
Encuentro
Bases Científico-Técnicas para mejorar la calidad del aire en España

Efectos del ozono en la salud

Elena Boldo

Área de Epidemiología Ambiental y Cáncer

Centro Nacional de Epidemiología

eiboldo@isciii.es

Santander, 20 de julio de 2015

1. Carga de enfermedad de la contaminación atmosférica.
 2. Doble papel del ozono en la salud.
 3. Ozono estratosférico y salud.
 4. Ozono troposférico y salud.
-
-

Carga de enfermedad de la contaminación atmosférica

Contaminación atmosférica, un riesgo inevitable

- La atmósfera es la parte del ambiente con la que el organismo humano está en permanente contacto.
- Ubicuidad de la exposición (riesgo inevitable): la exposición a los contaminantes atmosféricos está en gran medida fuera del control personal y requiere medidas de las autoridades públicas a nivel regional, nacional e internacional.
- La contaminación atmosférica representa un importante riesgo medioambiental para la salud.



Contaminantes atmosféricos y salud

- La relación entre contaminantes atmosféricos y salud cada día es más conocida.

EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE EN LA SALUD

SO₂: Causa broncoconstricción, bronquitis y traqueítis. Agrava enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes.



NO₂: Irrita las vías respiratorias. Causa bronquitis y pulmonía. Reduce significativamente la resistencia respiratoria a las infecciones.



CO: Inhabilita el transporte de oxígeno hacia las células. Provoca mareos, dolor de cabeza, náuseas, estados de inconsciencia e inclusive la muerte.



Benceno: Produce efectos nocivos en la médula ósea. Se asocia con el desarrollo de leucemia mieloide. Daña el sistema inmunológico. En las mujeres, puede provocar irregularidades en la matriz. En mujeres embarazadas, el benceno puede pasar de la sangre de la madre al feto.



O₃: Irrita el sistema respiratorio. Reduce la función pulmonar. Agrava el asma. Inflama y daña las células que recubren los pulmones. Agrava las enfermedades pulmonares crónicas. Causa daño pulmonar permanente. Se asocia directamente a incrementos en la mortalidad.



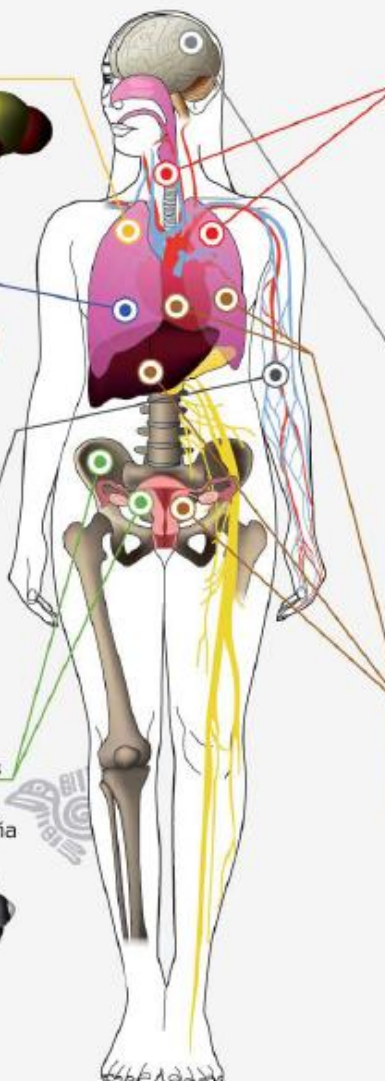
Pb: Causa retraso en el aprendizaje y alteraciones de la conducta.



PM₁₀: Agravan el asma. Favorecen las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En mujeres embarazadas, pueden ocasionar disminución en el tamaño del feto y, una vez nacido, reducción de la función pulmonar. Se asocia directamente a incrementos de la mortalidad en todos los grupos de población.



PM_{2.5}: Ingresan a la región más profunda del sistema respiratorio. Agravan el asma. Reducen la función pulmonar. Están asociadas con el desarrollo de la diabetes. Existe una relación con la mortalidad en todos los grupos de población. En mujeres embarazadas, pueden ocasionar disminución en el tamaño del feto y, una vez nacido, reducción de la función pulmonar.



Fuente: *Calidad del Aire en la Ciudad de México. Informe 2010.*

- No existe especificidad de efectos (etiología multifactorial de enfermedades). Confusión importante con otros factores de riesgo.
 - Clasificado como carcinogénico por la IARC (Grupo 1).
 - Mortalidad: mayor evidencia científica (PM).
 - Morbilidad: evidencia menos robusta que para la mortalidad (mayor dificultad para la obtención de registros hospitalarios/ambulatorios con calidad).
-

Carga de enfermedad de la contaminación atmosférica

MUERTES POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE

1 de cada 8 decesos en el mundo

El último informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) precisó que los fallecimientos por polución atmosférica en 2012 representaron el 12.5 por ciento de las muertes en todo el planeta, por lo que alertó a la población para tomar medidas que reduzcan las emisiones tóxicas que provocan enfermedades mortales.

DECESOS POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA 2012

7 millones

12.5% de las muertes en todo el mundo

que es igual a



1 de cada 8 muertes

De los cuales

3.7 millones

⊕ Fueron por aire del exterior (emisiones industriales o agrícolas- motores diésel, solventes, metales)



4.3 millones

⊕ Por aire del interior (estufas de leña o carbón y sistemas de calefacción)



NOTA:

Son muchas las personas expuestas a los dos tipos de contaminación, por ello la mortalidad atribuida a las dos fuentes no puede simplemente sumarse, de ahí la estimación total de 7 millones de muertes en 2012.

REGIONES MÁS AFECTADAS

Asia y el Pacífico

5.1 millones

de muertos en el año

400.000 en Europa

¿POR QUÉ SE MUEREN?

Por el aumento a la exposición de partículas de aire contaminado, que puede provocar enfermedades graves.

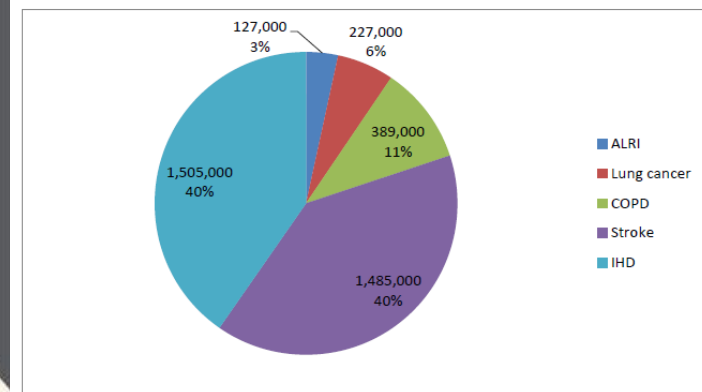


MUERTES POR TIPO DE ENFERMEDAD

Europa
€330 billion-€940 billion

3- 9% EU's GDP

Figure 3. Deaths attributable to AAP in 2012, by disease



Percentage represents percent of total AAP burden (add up to 100%).

AAP: Ambient air pollution; ALRI: Acute lower respiratory disease; COPD: Chronic obstructive pulmonary disease; IHD: Ischaemic heart disease.



Investigación y Edición:
Mónica I. Fuentes Pacheco

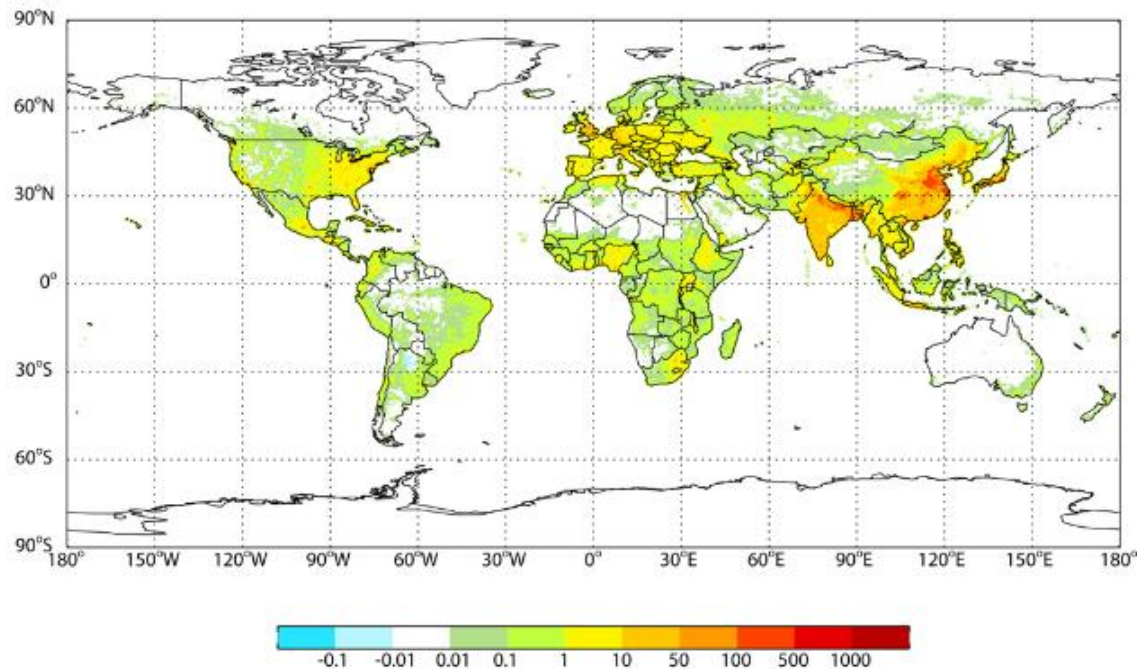
Diseño y arte digital:
Óscar Aguilar Sánchez

Fuente: Notimex, Organización Mundial de la Salud (OMS)

➤ 470.000 muertes anuales por causas respiratorias atribuibles al ozono.

