



# Kutsadura atmosferikoaren kimika

**Irakasleak:**

**M. Carmen Gómez Navazo  
Eduardo de la Torre Pascual  
Estibaliz Sáez de Cámara Oleaga**

**Bilboko Ingeniaritza Eskola**

Argazkiaren egilea:  
M. Carmen Gómez Navazo

# ATMOSFERAREN KIMIKA GAS-FASEAN

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

4.1. Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura.

4.2. Sufre dioxidoaren ( $\text{SO}_2$ ) oxidazio homogeneoa gas-fasean

4.3. Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

4.3.1. Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

- OH- alkanoak
- OH- aldehidoak
- OH- alkenoak
- OH- aromatikoak

4.3.2. Ozonoaren ( $\text{O}_3$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

4.3.3. Nitrato erradikalaren erreakzioak ( $\text{NO}_3\cdot$ ) konposatu organikoekin

- $\text{NO}_3\cdot$ - alkanoak
- $\text{NO}_3\cdot$ - alkenoak
- $\text{NO}_3\cdot$ - aldehidoak
- $\text{NO}_3\cdot$ - aromatikoak

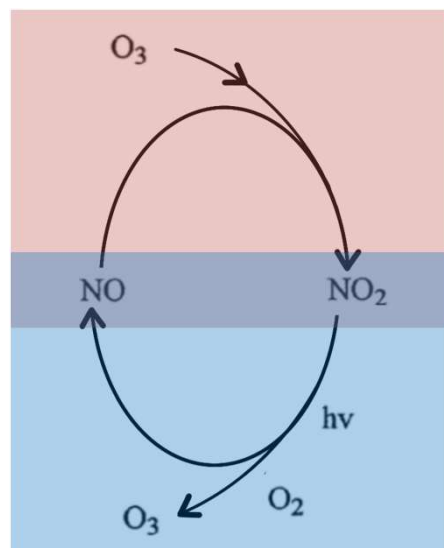
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

**NO**  
**konposatuak**  
**O<sub>3</sub> suntsitu**

$$[O_3] = \frac{J_b [NO_2]}{k_a [NO]}$$

**NO<sub>2</sub>**  
**konposatuak**  
**O<sub>3</sub> sortu**



1. Irudia. Ozono troposferikoaren sorrera/suntsitze-prozesua. Iturria: ATKINSON, R. Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, 2000, vol.34, p. 2063-2101.- tik moldatua

Nitrogeno monoxidoa (NO) dioxidora (NO<sub>2</sub>) oxidatzen duen edozein erreakzio O<sub>3</sub> kontsumitu gabe, **O<sub>3</sub> aren ekoizpena gordin eragiten dute**. Zehazki peroxi erradikalek: **hidroperoxilo HO<sub>2</sub><sup>·</sup> eta alkilperoxiloek RO<sub>2</sub><sup>·</sup>**



Peroxi erradikalek eragindako joera: **NO oxidatzen da NO<sub>2</sub> konposatura O<sub>3</sub> suntsitu gebe. NO<sub>2</sub> konposatuak O<sub>3</sub> sortu**

$$\uparrow [O_3] = \frac{J_b [NO_2]}{k_a [NO]} \downarrow$$

Oxidazio fotokimikoaren oinarriko mekanismoetako batetan hidrokarburoek **(RH) parte hartzen dute, NOx oxidoez gain ozonoa sortzeko**. **·OH erradikalek eragindako erasoarekin hasten da RH kontsumitzen dutelako: erreakzioaren erregaia**.

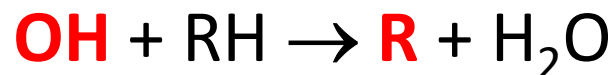
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

#### Ozonoaren sorrera hidrokarburoetatik abiatuta

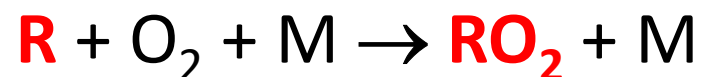
(NO<sub>x</sub> eginkizun garrantzitsua)

1



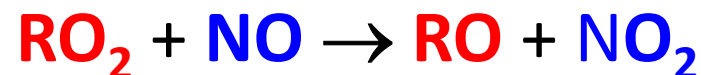
Alkilo erradikala  $\text{R}^\bullet$

2



Alkilperoxilo erradikala  $\text{RO}_2^\bullet$

3



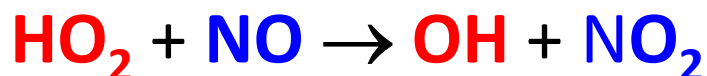
Alkoxi erradikala  $\text{RO}^\bullet$

4

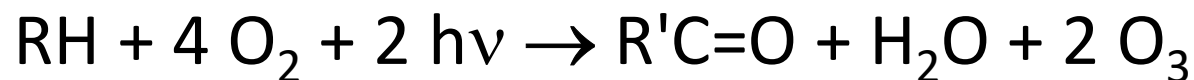
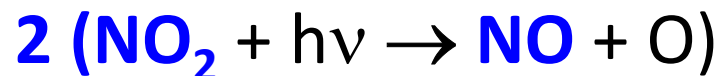


Hidroperoxilo erradikala  $\text{HO}_2^\bullet$

5



$\text{HO}_2^\bullet$  tik  $^\bullet\text{OH}$  ra eraldaketa  
NO dela medio



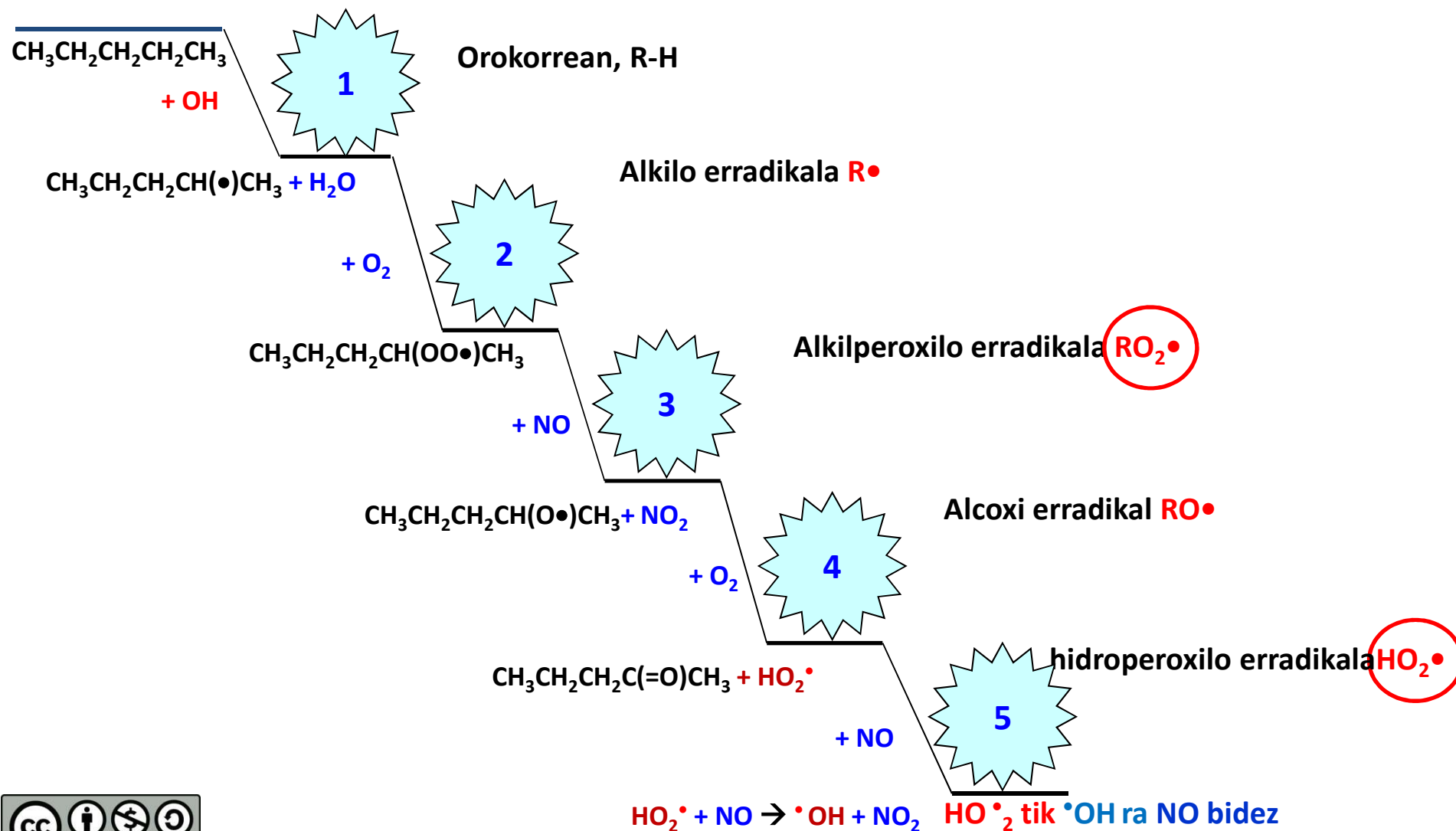
Ozono  $\text{O}_3$  eta karbonilo konposatu bat sortu (2. mailako produktuak),

Aldiz  $\text{HO}_x$  (OH,  $\text{HO}_2$ ) eta  $\text{RO}_x$  (RO,  $\text{RO}_2$ ) mantentzen dira. **Hedapena!**



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

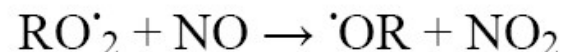
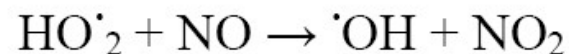
### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

**NO<sub>2</sub> konposatuaren eskuragarritasunak ozonoaren ekoizpen tasa baldintzatzen du, aldiz NO konposatuaren eskuragarritasunak ozonoaren suntsipena.** Dena den, **Ozonoaren ekoizpen eta suntsipenaren arteko oreka** beste erreakzio batzuen menpekoa da ere.



Monoxidoa (NO) dioxidora oxidatzen duen edozein **ozonoaren ekoizpen tasa baldintzatuko du, ozonoa suntsitzeko eskuragarri dagoen NO kontzentrazioa murriz**, beraz ozonoa sortzeko eskuragarri dagoen NO<sub>2</sub> kontzentrazioa handituz.

‘Fotokimika azkar’ honek eragindako ozonoaren ekoizpen gordina honakoa da:

$$\frac{d[\text{O}_3]}{dt} = (k_7 [\text{HO}_2] + \sum k_8 [\text{RO}_2]) [\text{NO}]$$

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

$$[O_3] + \Psi_{ox} = \frac{J_b [NO_2]}{k_a [NO]}$$

Non  $\Psi_{ox}$  «**ikusitako desbideratzea**» adierazten duen eta peroxilo erradikalen kontzentrazioarekin lotuta dagoen.

Egoera foto-egonkorrarekiko **desbideratze esanguratsuak** daudenean,  $\Psi_{ox}$  parametroak egunean zehar aldaketak agertzeko joera du. Aldaketa horiek bat datoz fotokimikoki sortutako erradikal peroxiloen kontzentrazioekin → **Peroxilo erradikalen kontzentrazioa tokiko latitudearen, eguneko orduaren, urte-sasoaren, hodeien estalduraren eta abarren menpe dago.**

Behe troposferan egoera foto-egonkorraren ekuazioak aurreikusten duen baino ozono kontzentrazio altuagoak neurtzen dira: Erreakzio fotokimikoek (**KOL + NO<sub>x</sub> + *hν***) **NO → NO<sub>2</sub>** oxidazioa eragiten dute ozonoa kontsumitu gabe: zenbakitzailea handitzen da, izendatzailea jaisten da eta ondorioz, [O<sub>3</sub>] handitu.

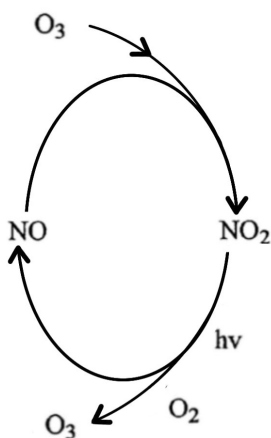
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

**SMOG FOTOKIMIKOA.** Konposatu Organiko Lurrunkorrak (KOL) daudenean atmosferan, horien eraldaketa erreakzioak oso erreaktiboak diren espezien ekoizpena eragiten dute **hidroperoxilo** ( $\text{HO}_2\bullet$ ) y **alkilperoxilo** ( $\text{RO}_2\bullet$ ) erradikalak besteak beste eta horiek  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$  ra oxidatzeko bideak gehitu.

