselles amb un llapis tou del número HB. Aquest full de registre original l'haureu d'enviar a la Fundació Terra al final de les quatre setmanes a fi que puguem preparar l'informe dels resultats.

Fixeu-vos que el full de registre té una columna que fa referència al número de la fulla de la planta i una renglera amb les sis categories de nivell de taques. La **primera fulla és la que es troba més a sota**, és a dir, la primera que va sortir. Així, la fulla més nova sempre serà la darrera, ja que, com les plantes segueixen creixent, cada setmana tindreu una fulla nova per registrar fins a un màxim de 15 fulles per planta.

Recordem que la lectura s'ha de fer fulla per fulla de cada planta. Abans de prendre el

registre fulla per fulla donarem una ullada general a tota la planta i observarem la carta de densitat de taques per fer-nos una idea general, ja que no sempre el que us trobareu a la fulla de la planta és totalment idèntic als dibuixos de la carta de densitat de taques. En aquest sentit és bo que abans de donar per correcta una lectura l'hàgim discutit entre els participants i n'anotem la categoria que ens sembla més clara a tots.

Us advertim que quan la setmana següent fem una nova observació de l'estat de les fulles, potser alguna de les primeres fulles de la part de baix pot haver mort mentre n'estan sortint d'altres per dalt. No anoteu cap dada sobre les noves fulles fins que aquestes estigui ben obertes i no mig plegades encara. L'alçada de la planta, preneu-la des d'arran de la capa superior de la terra del test o des del nivell de terra.

Al final de les quatre setmanes cal que ens retorneu el full de registre d'observacions omplert amb les dades personals, així com les medicions que heu pres perfectament marcades amb llapis tou (número HB) a fi que quedi una taca fosca sobre el número escollit.

## Anàlisi dels resultats

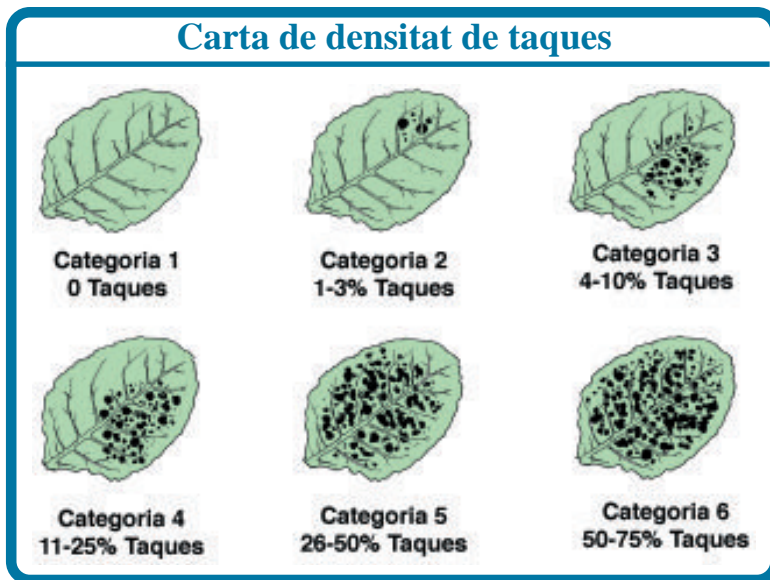
Amb els resultats que ens fareu arribar intentarem elaborar el primer mapa d'ordinador de l'evolució de la contaminació per ozó troposfèric realitzat per les escoles catalanes. El proper curs escolar us en farem arribar els resultats globals.

Durant l'estiu les plantes de tabac seguiran creixent i registrant nous atacs de l'ozó sobre les seves fulles. Per això, podeu suggerir que alguns dels nois o noies que no vagi enloc aquell estiu tingui cura de la planta durant les vacances. Aquesta planta pot arribar a créixer força segons l'ambient on es trobi.

## Informació sobre la qualitat de l'aire

La informació sobre l'estat del medi ambient és pública i correspon a la Generalitat de Catalunya subministrar-la. Adreceu-vos al

• Departament de Medi Ambient  
Direcció General de Qualitat Ambiental  
Av. Diagonal, 525  
08029 Barcelona  
Tel: 93-419 30 85



Compareu aquesta carta amb els atacs que observeu a les fulles de les vostres plantes i anoteu-ho al full de registre adjunt. Podeu fer una fotocòpia i ampliar-la per penjar-la davant la planta que escolliu com a bioindicadora. Feu servir un full per cada planta que faci de vigilant.