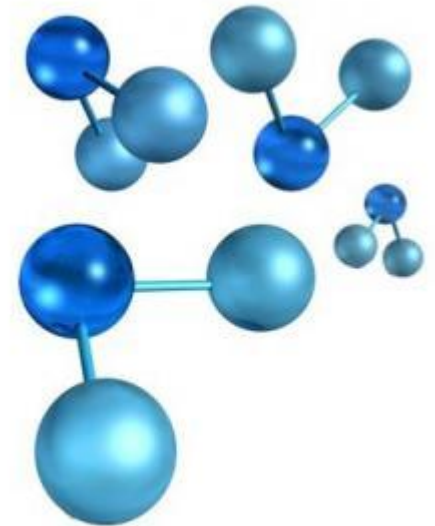
| Region | Ozone | | |
|---------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Mean | Low | High |
| North America | 34 400 (121) | 12 300 (44) | 52 200 (184) |
| Europe | 32 800 (96) | 13 700 (40) | 46 200 (135) |
| Former Soviet Union | 10 600 (66) | 5 180 (32) | 14 600 (91) |
| Middle East | 16 200 (68) | 10 300 (43) | 22 100 (93) |
| India | 118 000 (212) | 76 800 (138) | 208 000 (376) |
| East Asia | 203 000 (230) | 62 900 (71) | 311 000 (353) |
| Southeast Asia | 33 300 (119) | 20 900 (75) | 49 300 (176) |
| South America | 6 970 (38) | 5 180 (28) | 8 950 (49) |
| Africa | 17 300 (73) | 14 400 (61) | 19 900 (84) |
| Australia | 469 (29) | 273 (17) | 698 (44) |
| Global | 472 000 (149) | 229 000 (72) | 720 000 (227) |

Regional premature annual deaths from ozone (respiratory) (2000–1850). Deaths per million people (present-day exposed population aged 30 and over) in each region, in parenthesis.

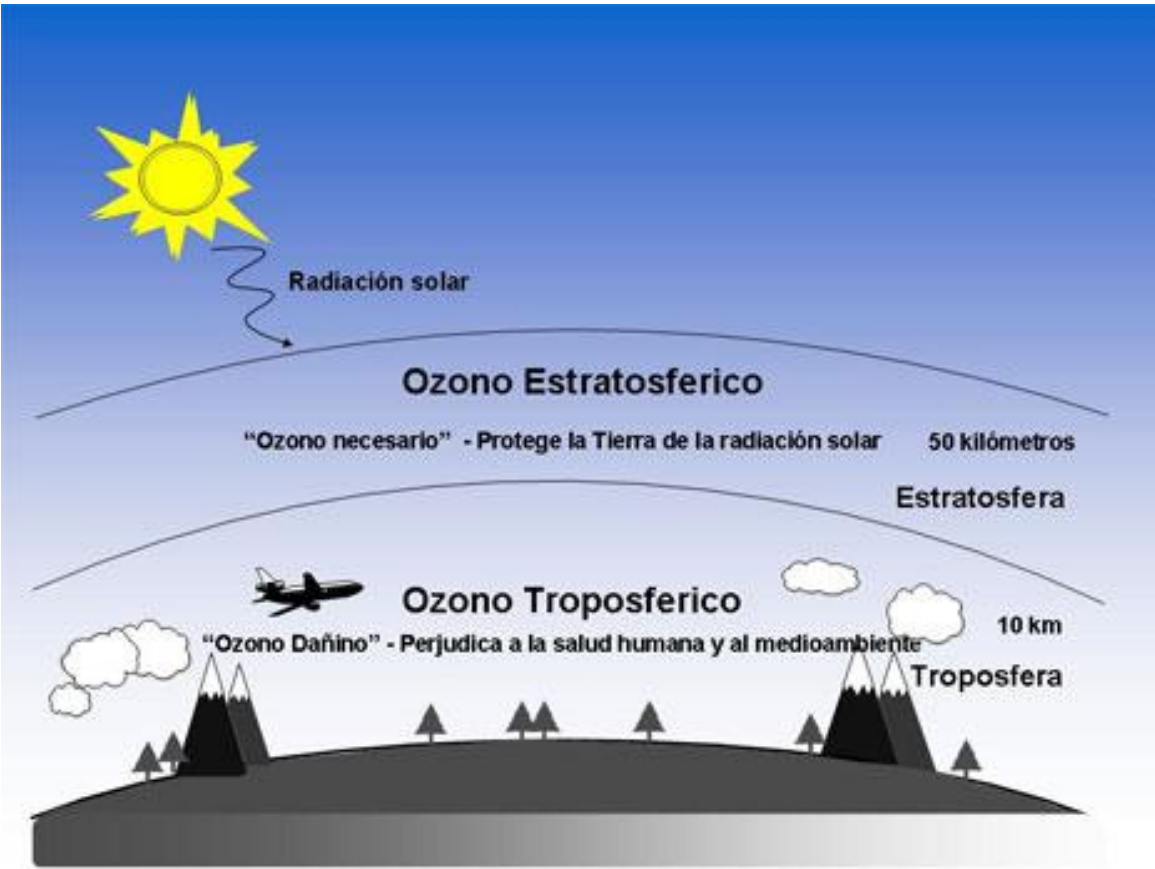


Current premature mortality due to ozone (respiratory mortality) (2000–1850), in deaths/yr.1000km².

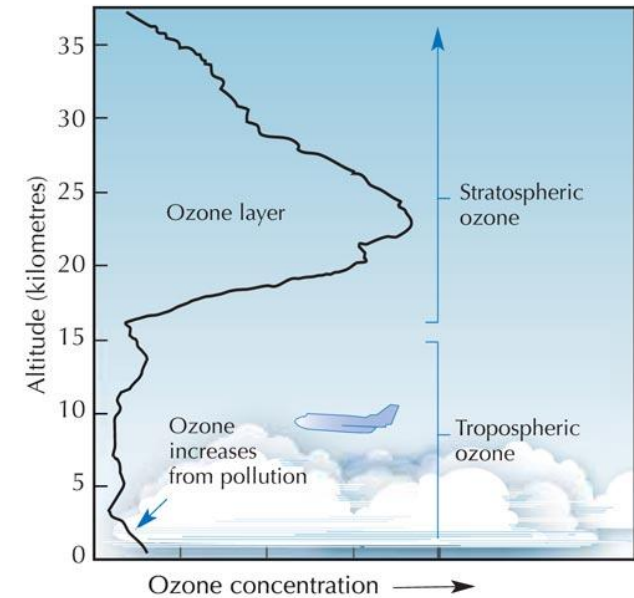
Doble papel del ozono en la salud



Distribución del ozono en la atmósfera



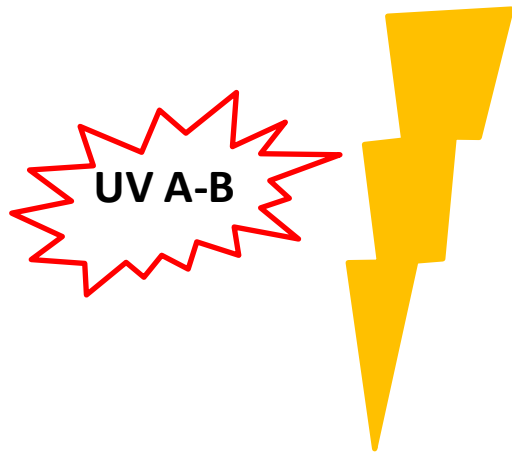
Descenso de ozono estratosférico



Aumento de ozono troposférico

Ozono estratosférico y troposférico

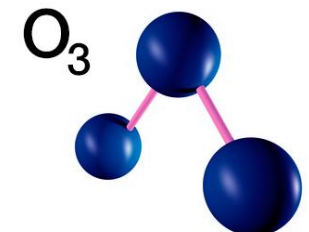
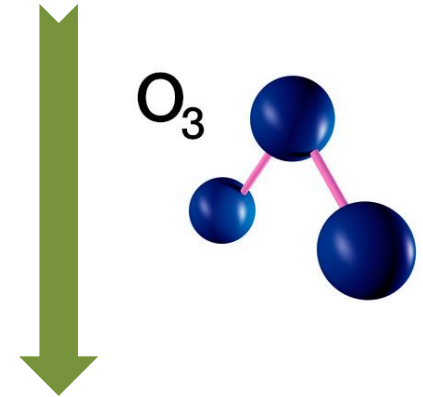
Descenso de ozono estratosférico



UV A-B

Daño celular
Inmunosupresión
Efectos en la piel
Lesiones oculares

Aumento de ozono troposférico



Efectos respiratorios (asma, EPOC)
Daños cardiovasculares
Deterioro cognitivo
Efectos prenatales (parto prematuro)