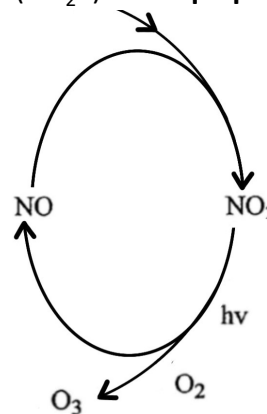
Leighton erlazioa

$$[\text{O}_3] = \frac{J_b [\text{NO}_2]}{k_a [\text{NO}]}$$



KOLen eraldaketa:

hidroperoxilo ( $\text{HO}_2\bullet$ ) eta alquilperoxilo ( $\text{RO}_2\bullet$ ) erradikalak



$$\uparrow [\text{O}_3] = \frac{J_b [\text{NO}_2]}{k_a [\text{NO}]} \uparrow \downarrow$$

2. Irudia. Ozono troposferikoaren ekoizpen/suntsitze-prozesua, KOLak ez daudenean (ezkerra) eta KOLak daudenean (eskuina). Fuente: Elaboración propia adaptado de ATKINSON, R. Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, 2000, vol.34, p. 2063-2101.

Erreakzio horiek **ozonoa**, **aldehidoak**, **hidrogeno peroxidoa**, **peroziazetil nitratoa (PANs)**, **azido organiko eta inorganikoak** eta **partikula finak** sortzen dituzte.



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

- **KOL– Konposatu Organiko Lurrunkorrak**

Ez dago atmosferako KOLentzako globalki onartutako definiziorik. Oro har, funtsean **karbonoz osatutako konposatu kimikoen multzo bat da**, lurrin-presio handia duena giro-tenperaturan. 12 karbono baino gutxiagoko kate bat izaten dute, eta beste elementu batzuk ere izaten dituzte, hala nola, **oxigenoa, fluorra, kloroa, bromoa, sufrea edota nitrogenoa**.

OMS: **Konposatu organikoak**, 50 eta 260°C arteko irakite-puntuak dituztenak, eta lurrin asearen presioa 133,322 Pa baino handiagoa dutenak, 20°C-ko giro-tenperaturan.

RD 102/2011: Metanoa ez diren iturri antropogeniko eta biogenikoetatik datozen **konposatu organikoak** (HKEM), eguzki-argia dagoenean nitrogeno oxidoekin erreakzionatuta oxidatzaile fotokimikoak sor ditzaketenak.

KOL-etatik ugarienenak atmosferan **hidrokarburo ez metanikoak (HKEM)** dira, halere, **konposatu oxigenatuak** aurki daitezke ere.

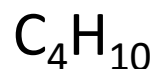
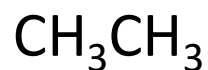
- **Hidrokarburoak** – soilik Hidrogeno eta karbonoa **CARBONO (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, ...)**
- **Oxigenatuak** – alkoholak, aldehidoak, zetonak (**CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>3</sub>CHO CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>, ...**)

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

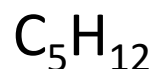
### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

#### KOLak atmosferan: Hidrokarburoak

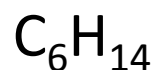
##### ➤ Alkanoak



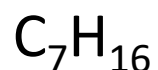
(2 isomero)



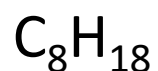
(3 isomero)



(5 isomero)



(9 isomero)



(18 isomero)

....

metanoa

etanoa

propanoa

butanoa

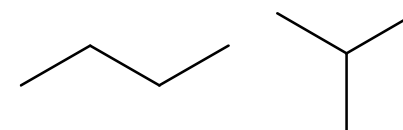
pentanoa

hexanoa

heptanoa

oktanoa

....

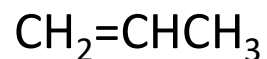
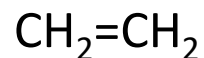


## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

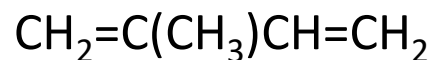
### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

#### KOLak atmosferan: Hidrokarburoak

##### ➤ Alkenoak



...



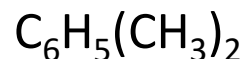
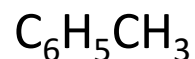
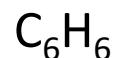
etenoa (etilenoa)

propenoa (propilenoa)

...

2-metil 1,3 butadienoa  
(isoprenoa)

##### ➤ Aromatikoak



...

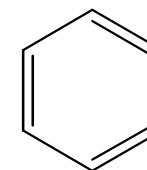
(3 isomero)

Bentzenoa

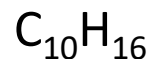
Toluenoa

Xilenoa

...



##### ➤ Terpenoak



$\alpha$ -pinenoa,  $\beta$ -pinenoa

...

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

## KOLak atmosferan: odezkatutako hidrokarburoak

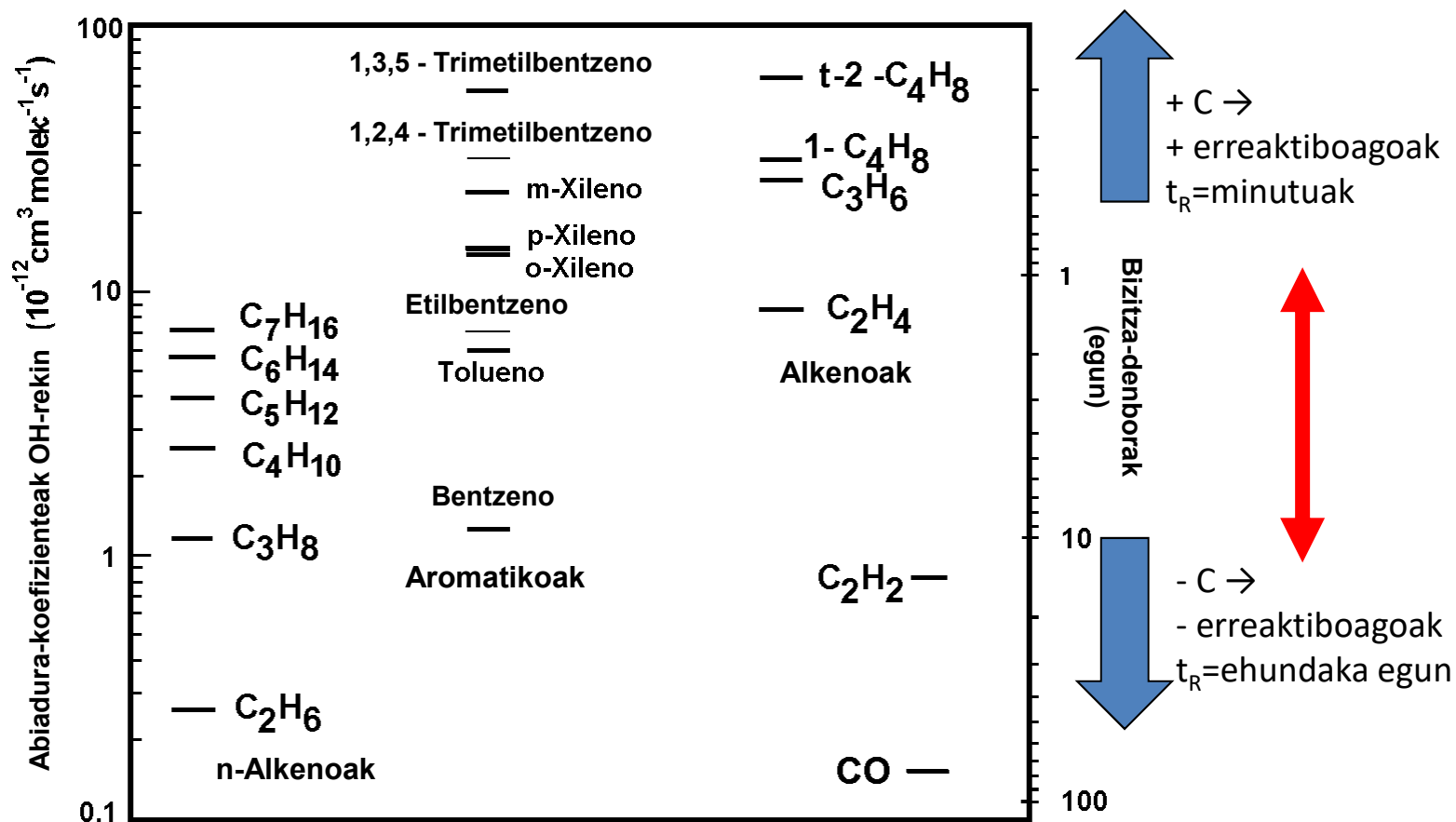
- **Alkoholak, -OH**
  - metanola,  $\text{CH}_3\text{OH}$
  - etanola,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- **Aldehidoak, -CHO**
  - formaldehidoa,  $\text{CH}_2\text{O}$
  - azetaldehidoa,  $\text{CH}_3\text{CHO}$
- **Zetonak, -CO-**
  - azetona,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$
  - MEK,  $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$
- **Azido karboxiikoa, -CO(OH)**
  - Formikoa,  $\text{HCO(OH)}$
  - Azetikoa,  $\text{CH}_3\text{CO(OH)}$
- **Hidroperoxido organikoak, -OOH**
  - metil hidroperoxidoa,  $\text{CH}_3(\text{OOH})$
- **Peroxi azido organikoak, -CO(OOH)**
  - Peroxiazetiko azidoa,  $\text{CH}_3\text{CO(OOH)}$
- **Nitrato organikoak, -ONO<sub>2</sub>**
  - Metil nitratoa,  $\text{CH}_3(\text{ONO}_2)$
  - Etil nitratoa,  $\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{ONO}_2)$
- **Peroxido nitratoak, -OONO<sub>2</sub>**
  - Metilperoxido nitratoa,  $\text{CH}_3(\text{OONO}_2)$
- **Perxiazetil nitratoa, -CO(OONO<sub>2</sub>)**
  - PAN,  $\text{CH}_3\text{CO(OONO}_2)$

*Orokorrean, zenbat eta konpelxuagoa izan molekula, orduan eta ahulagoa da C-H lotura eta handiagoa da OH-rekin abiadura-koefizientea.*



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura



3. Irudia. Abiadura edo zinetika-koefizienteak eta bizitza-denborak (eskumako eskala) hidrokarburo batzuentzat. (CO erreferentzia moduan). Iturria: elaborazio propioa

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

#### SMOG FOTOKIMIKOA

*Smog = smoke+fog*

*Fotokimikoa= eguzki-erradiazioak eraginda*

Lehen mailako kutsatzaileak (aitzindariak) beste bigarren mailako batzuekin (**ozono troposferikoa (O<sub>3</sub>)**, peroxiazetilnitratoak (PAN) eta abar) nahastean sortzen den kutsadura atmosferiko mota, eguzki-erradiazioak eragindako erreakzioen ondorioz sortzen dena.

#### Aitzindari nagusiak

Nitrogeno oxidoak (NO, NO<sub>2</sub>) eta  
Konposatu Organiko Lurrunkorrak (KOL)

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

Prozesua makina bat bezala jokatzen du, **NO eta NO<sub>2</sub>** eta **eguzki-argiaren** eraginaren pean, "Erregaia", hau da, **KOLak**, ozono troposferikoan bihurtzen dituen (O<sub>3</sub>), baita formaldehidoa (HCHO), peroxiazetilnitratoa (PAN), azido organiko eta ez-organikoak eta partikula finak ere.

Kutsadura mota hori areagotu egiten da eguzki-erradiazio handia duten **gune beroetan**. Udaberri-uda da kutsadura-mota hori sortzeko garairik egokiena.

Ozonoak eragin bereziki larriak sortzen ditu **asma duten eta arnasketa-arazoak dituzten pertsonetan**.