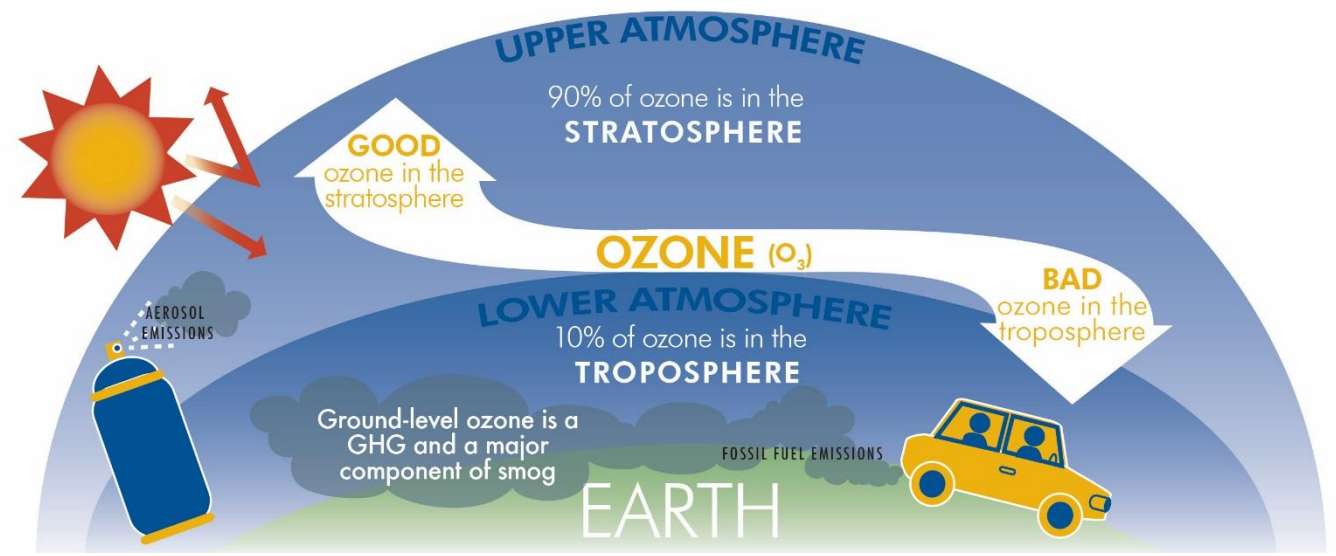
Cambio climático

Cambios en patrón de precipitaciones



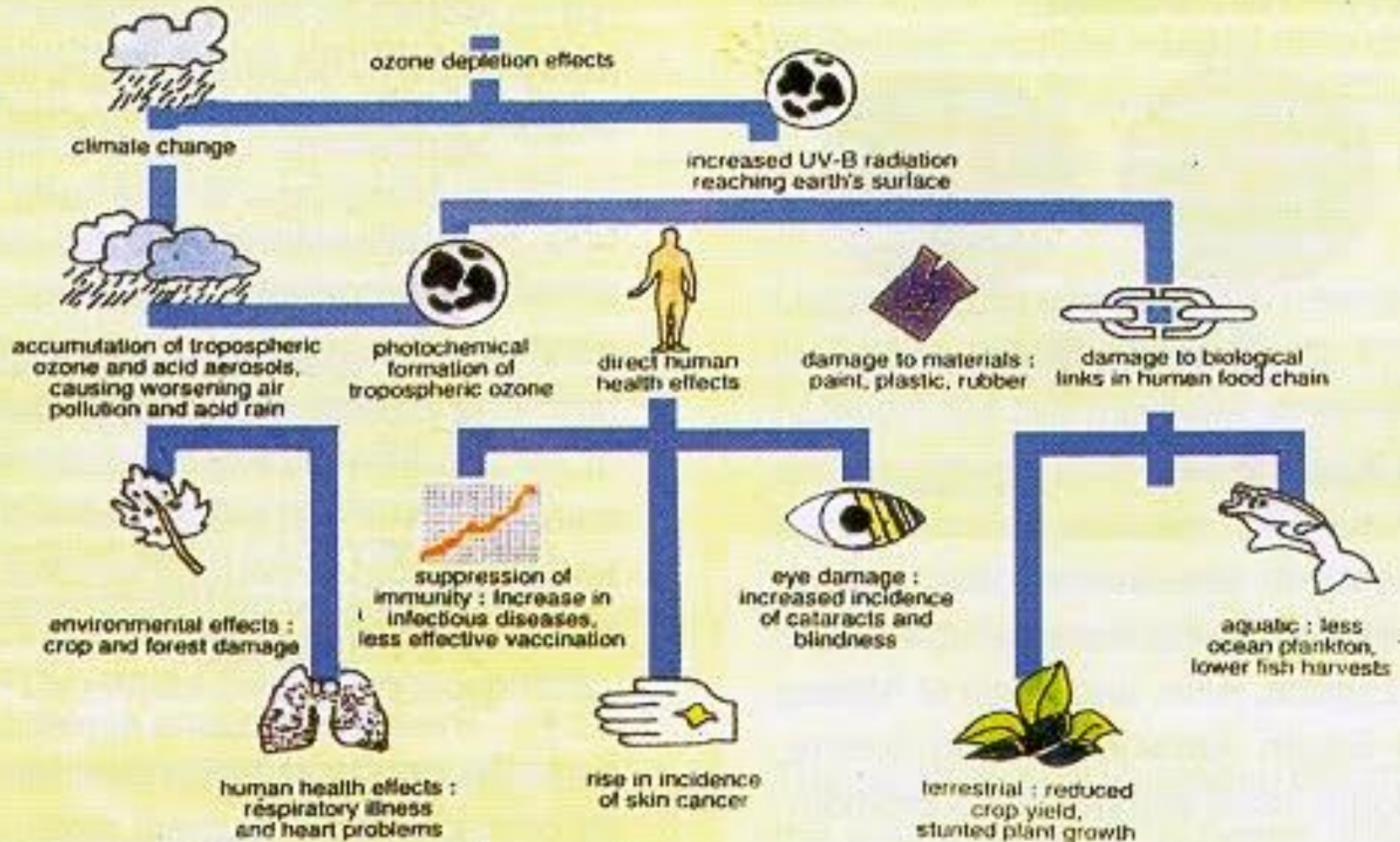
Gas de efecto invernadero

Ozono estratosférico y salud



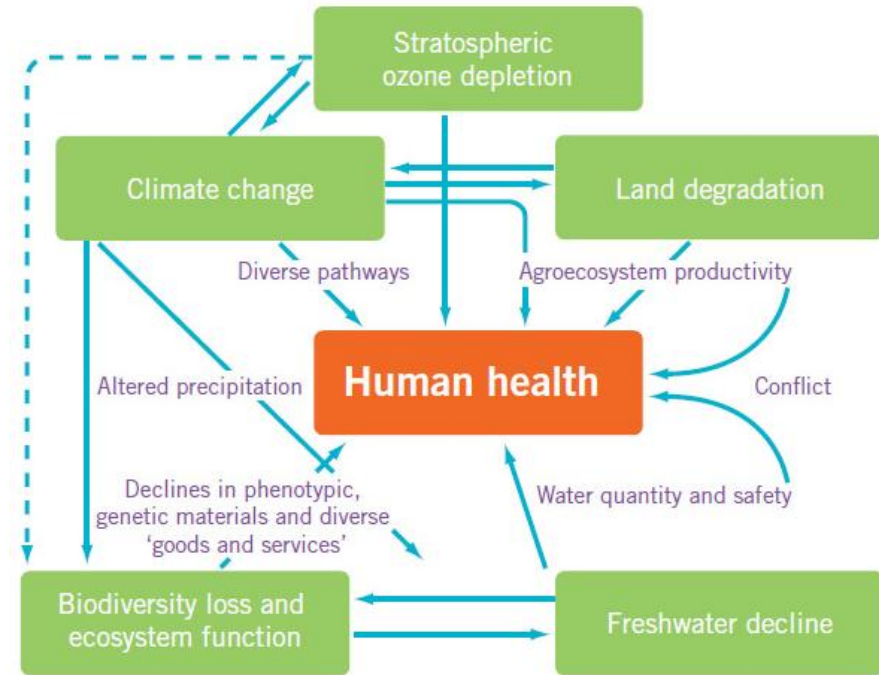
Efectos directos e indirectos en la salud humana

ENVIRONMENTAL EFFECTS OF OZONE DEPLETION

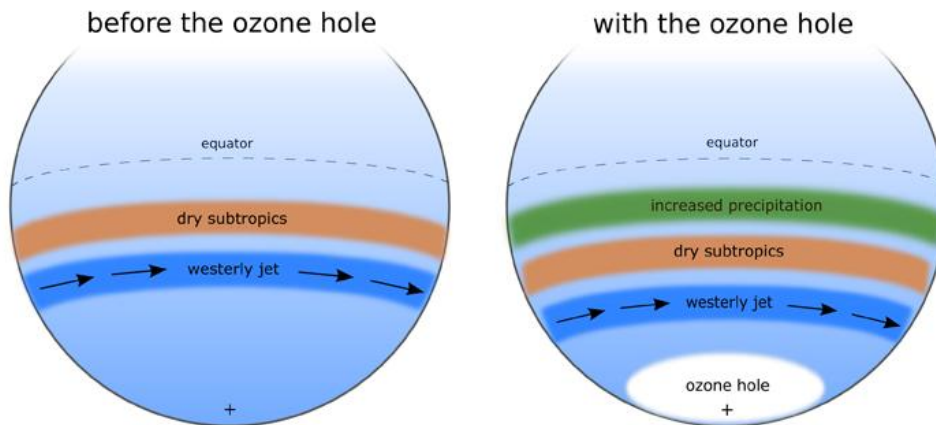


Efectos indirectos en la salud humana

- Relación con el cambio climático (cambio de los patrones del clima).

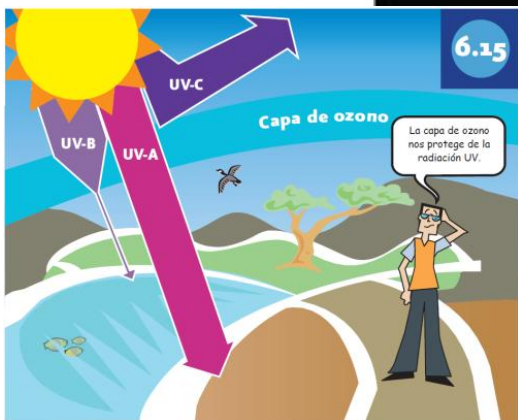
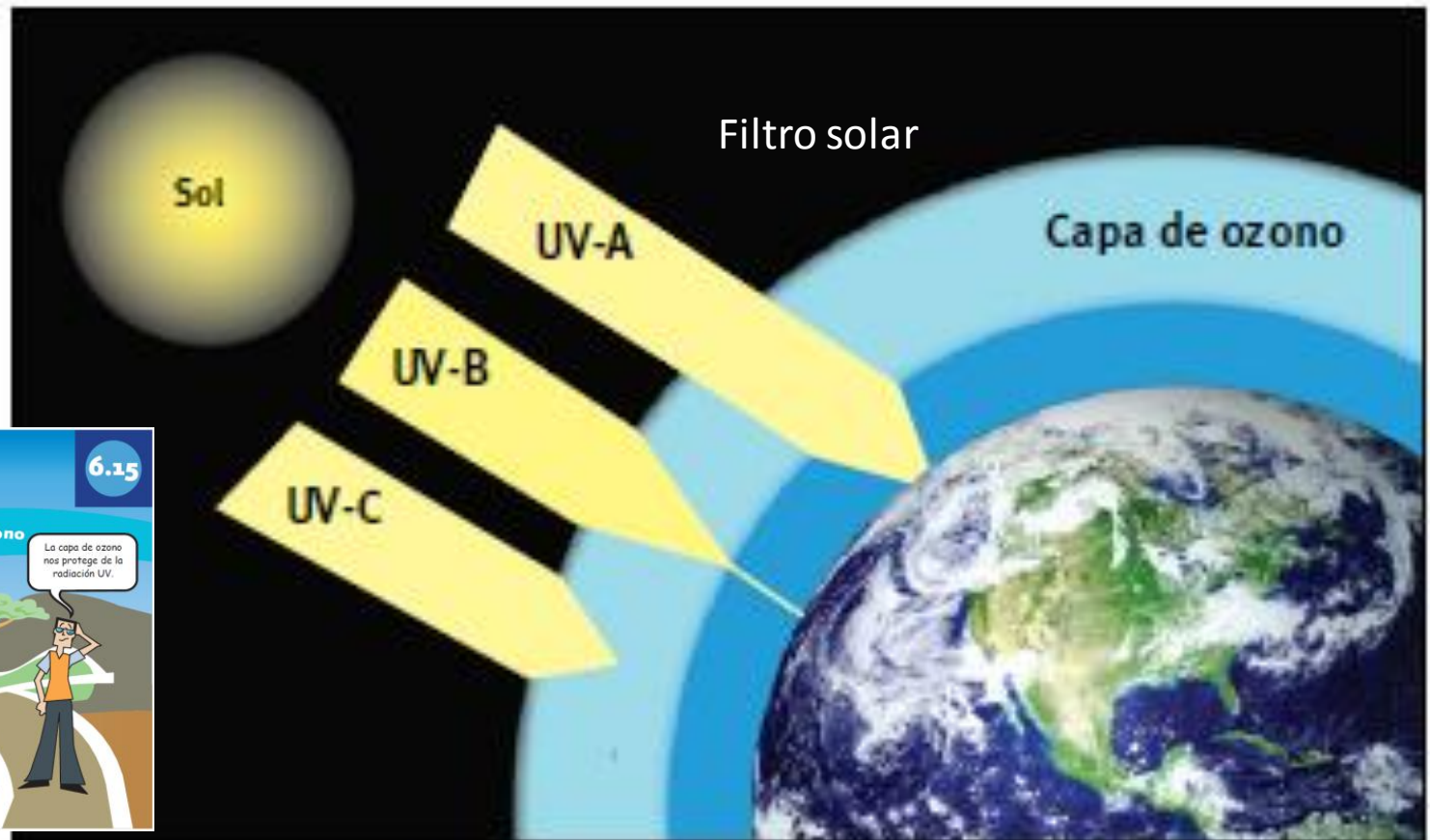


Source: McMichael et al. (10).



Ozono estratosférico (capa de ozono)

- Función beneficiosa: pantalla de protección de radiación ultravioleta solar
- UV-A: 95% alcanza la superficie de la Tierra.
 - UV-B: 5% alcanza la superficie de la Tierra.
 - UV-C: absorbida por O_3 , no alcanza prácticamente la superficie de la Tierra.

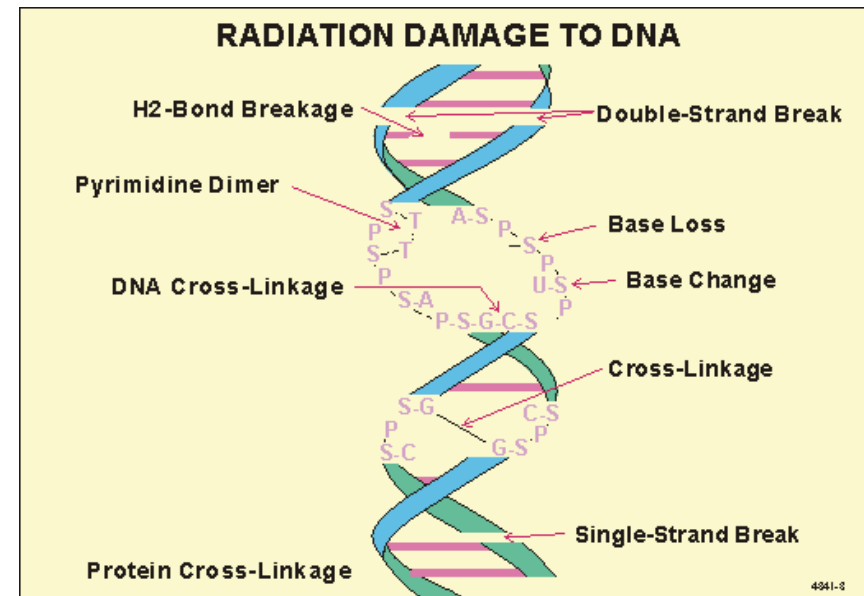


Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

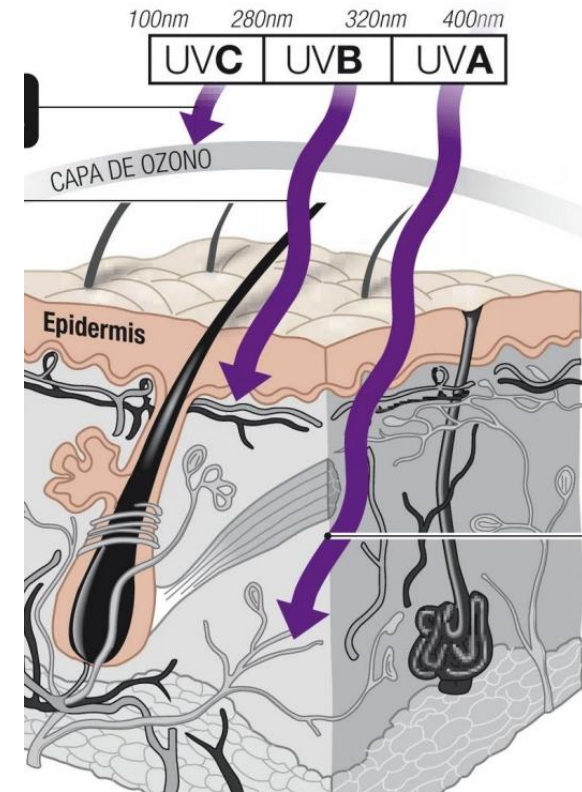
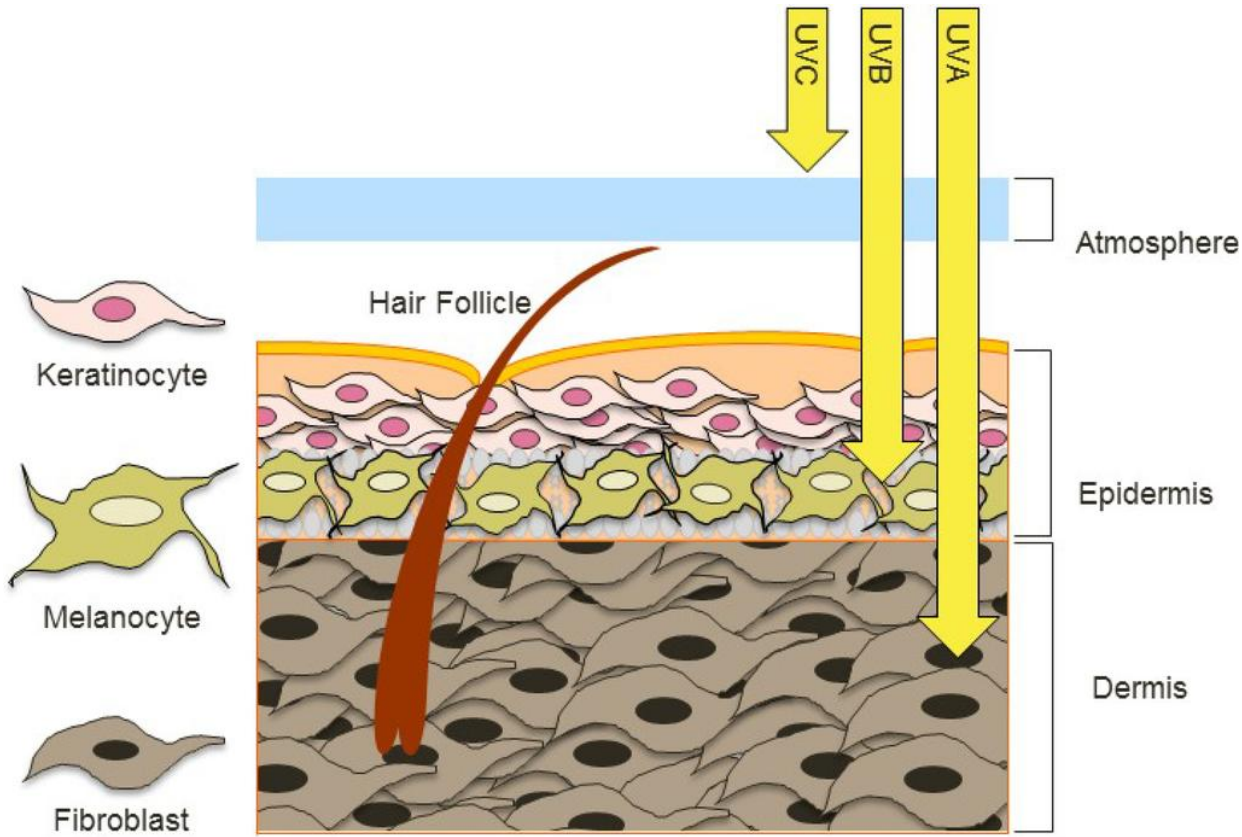
Efectos de la radiación UV en la salud humana

La radiación UV ocasiona daños en los seres vivos, dependiendo de su intensidad y tiempo de exposición:

- Lesiones celulares y sub-celulares.
- Reduce efectividad del sistema inmunológico (inmunosupresión).
- Piel
 - Eritemas, quemaduras.
 - Envejecimiento.
 - Dermatitis.
 - Cáncer.
- Efectos oculares.



Efectos de la radiación UV en la piel



UV Light Outcomes

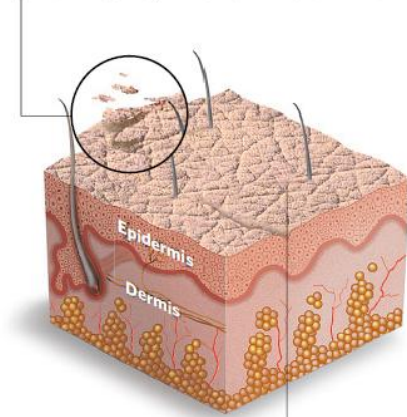
| UVC | UVB | UVA |
|-------------|---------------------|-----------------------|
| - No Effect | - Sunburn | - Premature Aging |
| | - Inflammation | - Indirect DNA Damage |
| | - Direct DNA Damage | - Oxidative Stress |
| | - Eye Damage | - Skin Cancer |
| | - Skin Cancer | |

Efectos de UV en la piel

UV-A

RESECAMIENTO

Se produce porque el calor de los rayos UV deshidrata los tejidos, acentuando el proceso de **descamación** que la piel realiza constantemente.

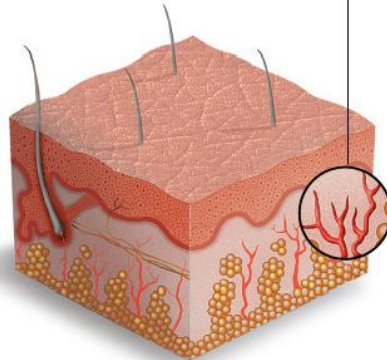


El resecamiento también puede provocar la aparición de **arrugas**.