Horrez gain, ozonoa **fitotoxikoa** da. Irekiera estomatikoetatik sartzen da landarearen orrietara, eta fotosintesia oztopatzen duten azpiproduktuak ekoizten ditu. Ozonoak gure elikaduraren oinarri diren uzta askoren errendimenduak murrizten ditu, hala nola artoa, gari soja.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

#### OZONO- MAILAK

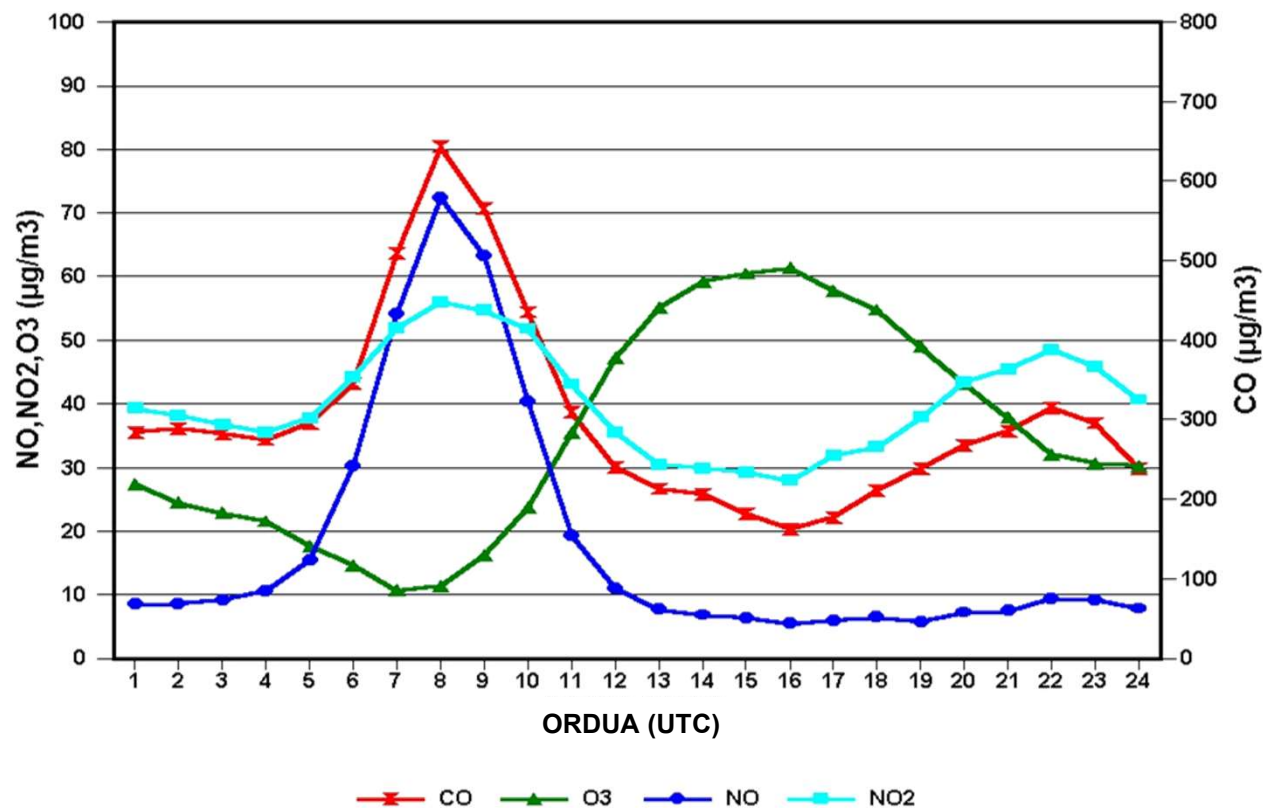
Ozono-mailak murriztu egin ohi dira nitrogeno monoxidoaren (NO) kontzentrazio handiko eremuetan, O<sub>3</sub> azkar kontsumitzen baita NOtik NO<sub>2</sub>ra bitarteko oxidazioan. Horrek azaltzen du O<sub>3</sub> mailak hiri handien erdialdean, trafiko handiko hiriguneetan, txikiak edo ertainak izatea eta landa-eremuetan, ordea, handiagoak izatea.

O<sub>3</sub> eta haren aitzindari batzuen bizi iraupen luzeak atmosferan erraztu egiten du hainbat eskalatan garraiatzea. Hiri-inguruko edo landa-eremuko eremuek kutsatutako aire-masak garraiatzen duten O<sub>3</sub>a jasotzen dute; izan ere, aire hori zahartuta iristen da gutxi kutsatutako ingurune horietara, eta bertan ez dago kontsumitu dezakeen nitrogeno monoxidorik (NO). Beraz, kutsatutako aire-masen bidean dauden landa-eremu batzuek eta hiri txiki batzuek ozono-maila handiagoak dituzte inguruko hirigune handiagoak baino. Hiri handietan, kanpotik garraiatutako ozonoaren zati bat kontsumitu egiten da, bertan isuritako NO delakoarekin erreakzionatzen duelako.



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

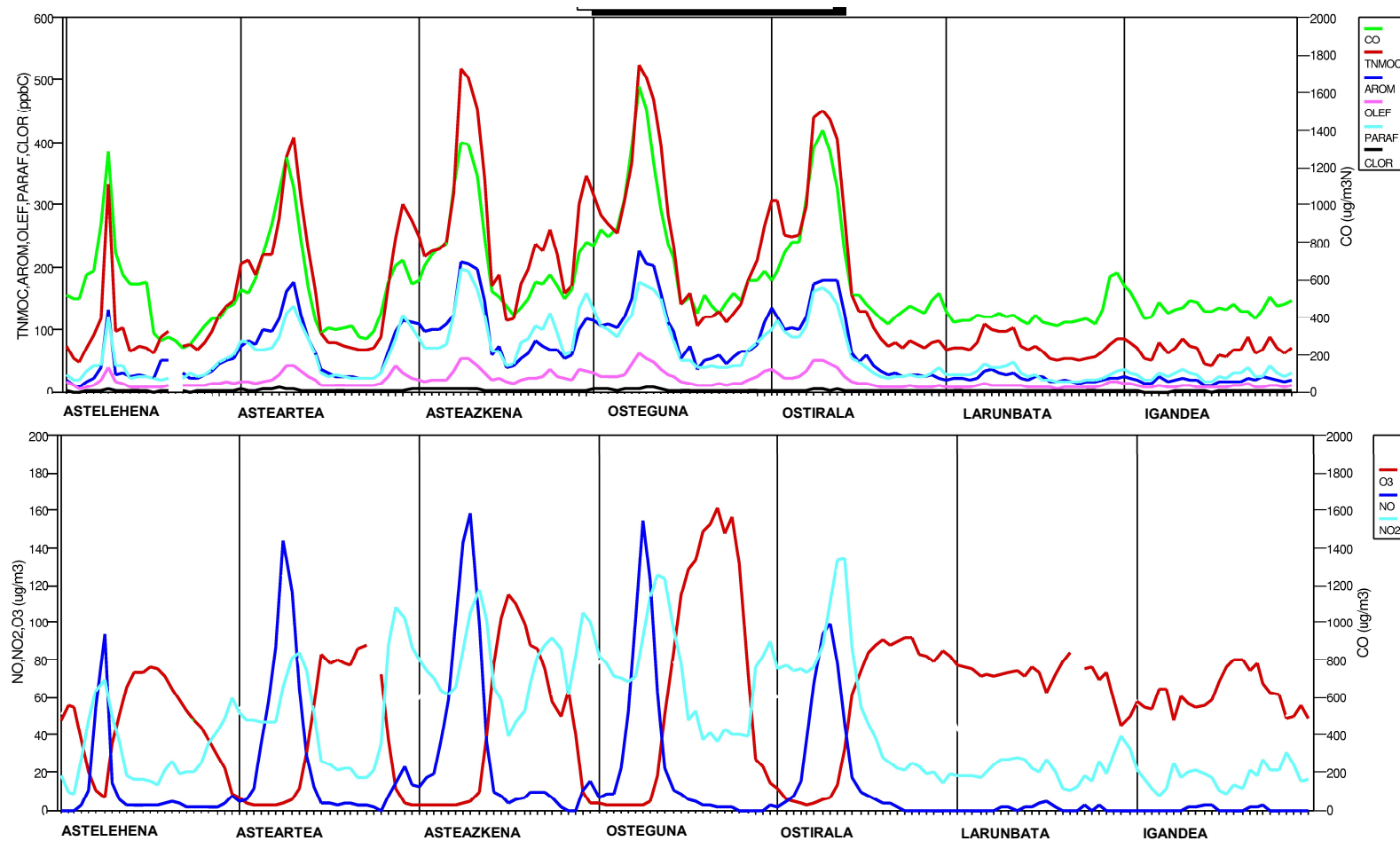
### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura



4. Irudia. CO, O<sub>3</sub>, NO eta NO<sub>2</sub> kontzentrazioen “Batez besteko egunaren” bilakaera, Bilbo hiriaren inguruan. Iturria: elaborazio propioa.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

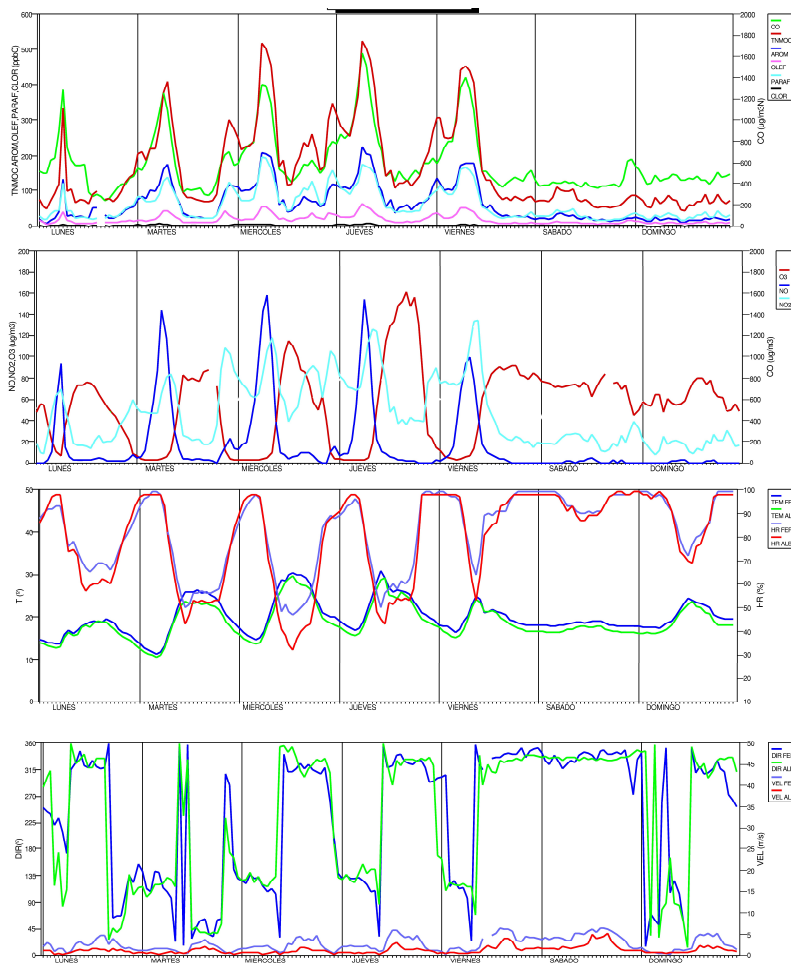
### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura



5. Irudia. CO, TNMOC, AROM, OLEF, PARAF, CLOR (goian) eta  $\text{O}_3$ , NO eta  $\text{NO}_2$  (behean) konposatuen kontzentrazioaren bilakera –orduz ordu- Bilbo hiriaren inguruan. Iturria: elaborazio propioa.

## 4 GAIA. TROPOFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura



Astelehenetik ostegunera, O<sub>3</sub>aren eguneko kontzentrazio maximoen igoera jarraipen bat ikus daiteke, 120-160 µg·m<sup>-3</sup> kontzentrazioetara.

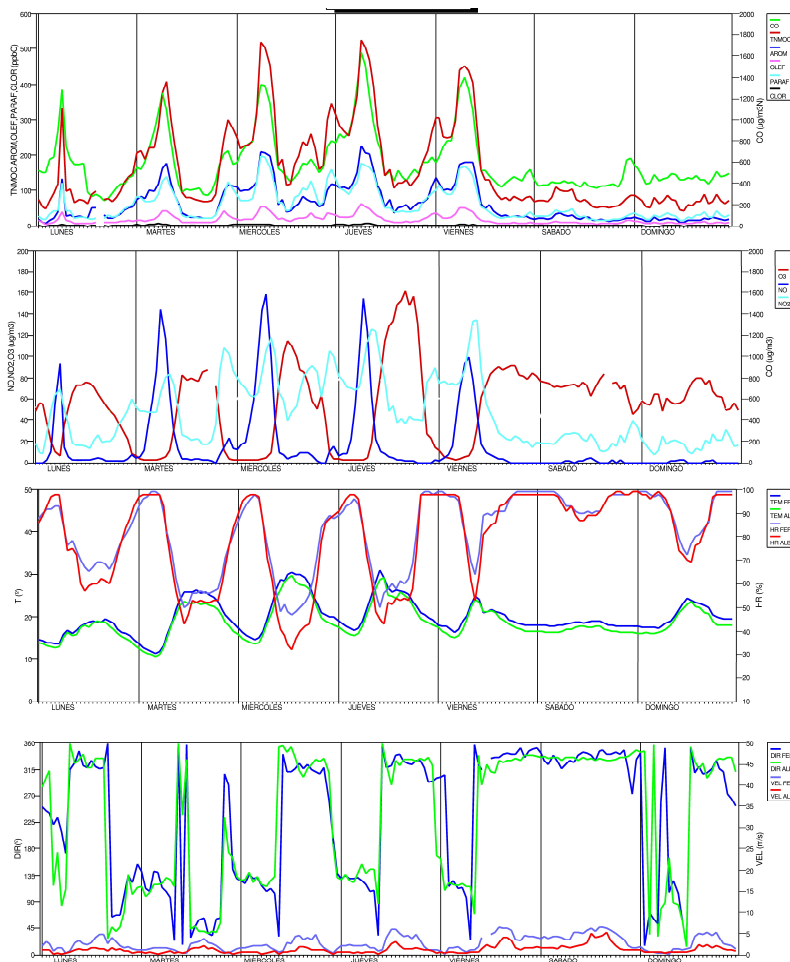
Hori tokian bertan sortu diren **kutsatzaileen birzirkulazio-egoera tipikoa** da.

Ostiraletik aurrera, gertaera hori hautsi egiten da, fronte bat igarotzen baita bertatik. Gainera, asteburuan gertatzen da, eta, beraz, O<sub>3</sub> gutxiago kontsumitzen da, NO-NO<sub>2</sub>-KOL gutxiago isurtzen baita.

6. Irudia. CO, TNMOC, AROM, OLEF, PARAF, CLOR (goian) eta O<sub>3</sub>, NO y NO<sub>2</sub> (goian-erdian) konposatuen kontzentrazioen bilakaera – orduz ordu-, TEMP eta HR (erdian-behean) eta DIR eta VEL (behean) Bilboko hiriaren inguruan. Iturria: elaborazio propioa.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura



Oro har, eremu bateko **NOx isuriek zehazten dute** kutsatutako aire-masak haizea behera mugitzen den bitartean erreakzionatzen duen heinean **sortzen den ozono kopuru osoa**.

**KOLen isurketek, bestalde, ozonoaren hazkunde-abiadura kontrolatzen dute.**

KOL/NOx zatidurak duen balioa goizeko lehen orduetan, parametro interesgarritzat hartu izan da smog fotokimikoaren gertakariak aurreikusteko.

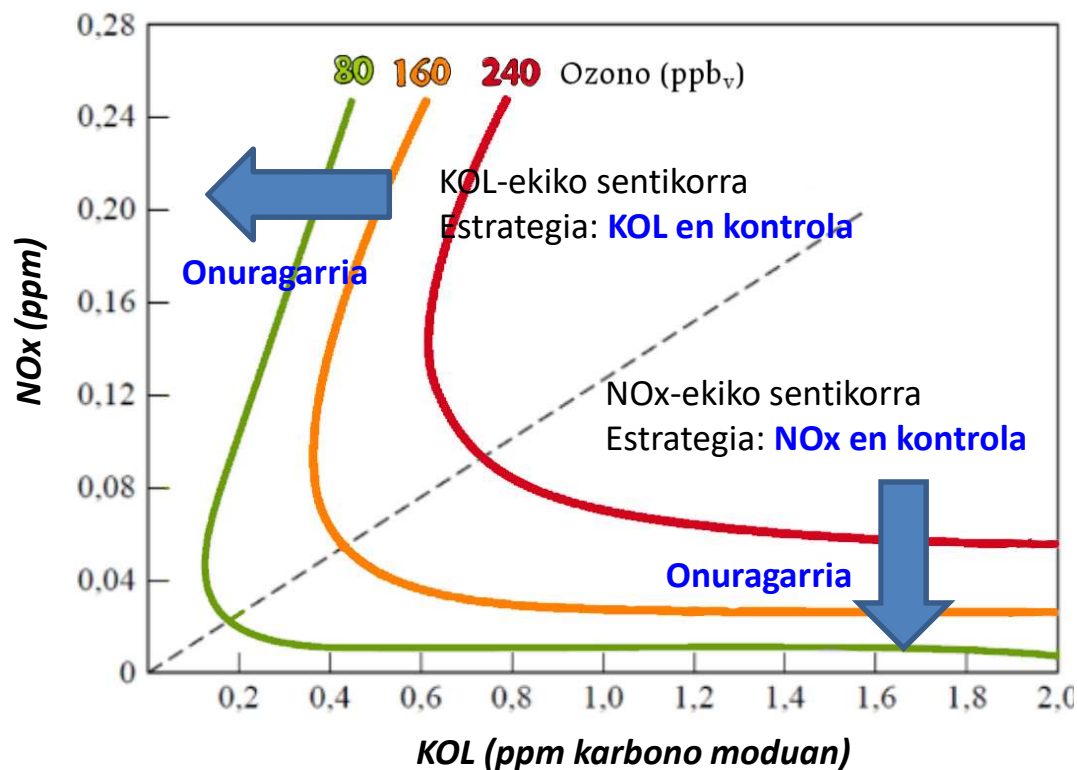
7. Irudia. CO, TNMOC, AROM, OLEF, PARAF, CLOR (goian) eta O<sub>3</sub>, NO y NO<sub>2</sub> (goian-erdian) konposatuaren kontzentrazioen bilakaera –orduz ordu-, TEMP eta HR (erdian-behean) eta DIR eta VEL (behean) Bilboko hiriaren inguruan. Iturria: elaborazio propioa.



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

Ozono troposferikoaren sorrera-metaketa mugatzeko ezinbestekoa da NOx eta KOL-en isurpena kontrolatzea. Dena den, erlazioa ez da lineala.



8. Irudia. Ozonoaren kontzentrazioaren isopletak: ozonoaren kontzentrazio bera KOL-NOx kontzentrazio ezberdinrentzako. Iturria: elaborazio propioa BAIRD, C., CANN, M. *Química Ambiental*. 2ª ed. Barcelona: Reverté, 2014.- tik moldatua.

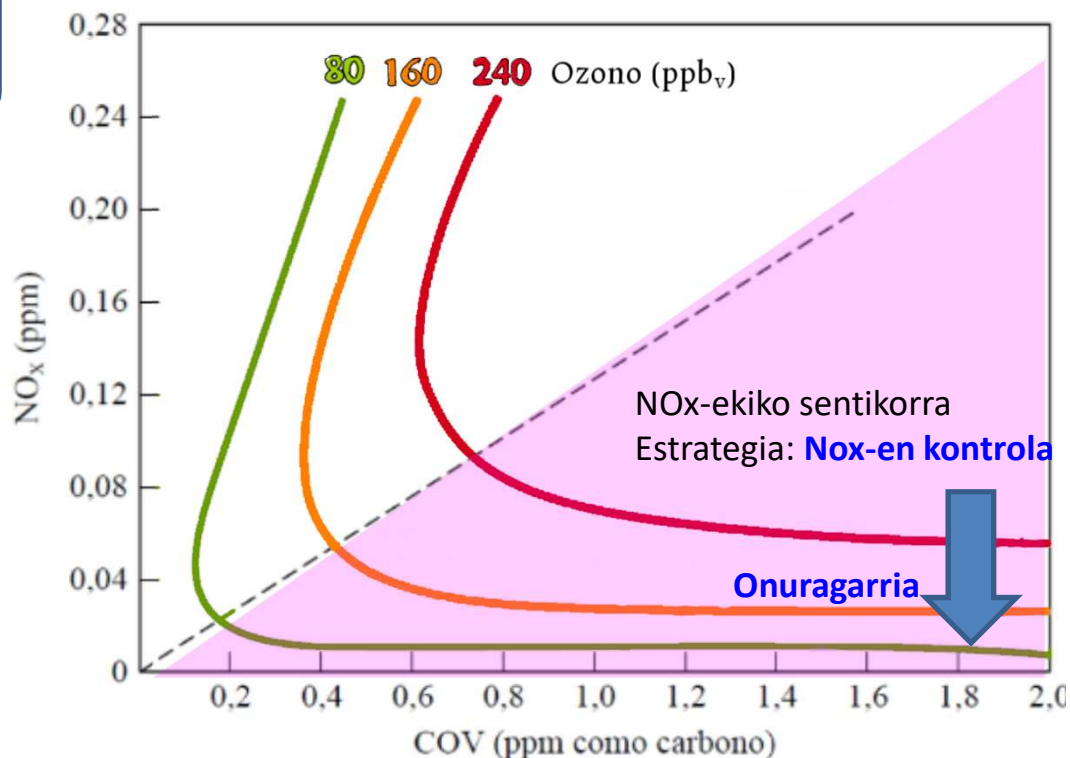
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

**[NO<sub>x</sub>] baxuak  
NO<sub>x</sub>-ekiko sentikorra**

O<sub>3</sub>-ren sorrera **NO<sub>x</sub>-en eskuragarritasuna** baldintzatzen du (Ez KOL-ak)

**NO<sub>x</sub> isurpenen beherakada, ozonoaren kontzentrazioaren jeitsiera eragiten dute**, ordea, KOLEn isurpenen aldaketak (goraka eta beherakadak) ez dute eraginik [O<sub>3</sub>]-an.



9. Irudia. Ozonoaren kontzentrazioaren isopletak: ozonoaren kontzentrazio bera KOL-NO<sub>x</sub> kontzentrazio ezberdinentzako. Iturria: elaborazio propioa BAIRD, C., CANN, M. *Química Ambiental*. 2<sup>a</sup> ed. Barcelona: Reverté, 2014.- tik moldatua.

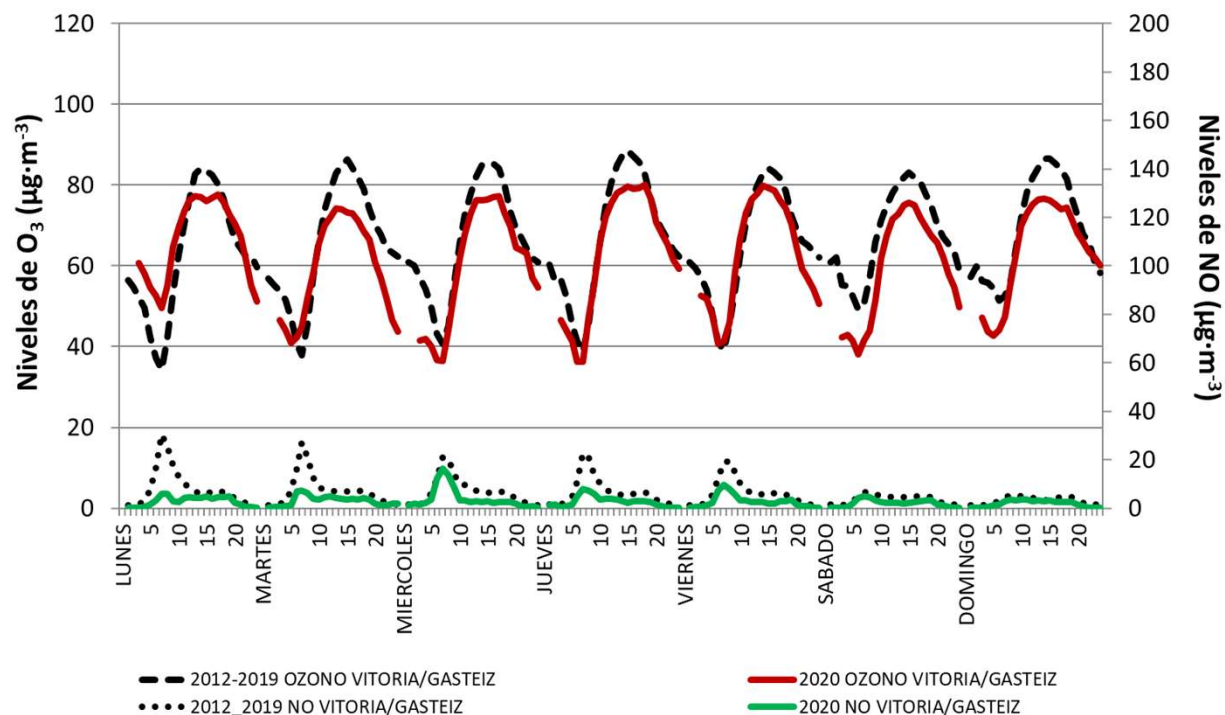
## 4 GAIA. TROPOFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

NOx oxidoen eskuragarritasunak mugatzen du ozonoaren eraketa. COVID pandemiaren konfinamendu garaian, NOx isuriak jaistean, ozonoa jaitsi egin zen ere.

NOx kontzentrazio baxuekin ozono-kontzentrazioa murrizteko modurik eraginkorrena NOx emisioak are gehiago murriztea da.