UV-B

ENROJECIMIENTO

Es causado por los rayos tipo B que dañan las células de la epidermis provocando la dilatación de los **capilares sanguíneos** y dando el característico color rojo.

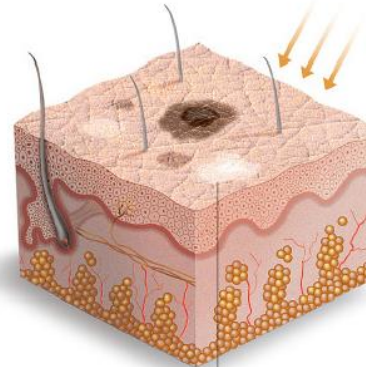


Si el proceso se repite con muchos bronceados, puede darse una **dilatación permanente**.

UV-B

MANCHAS SOLARES

Son alteraciones en la **pigmentación** provocadas por la influencia de los **rayos UV** sobre la producción de melanina, sustancia que da a la piel su color.



Pueden ser más oscuras o más **claras**.

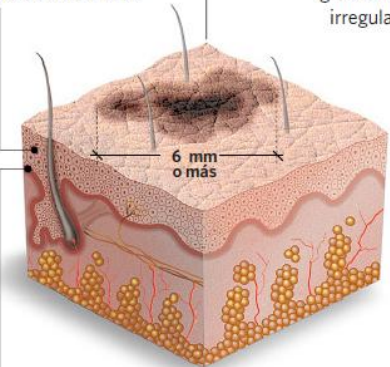
UV-A y B

CANCER

Pueden producirse tres tipos de cáncer de piel:

Carcinoma escamocelular
Se desarrolla en las células escamosas.

Melanoma
Suele tener aspecto de un gran lunar irregular.



Carcinoma basocelular

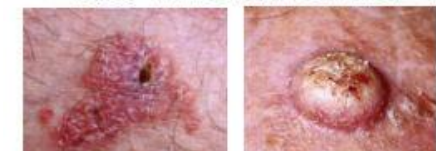
De desarrollo lento, raramente se extiende al resto del cuerpo.



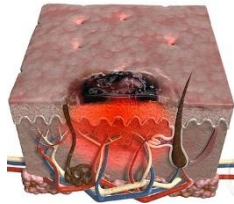
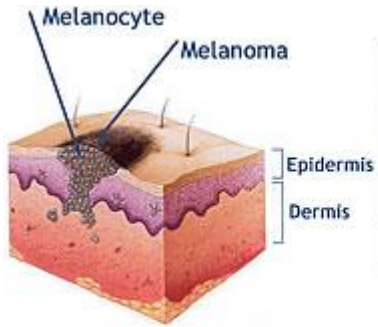
Melanoma



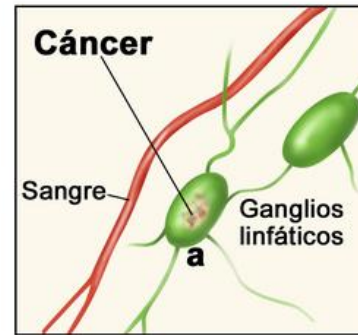
No-melanoma



Cáncer de piel: melanoma maligno



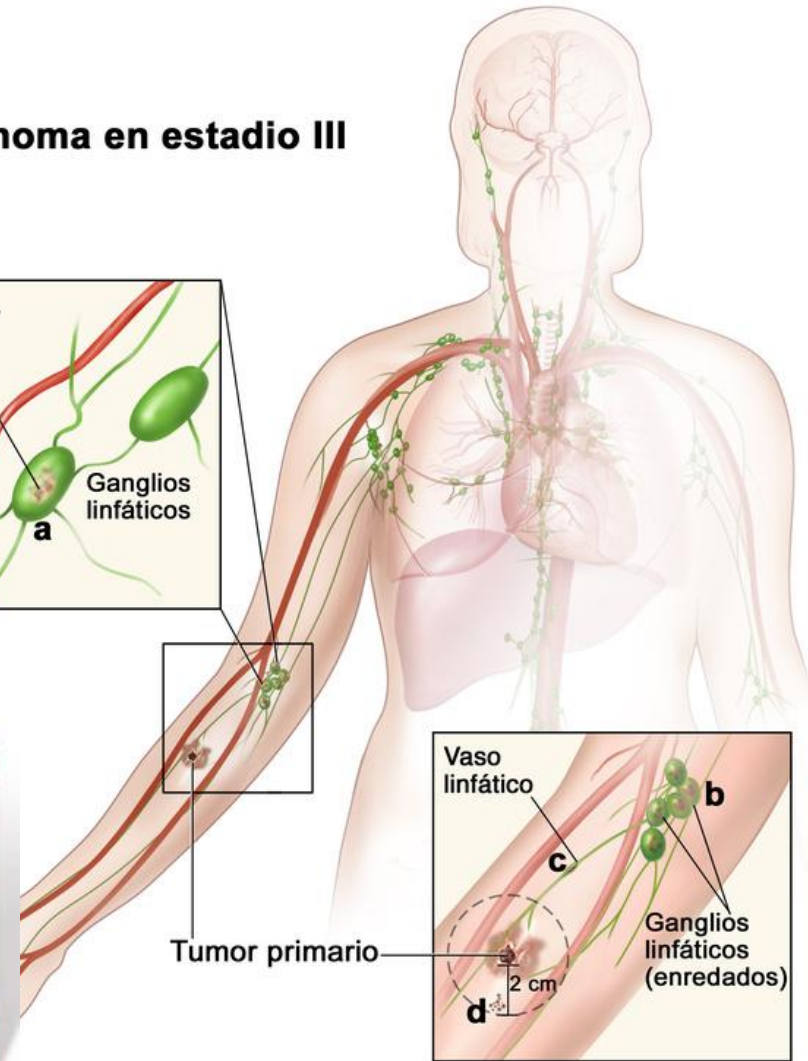
Melanoma en estadio III



Niveles de Clark

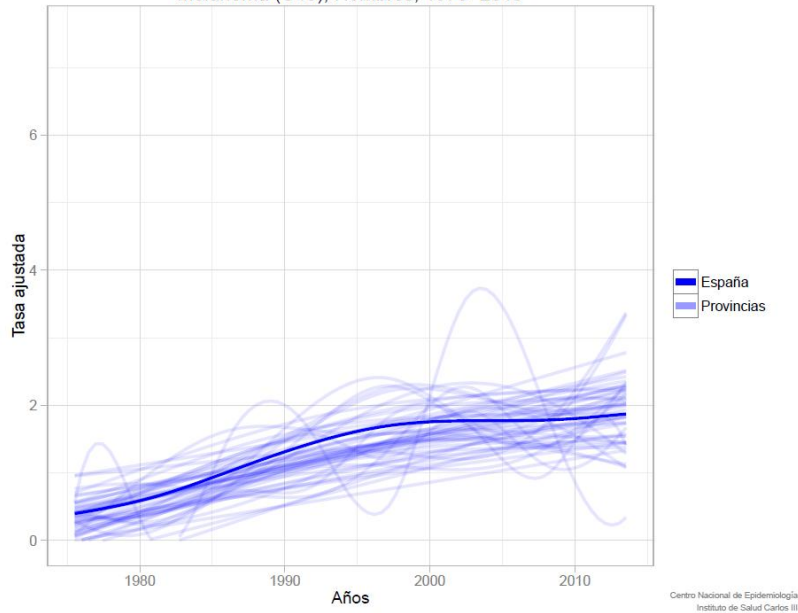
Nivel I Nivel II Nivel III Nivel IV Nivel V

Epidermis
Dermis papilar
Conexión papilar-reticular dérmica
Dermis reticular
Tejido subcutáneo

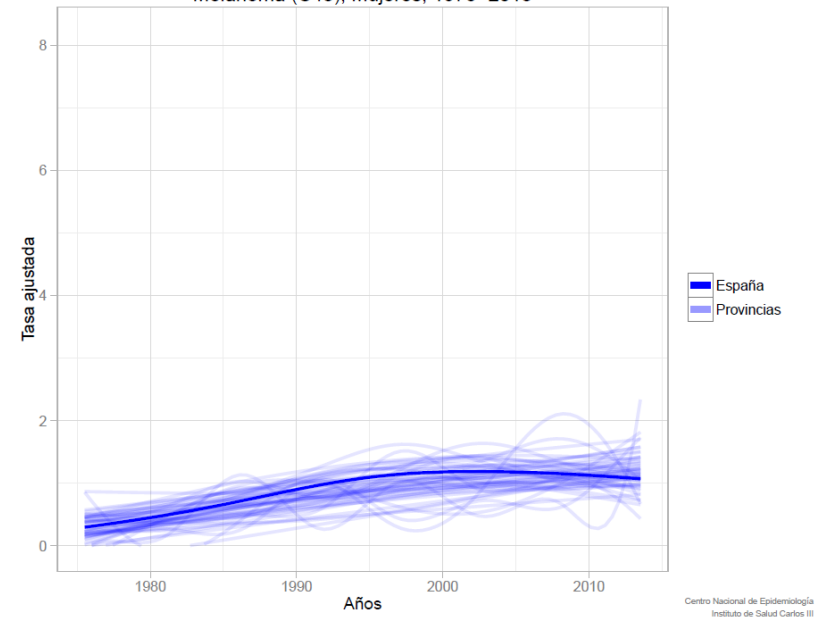


Melanoma maligno: tendencias de mortalidad en España

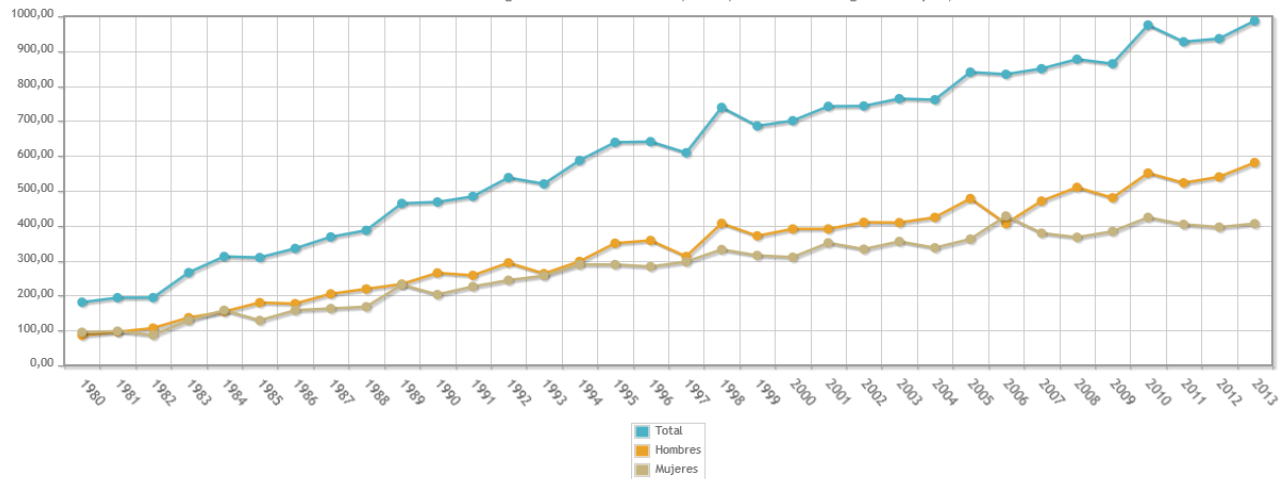
Melanoma (C43), Hombres, 1975-2013



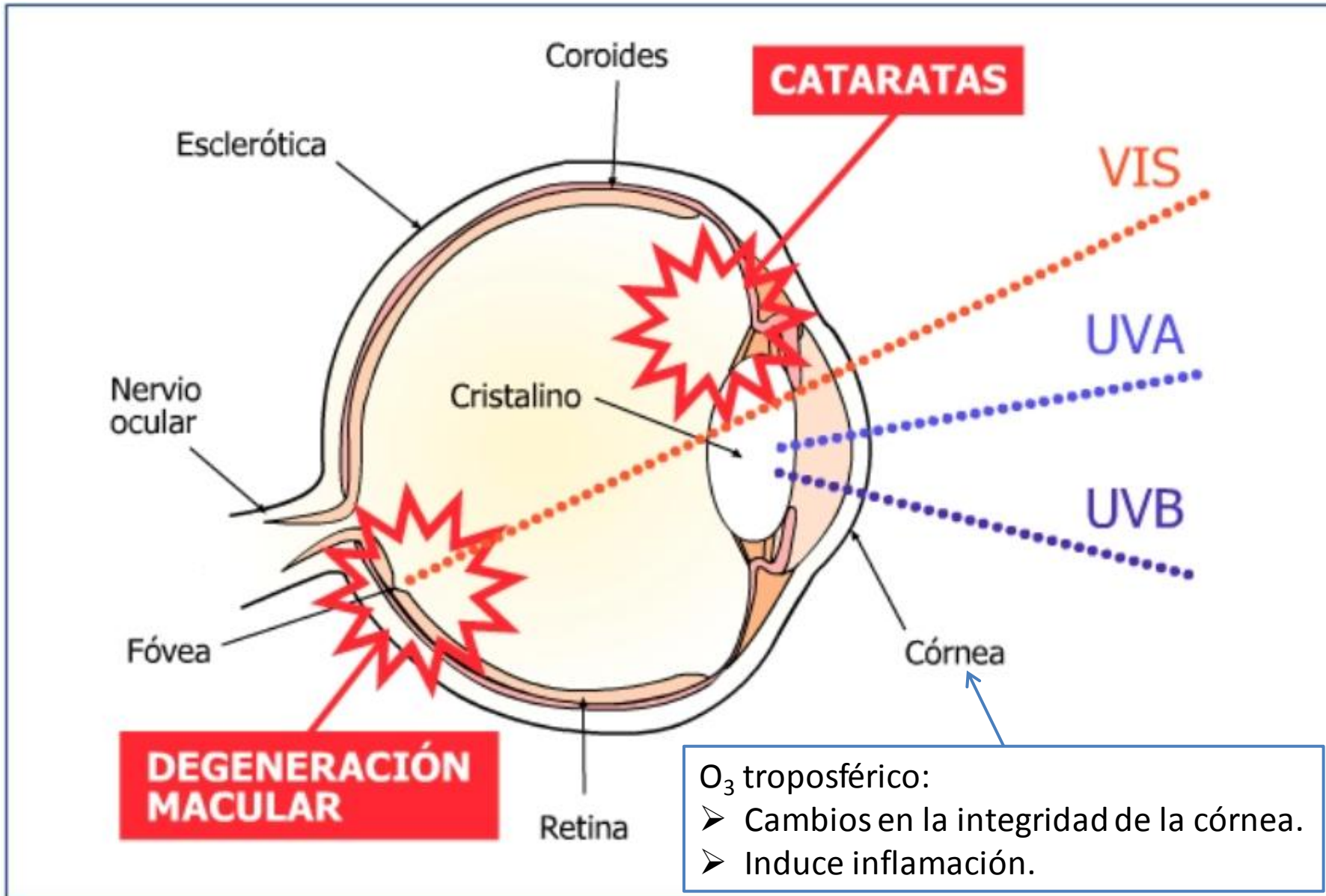
Melanoma (C43), Mujeres, 1975-2013



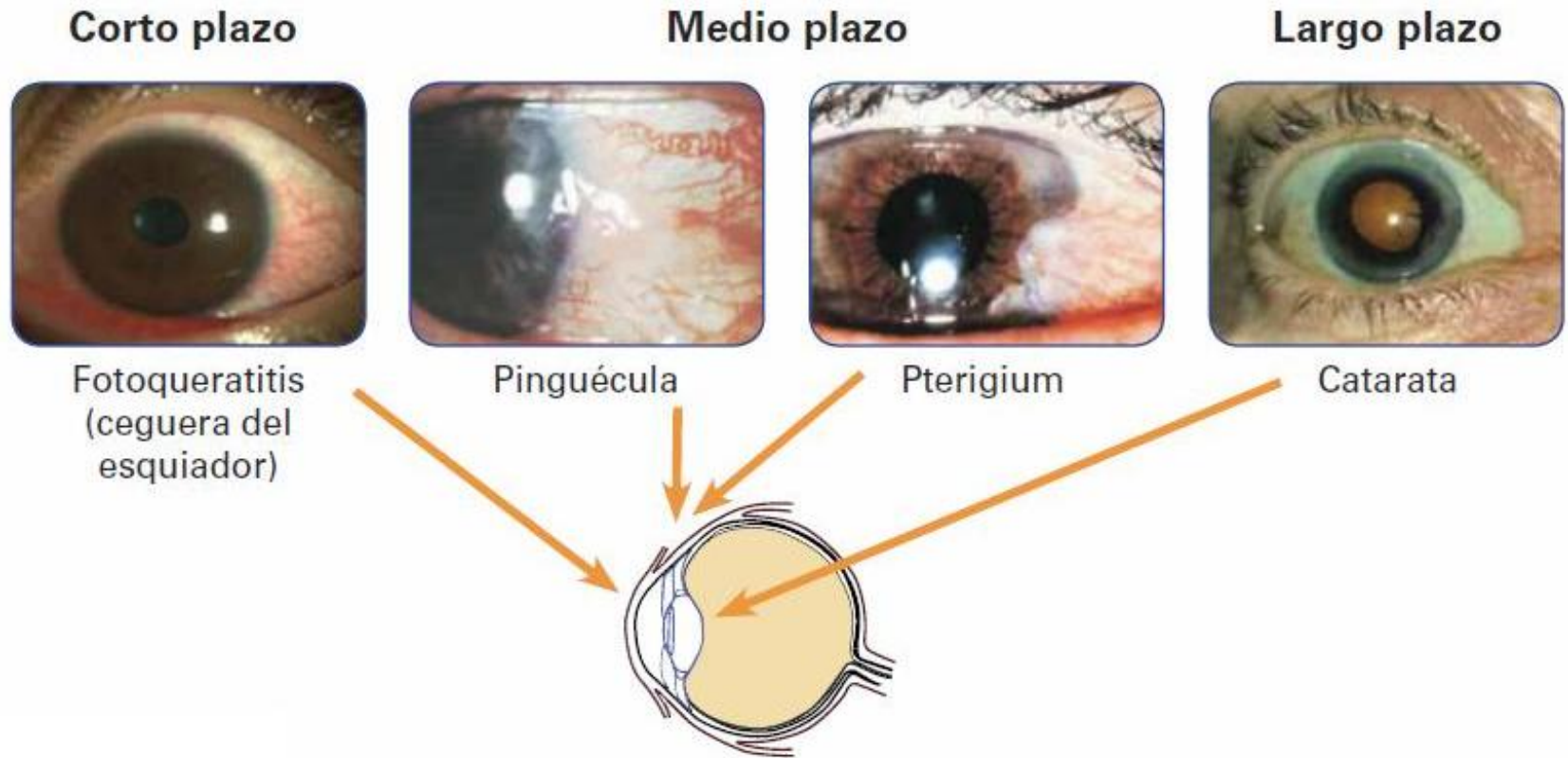
Defunciones por causas (lista reducida) por sexo y grupos de edad
Estadística de Defunciones según la Causa de Muerte, Sexo, Melanoma maligno de la piel, Todas las edades

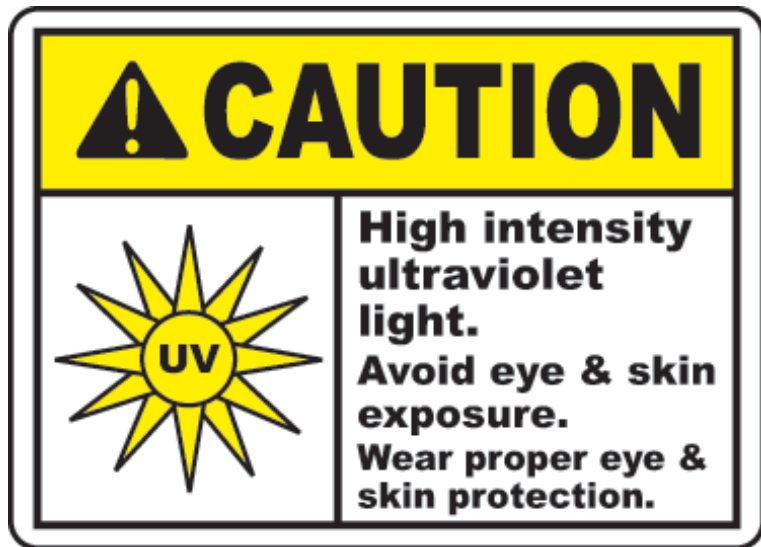


UV y lesiones oculares



- El daño ocular producido por la radiación UV es acumulativo y permanente.