Evolución de O<sub>3</sub> y NO en Vitoria/Gasteiz, por día de la semana, durante el periodo 16 marzo al 21 de junio de 2020 y las 14 semanas equivalentes COVID 2012-2019



10. Irudia. O<sub>3</sub> eta NO kontzentrazioen bilakaera NOx-ek mugatutako eremu batetan egunez egun COVID 2020 iraun zuen bitartean eta eta bere baliokidearen batez bestekoa aurreko 5 urteak hartuta. Iturria: elaborazio propioa.

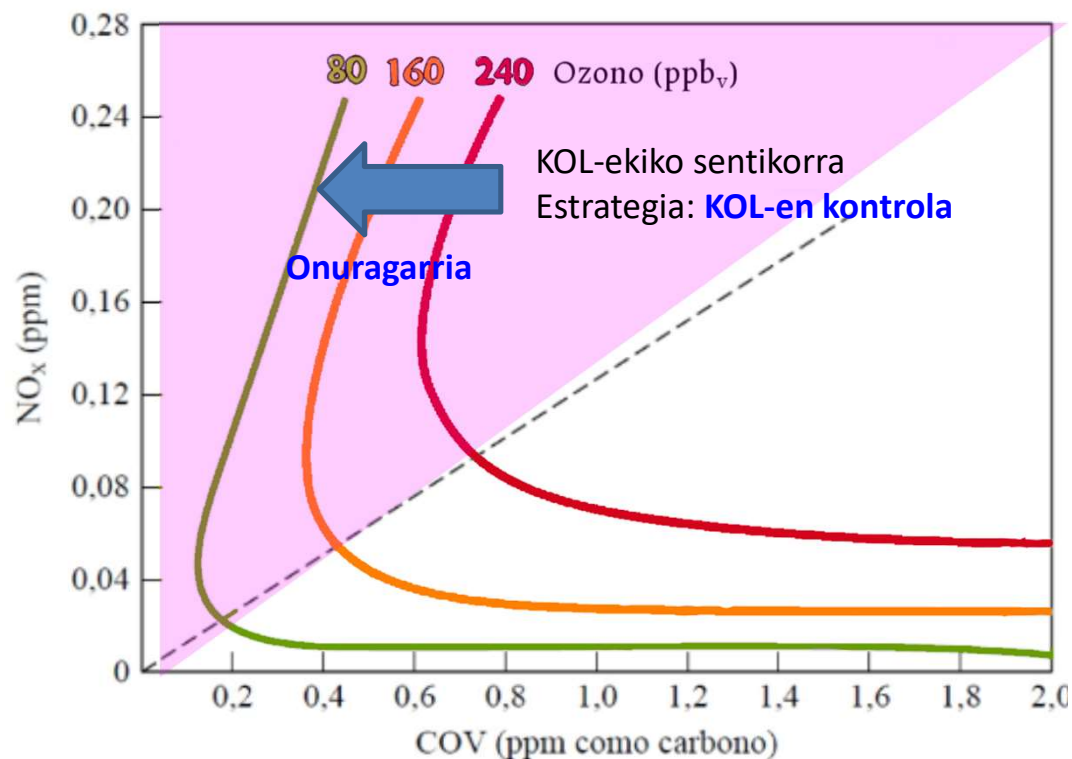
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

[NO<sub>x</sub>] altuak  
NO<sub>x</sub>-ekiko asetuta

NO<sub>x</sub> oxidoen kontzentrazio altuek ozonoaren sorrera mugatzen dute: amaiera erreakzioen abiadura handitzen dute, erradikalen kontzentrazioa jeitsiaraziz, KOLen oxidazioa eragotziz eta ondorioz, O<sub>3</sub> ekoizpena.

**KOL-en isurieen jeitiera onuragarria da ozonoaren kontzentrazioa jeisten dutelako,** aldiz No<sub>x</sub>-en isurien jeitiera ez du eraginik (are gehiago [O<sub>3</sub>] igoera eragin dezake).



11. Irudia. Ozonoaren kontzentrazioaren isopletak: ozonoaren kontzentrazio bera KOL-NO<sub>x</sub> kontzentrazio ezberdinentzako. Iturria: elaborazio propioa BAIRD, C., CANN, M. *Química Ambiental*. 2ª ed. Barcelona: Reverté, 2014.- tik moldatua.

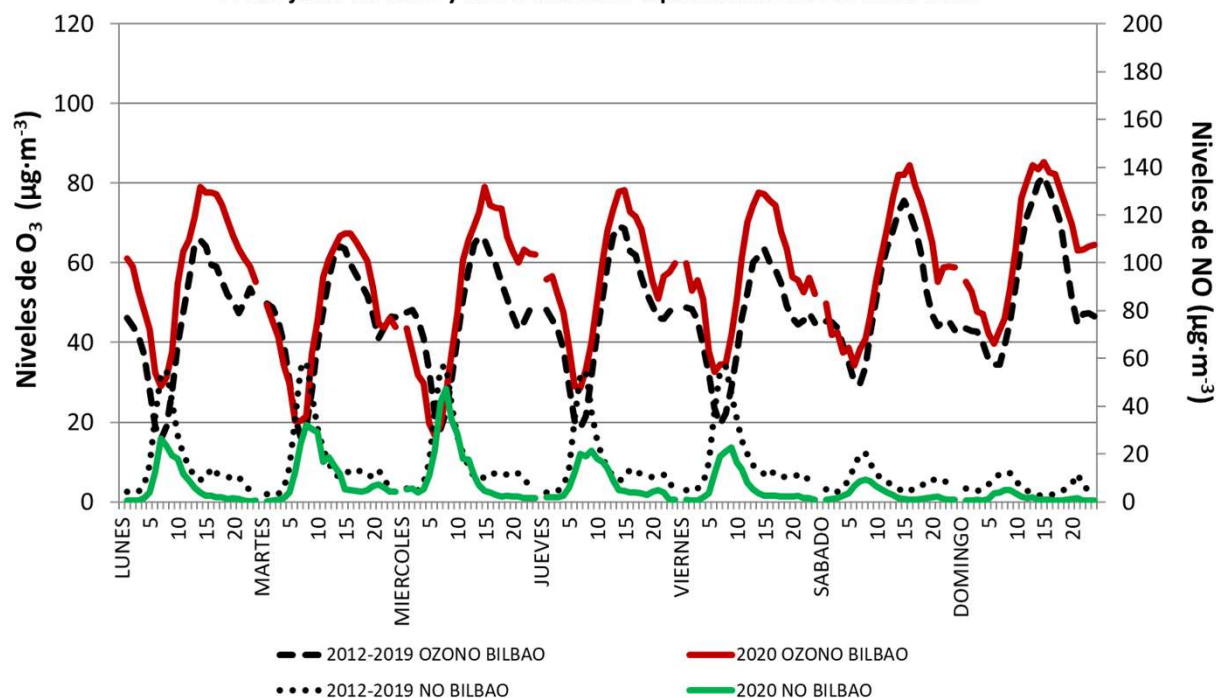
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Ozonoak eta beste oxidatzaile fotokimiko batzuk eragindako kutsadura

NOx isuriak jeitsi zirenean COVIDaren konfinamendu garaian, ozonoaren kontzentrazioa igo zen.

NOx-etan asetuta baina “KOL-ekiko sentikorra”, ozonoaren kontzentrazioa murrizteko modurik eraginkorrean KOL-en isuriak murriztea da.

Evolución de O<sub>3</sub> y NO en Bilbao, por día de la semana, durante el periodo 16 marzo al 21 de junio de 2020 y las 14 semanas equivalentes COVID 2012-2019



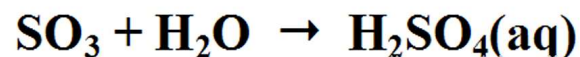
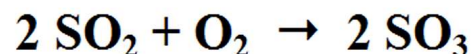
12. Irudia. O<sub>3</sub> eta NO kontzentrazioen bilakaera Bilbon, egunez egun astean zehar, COVID 2020 garaian eta bere baliokidearen batez bestekoa aurreko 5 urteak hartuta. Iturria: elaborazio propioa.



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Sufre dioxidoaren (SO<sub>2</sub>) oxidazio homogeneoa gas-fasean

Sufre dioxidoaren oxidazio homogeneoa, hots, gas-fasean, hurrengo erreakzioen bidez gertatzen da. Lehen erreakzioa oso motela da.



Erreaktibo bakoitzaren (X) garrantzia bere kontzentrazioetik, hau da, [X], eta SO<sub>2</sub>-arekin erreakzionatzen duenean duen abiadura konstantetik abiatuta kalkula daiteke.

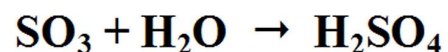
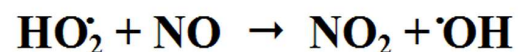
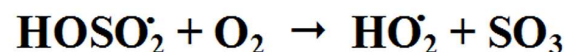
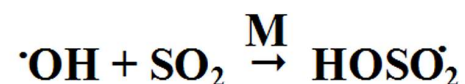
$$-d[\text{SO}_2]/dt = k_x [\text{X}] [\text{SO}_2]$$

Gas-fasean O<sub>3</sub>ak eragiten duen SO<sub>2</sub>-aren oxidazioa motelegia da hautemateko, baina oxidazio-bide esanguratsu bat da atmosferako ur-tantetan (5. gaian aztertuko da).

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK

### Sufre dioxidoaren (SO<sub>2</sub>) oxidazio homogeneoa gas-fasean

SO<sub>2</sub>-aren zati bat gas-faseko erreakzioetan oxidatzen da troposferan.  $\cdot\text{O}$ ,  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{HO}\cdot_2$  eta  $\text{CH}_3\text{O}\cdot_2$  eragiten dute. Horietatik garrantzitsuena:



$[\cdot\text{OH}] = 1.7 \cdot 10^6 \text{ molekula}\cdot\text{cm}^{-3}$  denean, SO<sub>2</sub>-aren oxidazio-abiadura gas-fasean  $\cdot\text{OH}$ -ak eraginda  $\approx$  % 0.7 orduko (%16.4 ingurukoa 24 orduko tarte batetan). Neguan askoz ere baxuagoa da,  $[\cdot\text{OH}]$  baxuagoak direlako.

SO<sub>2</sub> gehiena erreakzio heterogeneoen bitartez eraldatzen da azido sulfurikoan. Ur-fasean gertatzen den oxidazioa askoz ere azkarragoa da, SO<sub>2</sub> eta bere oxidatzaileak ur-tanta txikietan disolbatzean berehala gertatzen da.

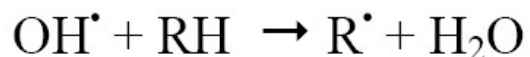
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

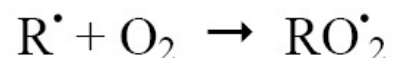
#### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

##### $\cdot\text{OH}$ -alkanoak

Atmosferako alkanoen ezabatze-mekanimoko inportanteena da



**Hidrogenoaren abstrakzioa**  $\text{R}\cdot$  eratzeko



$\text{O}_2$  atmosferikoarekin  $\text{RO}_2\cdot$  eratzen dute

**Alkilperoxilo erradikalak ( $\text{RO}_2\cdot$ ) oso erreaktiiboak dira.** Gehienbat nitrogeno monoxidoarekin (NO) erreakzionatzen dute, baita ere  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HO}_2\cdot$  eta beste erradikal alkilperoxilo batzuekin ( $\text{RO}_2\cdot$ ).