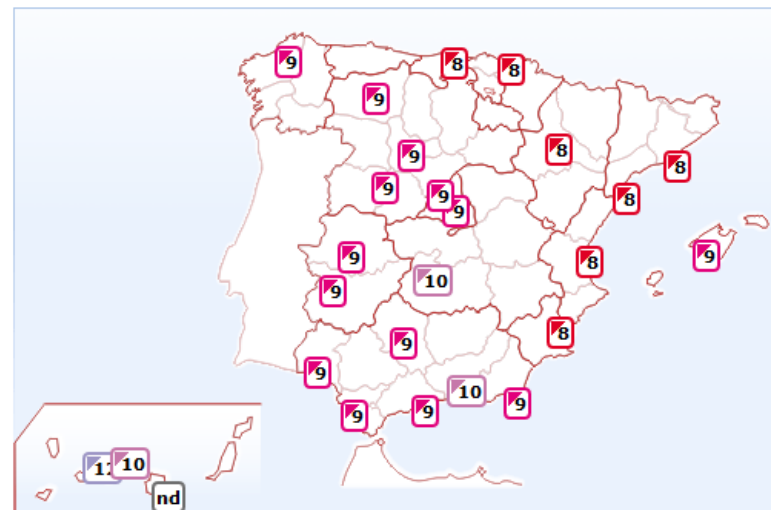
Inicio > El tiempo > Observación > Radiación y ozono > Radiación ultravioleta - UVI

Radiación y ozono. Radiación ultravioleta - UVI

| Radiación | Radiación ultravioleta - UVI | Ozono |
|-----------|------------------------------|-------------------------------------|
| | | Mapa <input type="checkbox"/> Tabla |

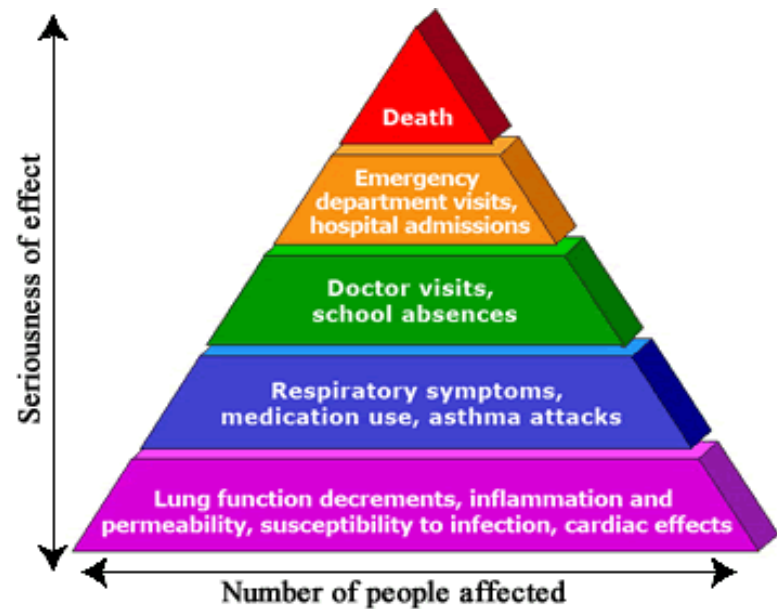
Fecha: miércoles, 15 julio 2015 - Máximo

Seleccione la estación sobre el mapa o utilizando el desplegable inferior.



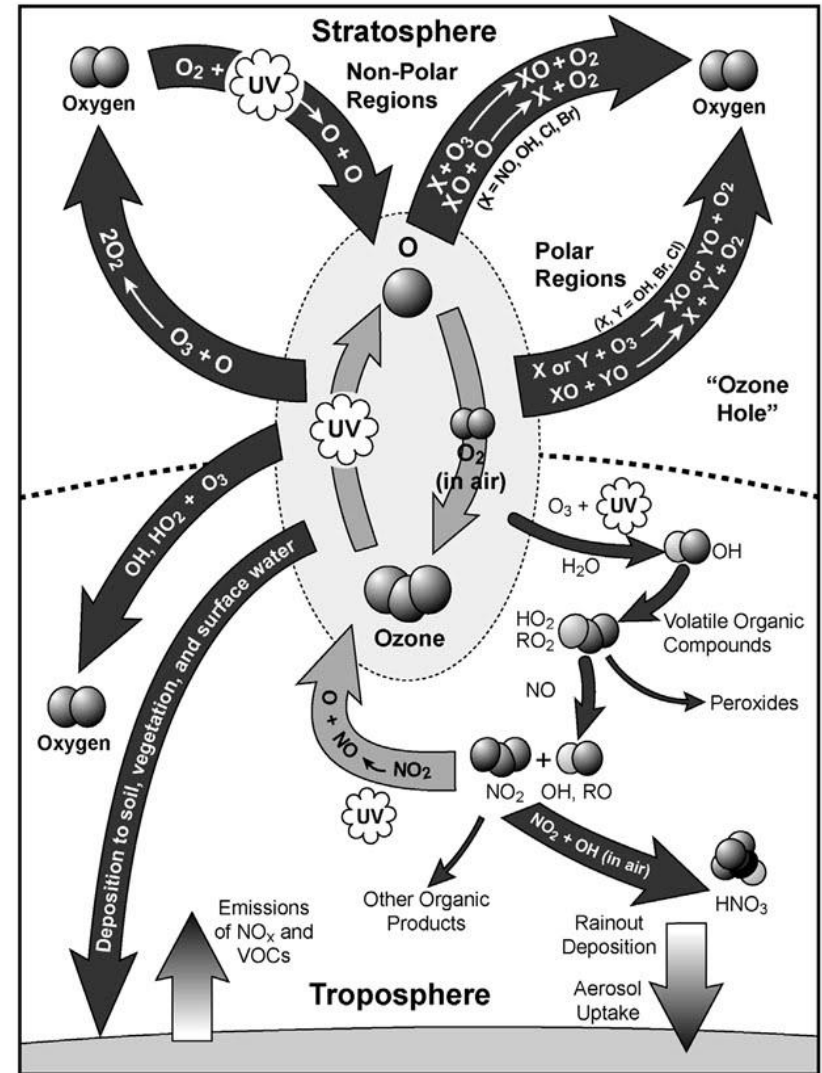
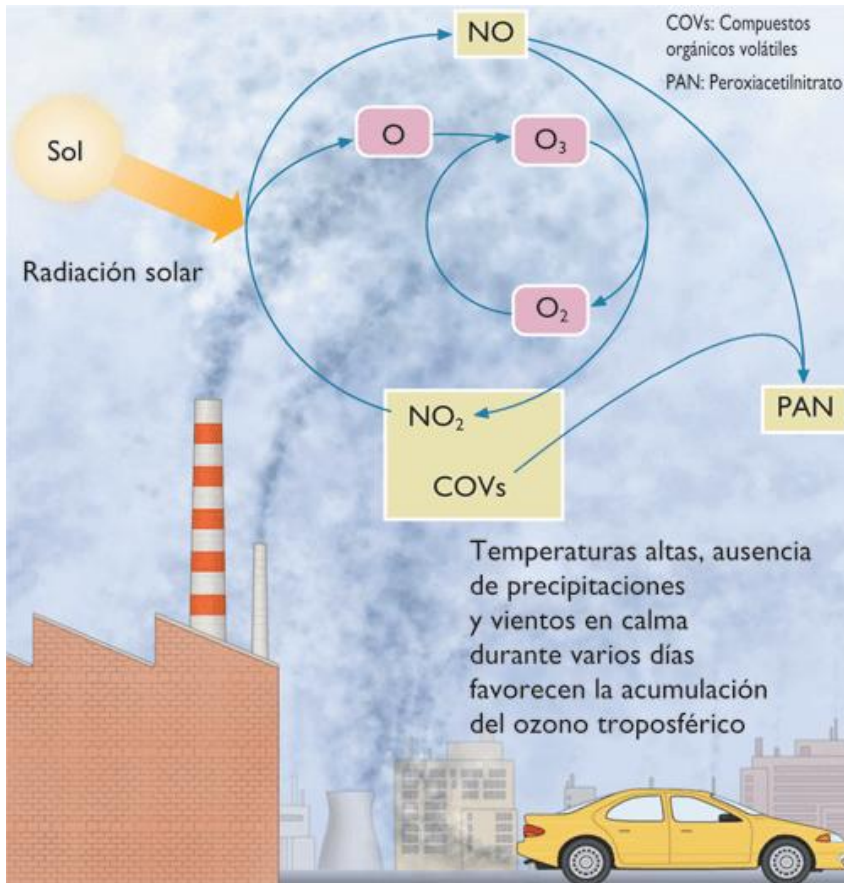
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11+