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

- **Alkilperoxilo erradikalen ( $\text{RO}\cdot_2$ ) erreakzioak *beste erradikal peroxilo batzuekin*  $\text{RO}\cdot_2$  y  $\text{HO}\cdot_2$**

Ingurune ez kutsatuetan  $\text{RO}\cdot_2$  beste  $\text{RO}\cdot_2$  batzuekin erreakzionatzen du eta prozesu bimolekularretan deskonposatzen dira edota  $\text{RO}\cdot_2$  erreakzionatzen du  $\text{HO}\cdot_2$  rekin

- **Alkilperoxilo erradikalen ( $\text{RO}\cdot_2$ ) erreakzioak *nitrogeno dioxidoarekin*  $\text{NO}_2$**

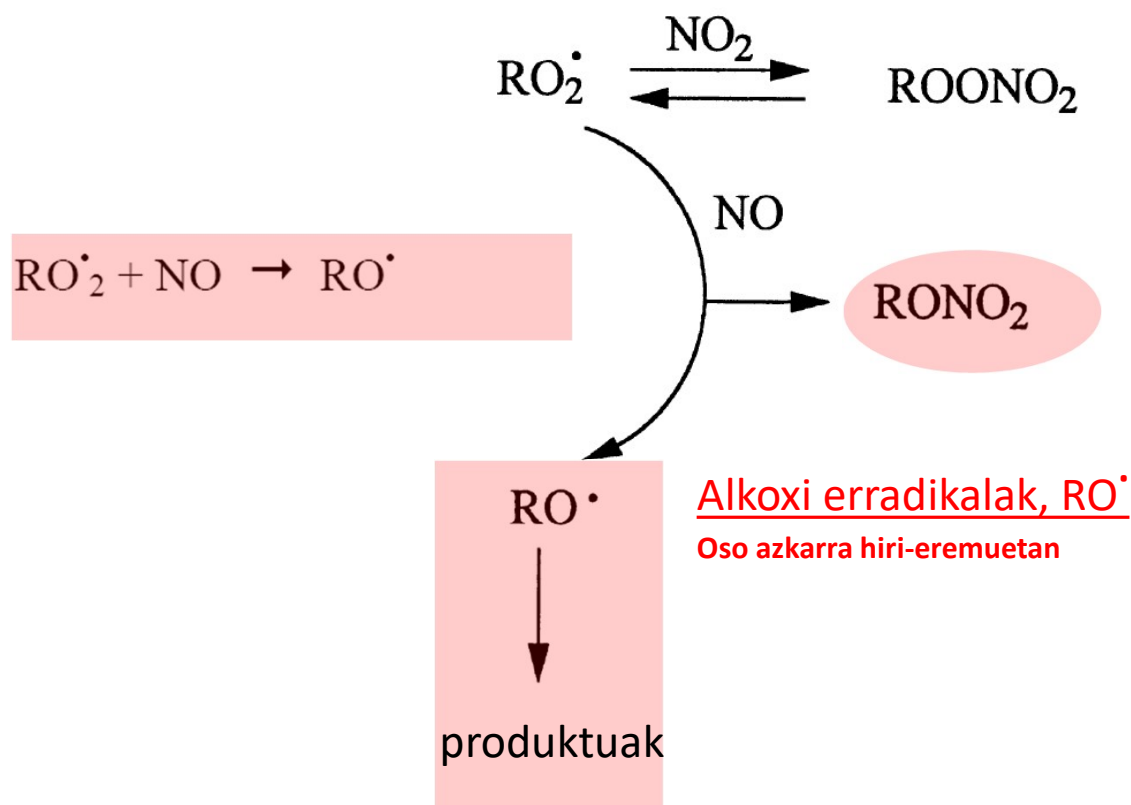
$\text{NO}_2$ -arekin: alkilperoxinitratoak: termikoki deskonposatzeko joera handia.  
Garrantzia gutxiko erreakzioa troposferan.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

#### *Alkilperoxilo erradikalen $\text{RO}_2\cdot$ erreakzioak **NO**-arekin*



Alkilnitratoak: *Nitrato organikoak*

Kate luzeko  $\text{RO}_2\cdot$  erradikalaentzat,  $\text{RONO}_2$  ren formazioa **C atomo kopurua ghanditu ahala handitzen da.**

Atmosferan hainbat egun egon daitezke. Hortaz,  $\text{RO}_2\cdot$  eta **NO** konposatuen aldi baterako biltegiak dira.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

*Alquilperoxilo erradikalak  $\text{RO}\cdot_2$  oso  
espezie erreaktiboak dira.*

Troposferaren ia leku guztietan, **non nitrogeno monoxidoaren (NO) kontzentrazioak nahikoak dira**, alkilperoxilo erradikalak  $\text{RO}\cdot_2$ :

✓ Monoxidoa (NO) dioxidora ( $\text{NO}_2$ ) oxidatzen dute alkoxi erradikaletan ( $\text{RO}\cdot$ ) eraldatuz

✓ edo monoxidoarekin (NO) erreakzionatzen dute **nitrato organikoak ( $\text{RONO}_2$ )** eratuz

**Aldiz, nitrógeno monoxidoaren kontzentrazioa (NO) baxua denean**, alkilperoxiloen erreakzioa s  $\text{RO}\cdot_2$  **beste erradikalekin, esate baterako,  $\text{HO}\cdot_2$  nabarmentzen da: ROOH (hidroperoxido organikoak).**

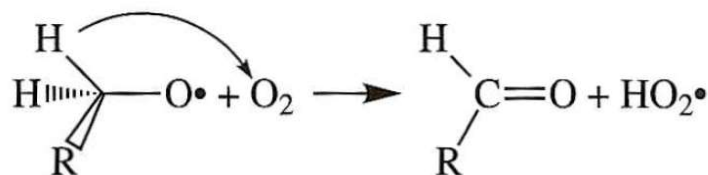
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

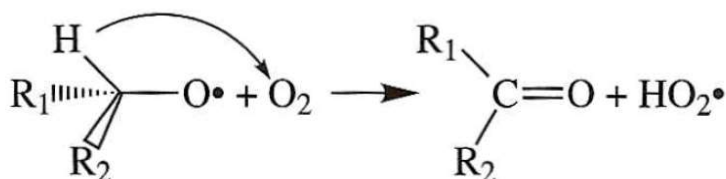
#### *Alkoxi erradikalak $\text{RO}\cdot$*

$\text{RO}\cdot$  erradikalen lehen mailako erreakzioa troposferan oxigenoarekin ( $\text{O}_2$ ) da. erreakzioa hidrogenaoren abstrakzio simple bat da:



aldehido egonkorra,  $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{C} - \text{H} \end{array}$

alkoxi primarioen erradikal kasuan



edo zetona egonkorra  $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{C} - \text{C} - \text{C} \end{array}$ ,

alkoxi sekundarioen erradikal kasuan

Erreakzio hau kate-amaiera motakoa da, karbonoa duen konposatuari dagokionez. Edozein kasutan,  $\text{HO}_2\cdot$  sortzen da eta, ondorioz,  $\cdot\text{OH}$  erradikalak birsortzen dira.



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

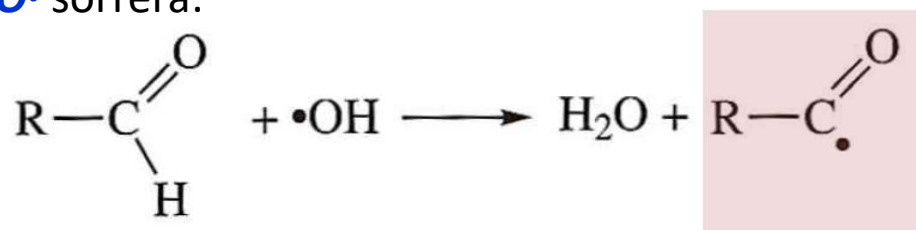
#### $\cdot\text{OH}$ -aldehidoak

Aldehidoak atmosferan kontsumitu egiten dira bai **fotolisia** bai **hidroxilo erradikalaren**  $\cdot\text{OH}$  erasoaren eraginean. **Fotolisiak azilo erradikalaren  $\text{RCO}\cdot$**  sorrera dakar, nahiz eta bide bakarra ez izan.

#### Karbonilo konposatu batzuen fotolisia

Formaldehidoa	$\text{HCHO}$	$\text{H} + \text{HCO}^{\text{b}}$	$\text{H}_2 + \text{CO}$		
Azetaldehidoa	$\text{CH}_3\text{CHO}$	$\text{CH}_4 + \text{CO}$	$\text{CH}_3 + \text{HCO}^{\text{b}}$	$\text{CH}_3\text{CO} + \text{H}$	
Propionaldehidoa	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$	$\text{C}_2\text{H}_5 + \text{HCO}^{\text{b}}$	$\text{C}_2\text{H}_6 + \text{CO}$	$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{HCHO}$	$\text{CH}_3 + \text{CH}_2\text{CHO}$

$\cdot\text{OH}$  erradikalaren erasoaren **hidrogenoaren abstrakzioa** eragiten du eta horrek **azilo erradikalaren  $\text{RCO}\cdot$**  sorrera:

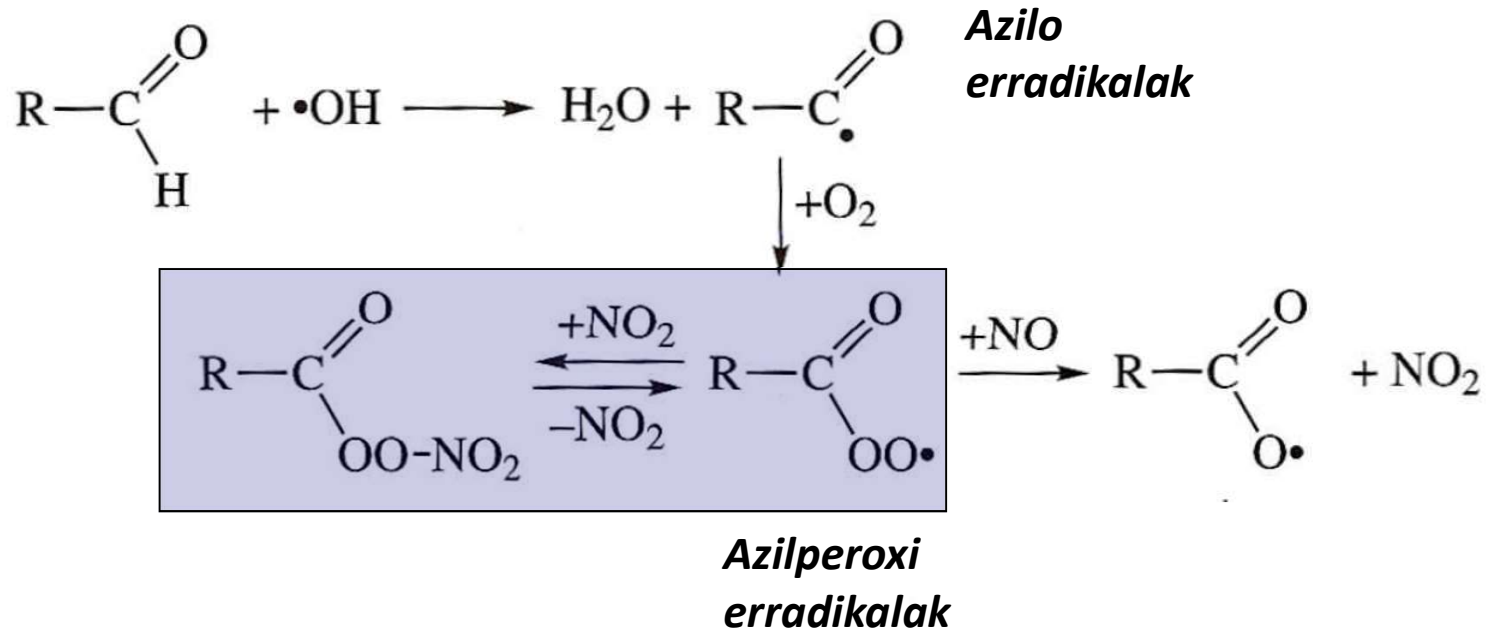


## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

**Azilo erradikalak  $\text{RCO}\cdot$** , hidrokarburoek sortutako erradikalaen antzeko sekuentziak jarraituko dituzte: **oxigenoarekin ( $\text{O}_2$ ) erreakzionatu azilperoxi erradikalak** sortzeko, peroxilo erradikalen  $\text{RO}\cdot_2$  antzeko bidea jaraitu ahal dutenak.

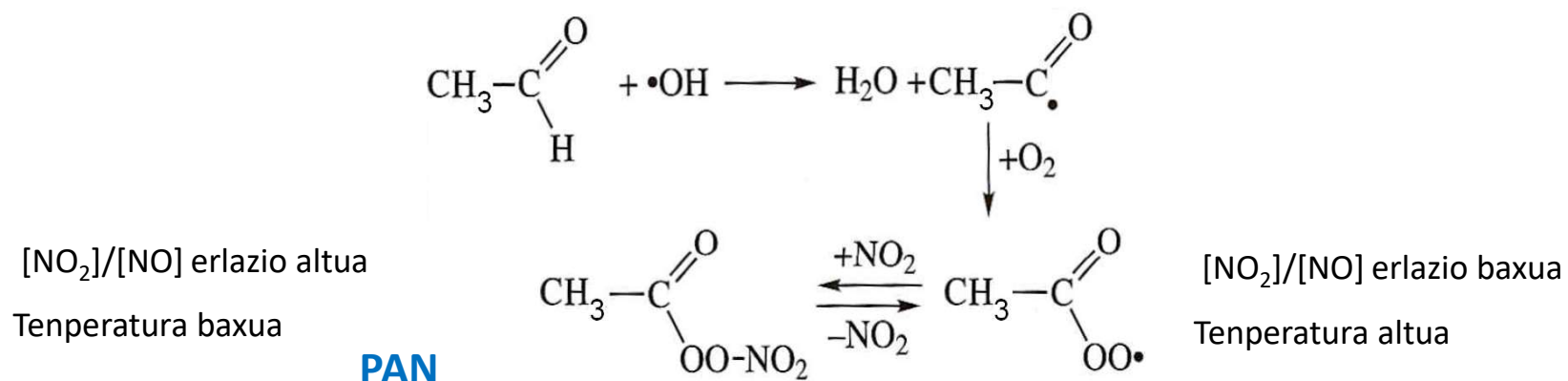


## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

**PeroxiAzetilnitratoak**, nitrogenoaren konposatu organikoak dira. Horien artean **PeroxiAzetil Nitratoa (PAN)** nabarmentzen da, begien narritadura sortzen du eta fitotoxikoa da. Azetilo erradikalaren erreakzioan sortzen da, **azetaldehidoaren oxidaziotik** datozenak.



PAN konposatuen formazio-erreakzioa itzulgarria da, termikoki ezegonkorra delako eta erraz deskonposatzen da.

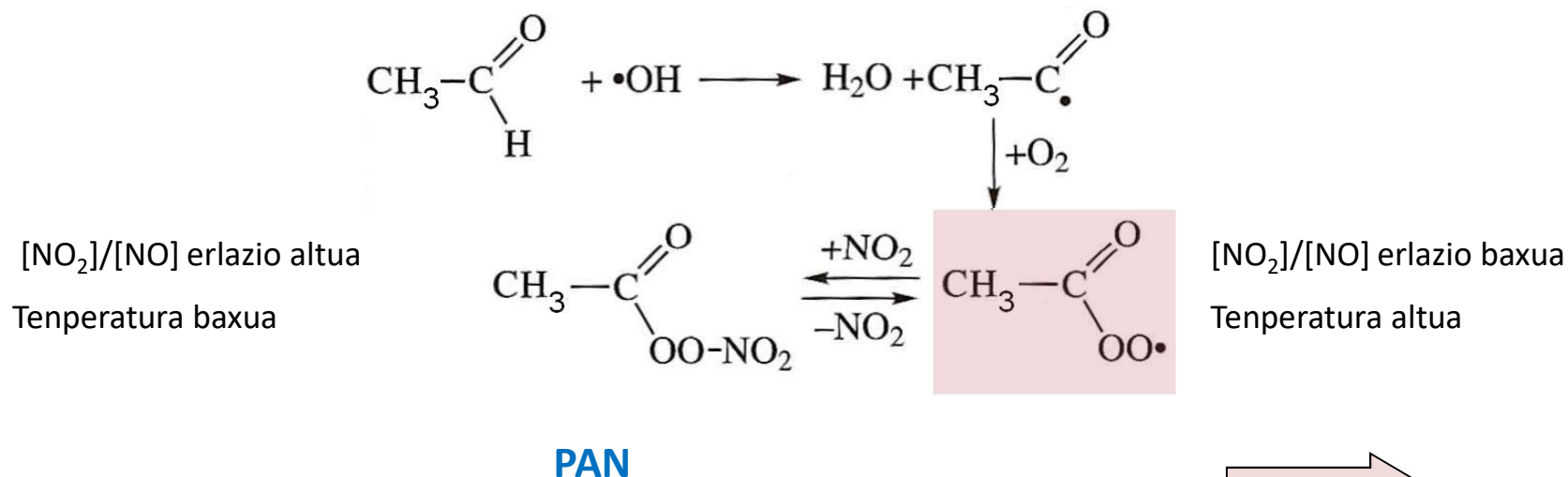
**PAN nitrogeno oxidoen biltegi moduan jarduten du.**

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

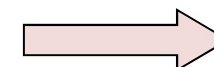
#### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

Azetaldehidoaren oxidazioa **azetilo erradikalak** sortzen ditu, **azetilperoxi erradikale**tara oxidatzen direnak. **PAN konposatua** sor daiteke, baina horren formazio-prozesua itzulgarria denez (termikoki ezegonkorra delako), horren erreaktiboetan deskonposatu daiteke eta peroxi erradikal moduan jarraitu, nitrogeno monoxidoa (**NO**) dioxidora (**NO<sub>2</sub>**) oxidatuz.



[NO<sub>2</sub>]/[NO] erlazio altua  
 Temperatura baxua

[NO<sub>2</sub>]/[NO] erlazio baxua  
 Temperatura altua



## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

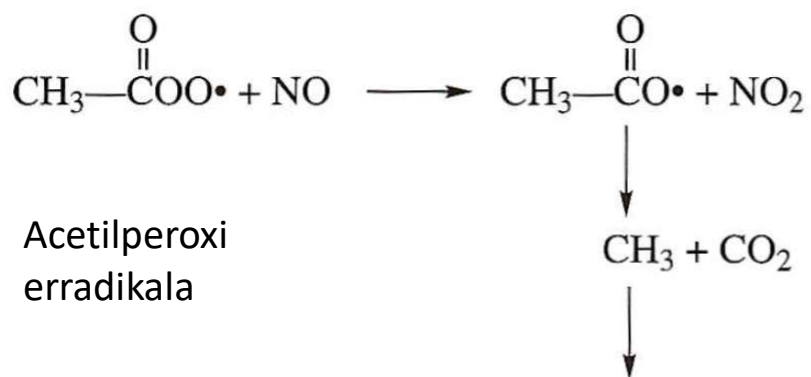
#### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

**Azetaldehido**aren oxidazioa **azetilo erradikalak** sortzen ditu, **acetilperoxi erradikale**tara oxidatzen direnak. **PAN sor daiteke**, baina horren formazio-prozesua itzulgarria denez (termikoki ezegonkorra delako) horren erreaktiboetan deskonposatu daiteke eta **peroxi erradikal** moduan jarraitu, nitrogeno monoxidoa (**NO**) **dioxidora ( $\text{NO}_2$ ) oxidatuz**.

$[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  erlazio baxua

**[NO] altua**

Temperatura altua



Acetilperoxi  
erradikala

Alkilo erradikalen sekuentzia

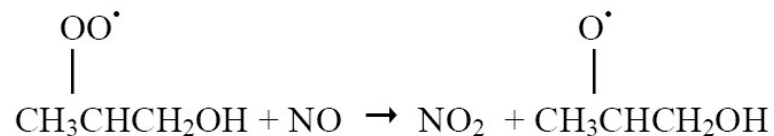
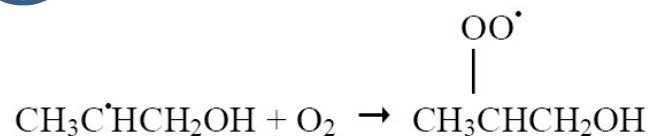
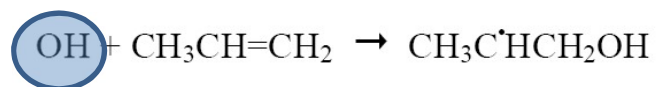
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

#### $\cdot\text{OH}$ -alkenoak

Alkenoak oso oso azkar erreakzionatzen dute hidroxilo erradikalekin ( $\cdot\text{OH}$ ), bereziki **lotura bikoitzeko adizio-erreakzioen** bitartez erradikalak sortuz.



$\cdot\text{OH}$ -ren adizioa lotura bikoitzera

Peroxilo erradikalaren formazioa

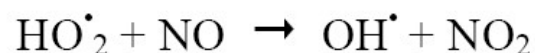
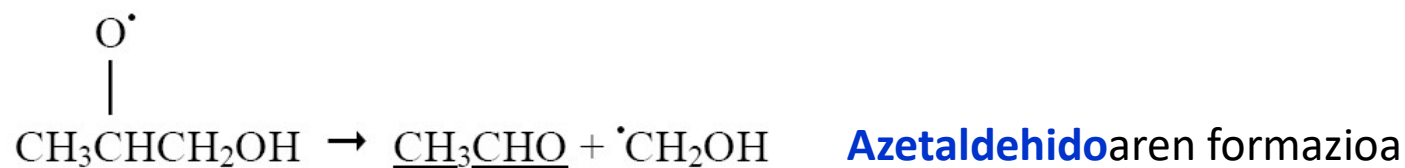
Peroxilo erradikalak **NO** **NO<sub>2</sub>**-ra oxidatzen du eta **alkoxi erradikalak sortu**.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

Alkoxi erradikalaren deskonposizioa, erradikal laburragoak produzitzeko eta  $\text{CH}_3\text{CHO}$  zein geroko erreakzioek  $\text{HCHO}$  ren sorrera eragiten dute, adibidez propenoaren kasuan, zenbait atmosfera kutsatuetan neurtu izan dena.



Adibidez, etenoaren kasuan, bi molekula **formaldehido** sortzen dira, eta 1-butenaren kasuan **propanal + formaldehidoa** sortzen dira.



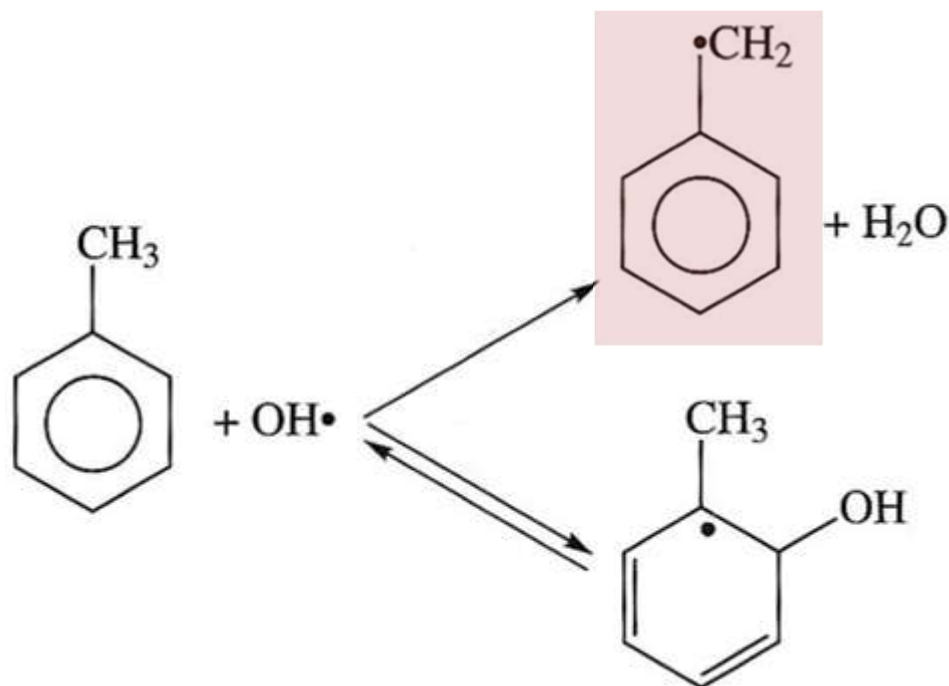
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### Hidroxilo erradikalaren ( $\cdot\text{OH}$ ) erreakzioak konposatu organikoekin

#### $\cdot\text{OH}$ -aromatikoak

Erreakzioarentzako bi bide nagusi daude: ordezkatuta metilo taldeen hidrogeno atomoen abstrakzioa edo  $\cdot\text{OH}$  gehitzea eraztun aromatikora.



#### **Hidrogeno atomoen abstrakzioa.**

Benzilo erradikala. Atmosferako baldintzetan horrek benzaldehidoa eta benzilo nitratoa sor ditzake, alkilo erradikalarentzako deskribatutako antzeko erreakzioen bidez.

#### **$\cdot\text{OH}$ erradikalaren gehiketa eraztun aromatikora.**

Toluenoaren kasuan, hiriguneko atmosferen ohiko osagai bat dena, %80 alditan orto posizioan.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### OZONOAREN (O<sub>3</sub>) EREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOEKIN

Atmosferako baldintzatan ozonoak hidrokarburo asetuekin eta hidrokarburo aromatikoekin erreakzionatzen du abiadura motelarekin. Ozonoak eragiten duen **alkenoen oxidazioa** da erradikalek hasi egiten **EZ** duten eta garrantzia duen oxidazio-prozesuetako bat (eskasak dira).

Kutsatuetako atmosferetan, ozonoaren kontzentrazioa hidroxilo erradikalen (OH) kontzentrazioa baino sei magnitude-ordena baino handiagoak izan daiteke ala gehiago. Esate baterako, **arratsaldean, kutsadura-gertaerak daudenean**, ozonoaren kontzentrazioa **200 ppb ~ 5·10<sup>12</sup> molec·cm<sup>-3</sup>** ingurukoa izan daiteke eta, hidroxilo erradikalena aldiz **1-5 ·10<sup>6</sup> erradikal cm<sup>-3</sup>**

Alkenoen erreakzioen zati handi bat O<sub>3</sub> arekin gertatzen dira.

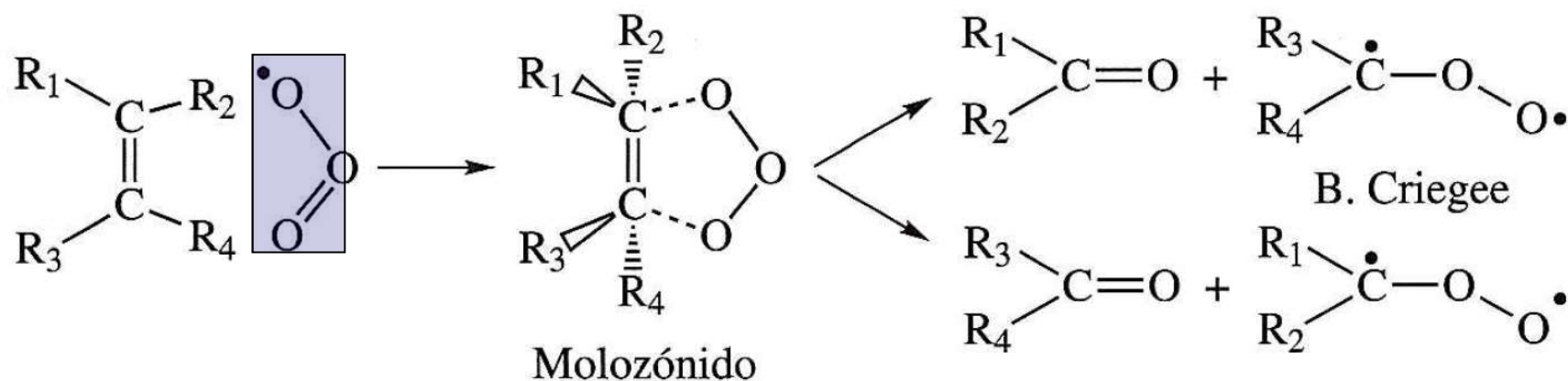
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### OZONOAREN (O<sub>3</sub>) EREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOEKIN

Aspalditik dakigu alkeno eta ozonoaren erreakzioek aldehidoen, zetonen, azido karboxilikoen, uraren, CO-ren eta CO<sub>2</sub>-aren nahasketa konplexu batera daramatela.

Erreakzioaren lehen urratsa ozonoa lotura bikoitzari gehitzea da, “ozonido primarioa” deritzon tarteko konposatu bat osatzeko. Kasu guztietan, erreakzioaren ondorioz, C = C lotura bikoitza hautsi egiten da; lotura horren ordez, alde batean karbonilo-talde bat ipintzen da, eta beste aldean, “Crieggeren Birradikal” bat.

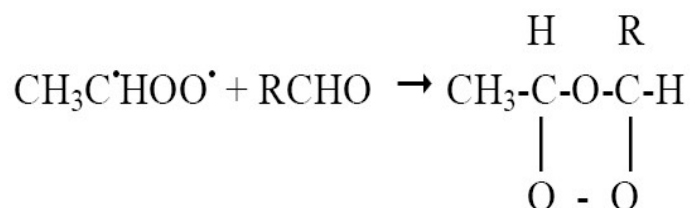


## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

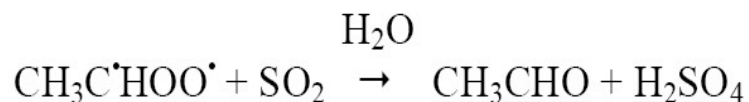
### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

### OZONOAREN (O<sub>3</sub>) EREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOEKIN

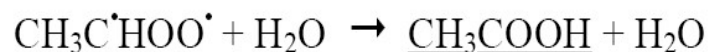
Criegeeko birradikal ezegonkorren kimika behar bezala azaldu ez arren, jakina da gaitasun oxidatzaile handia dutel birradikal horiek eta SO<sub>2</sub>, CO, NO eta NO<sub>2</sub> bezalako lehen mailako kutsatzaileen oxidazioa eragiten dute, baita urarena eta aldehidoena eta zetonena ere.



Aldehidoekin **bigarren mailako ozonidoak** sortzen dira.



SO<sub>2</sub> eta gehiegizko ur-lurrunarekin H<sub>2</sub>O, **azido sulfurikoa eratzen dute**, huri azido edo laino azidoak sortuz.



Ur-lurrunarekin H<sub>2</sub>O erreakzioa azido karboxilikoan beste iturri bat da.

Bigarren mailako aerosol organikoen iturri nabarmen bat dira ere, **ikuspen arazoak** eta **arnas gaixotasunak** sortuz kutsadra fotokiikoaren ondorioz.

## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### NITRATO ERRADIKALAREN ( $\text{NO}_3^\bullet$ ) ERREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOekin

**Konposatu organikoen hustubide gisa**  $\text{NO}_3^\bullet$  duten erreakzioak garrantzitsuak dira, bai ikuspegi absolututik, bai  $\cdot\text{OH}$  eta  $\text{O}_3$  konposatuekin duten erreakzioekin alderatuta.

Gauetz  $\text{NO}_3^\bullet$  erradikalarekin duen erreakzioa garrantzitsua izan daiteke, baita alkeno eta aromatiko batzuk galtzeko prozesu nagusia ere.

$\text{NO}_3^\bullet$  erradikalak eragiten dituen erreakzio horien ondorioz, **gauean behera egin dezakete konpostatu horren kontzentrazioek** [ $\text{NO}_3^\bullet$ ]

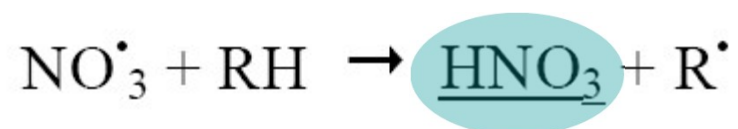
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### NITRATO ERRADIKALAREN (NO<sub>3</sub><sup>•</sup>) ERREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOEKIN

##### NO<sub>3</sub><sup>•</sup>–alkanoak

Erreakzio horiek **hidrogeno atomoen abstrakzio**-erreakzioen bidez gertazen dira, C-H loturena, bereziki bigarren ala hirugarren mailakoak direnak.



Horien emaitza **azido nitriko**aren ekoizpen zuzena da.

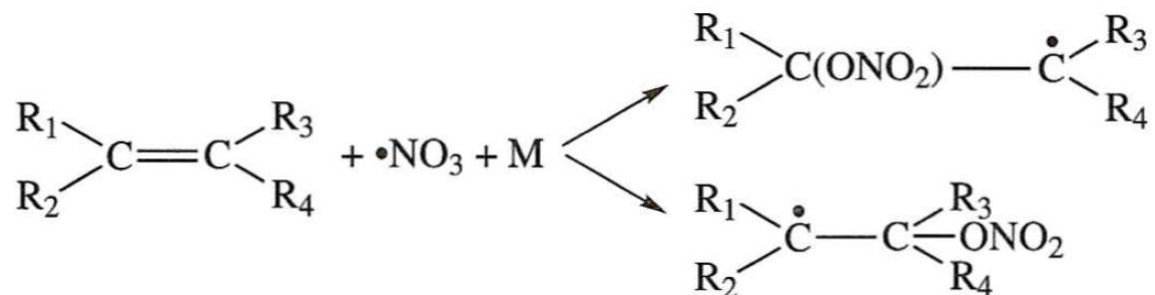
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### NITRATO ERRADIKALAREN (NO<sub>3</sub><sup>•</sup>) ERREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOEKIN

##### NO<sub>3</sub><sup>•</sup>–alkenoak

Gas-fasean dagoen NO<sub>3</sub><sup>•</sup> erradikala alkenoekin erreakzionatzen du, lotura bikoitzaren ordezkapenarekin nabarmen hazten da abiadurarekin. Erreakzio horiek **olefinaren lotura bikoitzera NO<sub>3</sub><sup>•</sup> gehituz** gertatzen dela ikusi da.



Erreakzio hori ikusi ostean beste batzuk proposatu ohi dira, baina oraindik ez dira frogatu datuekin.



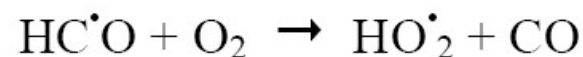
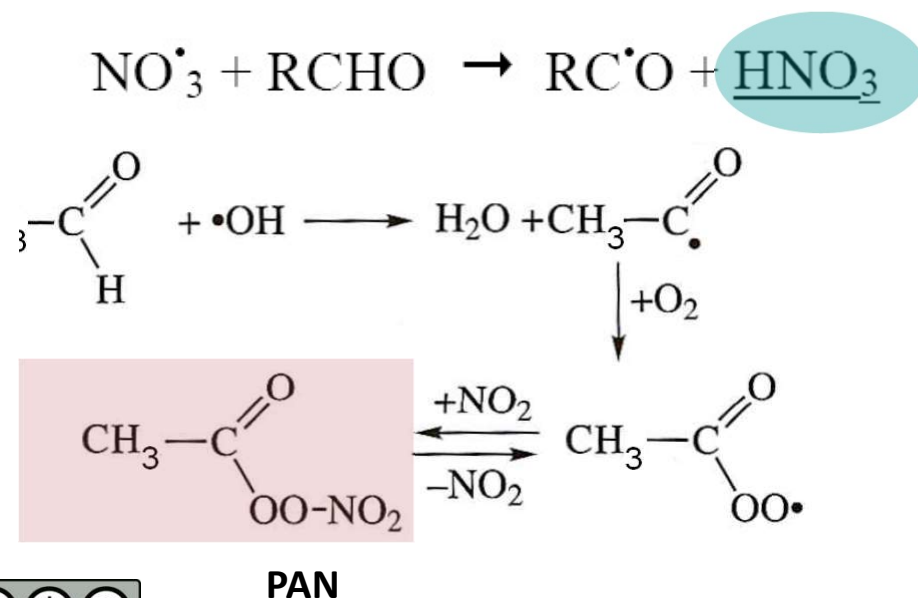
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

#### NITRATO ERRADIKALAREN (NO<sub>3</sub><sup>•</sup>) ERREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOEKIN

##### NO<sub>3</sub><sup>•</sup>-aldehidoak

Ikus izan da azido nitrikoaren formazioa nitrato erradikalak NO<sub>3</sub><sup>•</sup> CH<sub>3</sub>CHO konposatuarekin duen erreakzioaren bitartez. Erreakzio hori gauean zehar **PAN**-aren iturri garrantzitsu bat izan daiteke. **Goi mailako aldehidoekin** gertatzen bada antzeko bideak jarrai ditzake eta **peroxiazilo nitratoak** RCO<sub>3</sub>NO<sub>2</sub> sortu.



**Formaldehidoarekin duen erreakzioa**  
HO<sub>2</sub><sup>•</sup> erradikalak sor ditzake

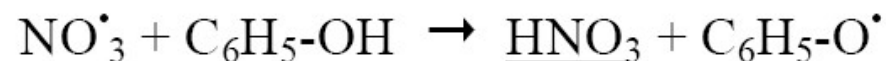
## 4 GAIA. TROPOSFERAKO PROZESU NAGUSIAK.

### Konposatu Organiko Lurrunkorren (KOL) eraldaketa kimikoak

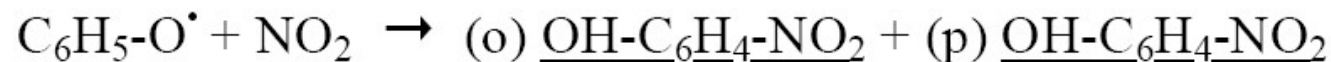
#### NITRATO ERRADIKALAREN (NO<sub>3</sub><sup>•</sup>) ERREAKZIOAK KONPOSATU ORGANIKOEKIN

##### NO<sub>3</sub><sup>•</sup>-aromatikoak

NO<sub>3</sub><sup>•</sup> erradikalaren erreakzioak hidrokarburo aromatiko monoziklikoekin eta hidroxid aromatikoekin, froga zinetikoen arabera, **hidrogeno atomoen abstrakzioa** dela medio gertatzen dira, ordezkaturako taldeen C-H eta O-H loturena.



Ondorioz, azido nitriko eta fenola sortzen dira, **nitrofenol**-ean eraldatu ahal direnak.



Hortaz, erreakzio horiek **azido nitrikoa**ren iturri zuzen bat dira eta hegazkortasun baxuko **nitrokonposatu organikoena**.