Ozono troposférico y salud



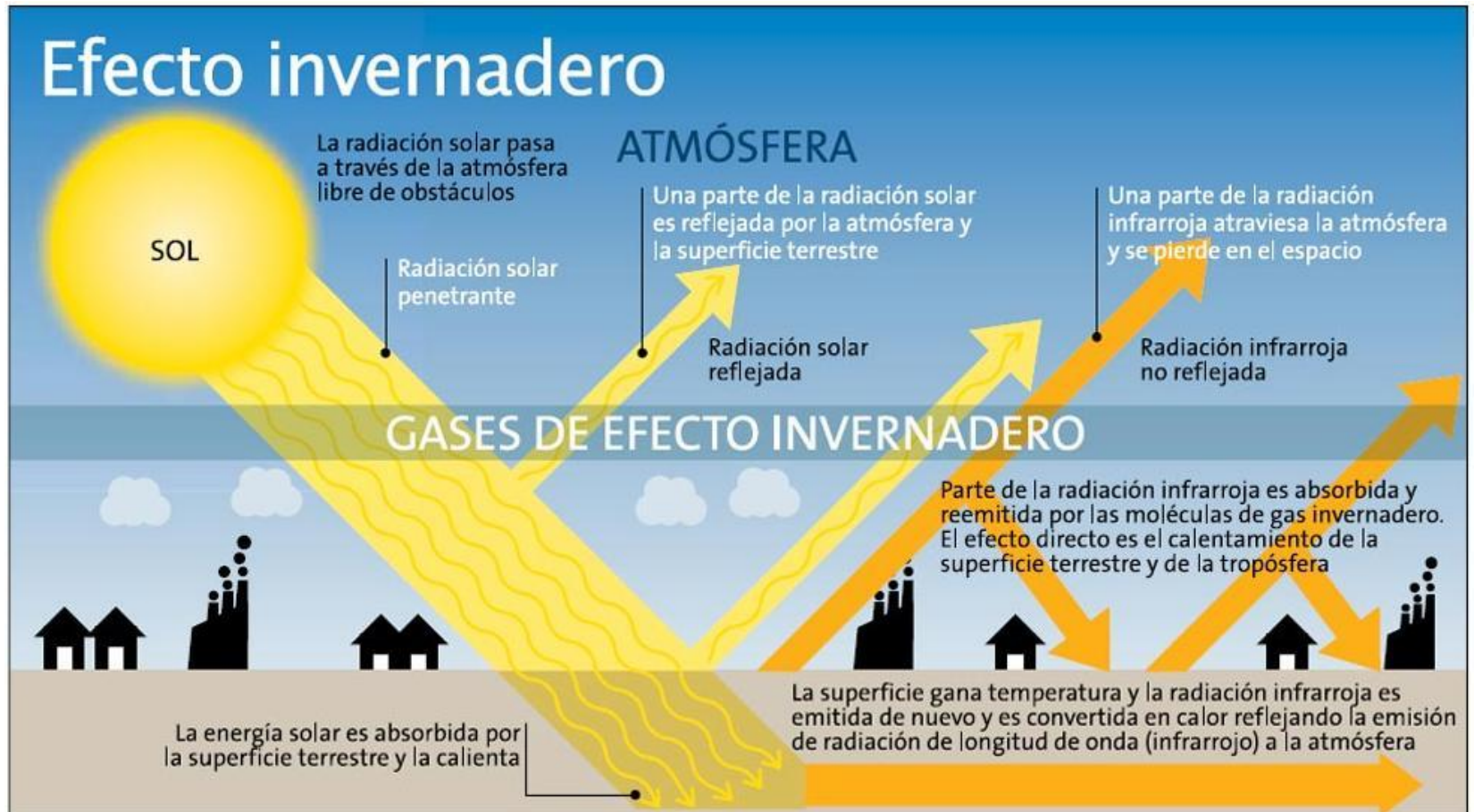
Ozono troposférico

- Sustancia muy reactiva: gas con elevado poder oxidante e irritante.
- Uno de los componentes más tóxico del smog fotoquímico.
- Origen: precursores y radiación ultravioleta.



Ozono troposférico: efectos indirectos en la salud

- Gas de efecto invernadero (calentamiento global: aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre).



Ozono troposférico: Contaminante Climático de Vida Corta

- Los Contaminantes Climáticos de Vida Corta, entre los que se encuentra el ozono, contribuyen de forma relevante al cambio climático global (40-45%).
- Su reducción tiene el potencial de evitar $\approx 0,5^\circ$ del calentamiento global promedio para 2050.
- Provocan impactos directos sobre la salud humana, agricultura y ecosistemas e indirectos a través de sus efectos en el clima.



Figure: Properties of common short-lived climate pollutants

Adapted from UN Environment Programme,¹ by permission of the Climate and Clean Air Coalition.

Ozono troposférico: efectos directos en la salud humana

- **Corto plazo:** estudios de series temporales (Europa, US, Asia)
 - Reduce la función pulmonar y aumenta los síntomas respiratorios (tos, irritación garganta, sibilancias, opresión en el pecho).
 - Efectos vasculares.
 - Hospitalizaciones: respiratorias, cardiovasculares.
 - Mortalidad: todas las causas, cardiovasculares, respiratorias.
 - Salud reproductiva (nacimientos prematuros).
 - Dolor de cabeza, fatiga, irritación ojos.

- **Largo plazo:** estudios de cohortes (US-ACS)
 - Efectos en el desarrollo pulmonar.
 - Asma: incidencia, agravamiento, hospitalizaciones.
 - Alteraciones cognitivas.
 - Mortalidad: respiratorias y cardiovasculares.
 - Mortalidad de enfermos crónicos
 - EPOC.
 - Diabetes.
 - Infarto, insuficiencia cardíaca congestiva.



Review of evidence
on health aspects of
air pollution –
REVIHAAP Project

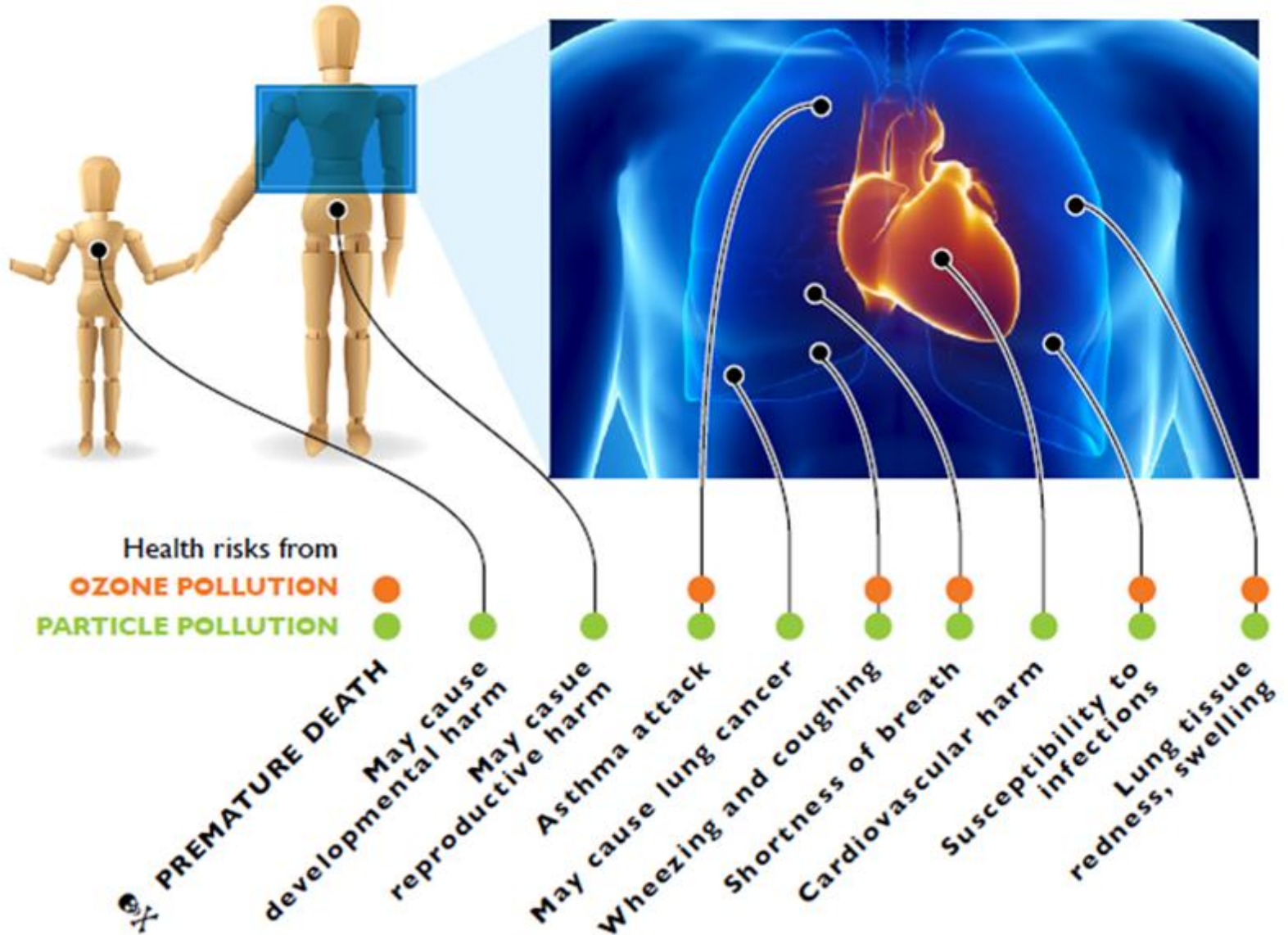
Technical Report



This publication arises from the project REVIHAAP and has received funding from the European Union.

Efectos directos del ozono en la salud

- Efectos solapados y sinérgicos entre PM y O₃.



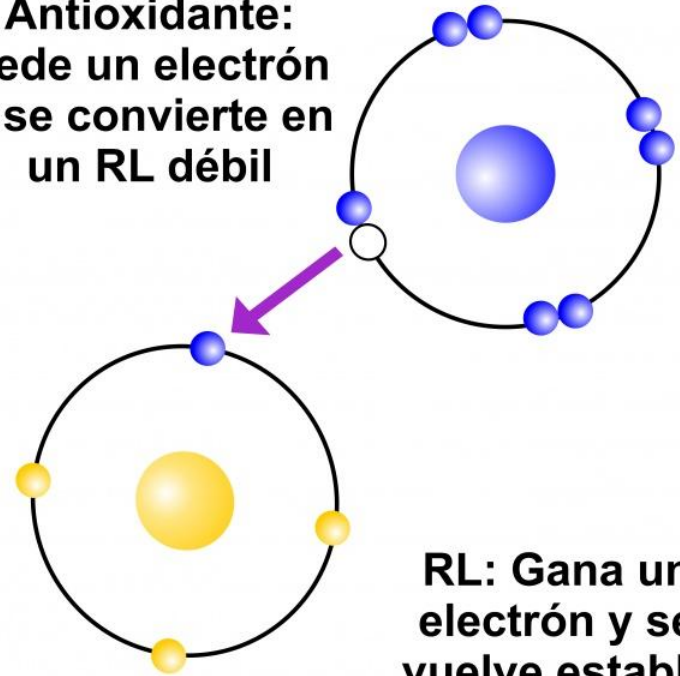
Estrés oxidativo e inflamación

Mecanismo del estrés oxidativo

- El estrés oxidativo ocurre en un sistema celular cuando la producción de especies reactivas de oxígeno excede la capacidad antioxidante de dicho sistema.
- Los antioxidantes pueden reemplazar al electrón perdido para estabilizar el radical libre y así evitar el daño molecular restándole poder reactivo.

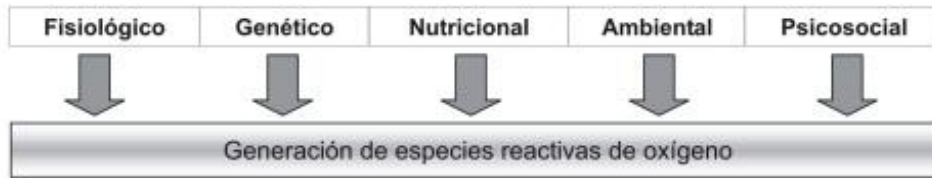


**Antioxidante:
cede un electrón
y se convierte en
un RL débil**

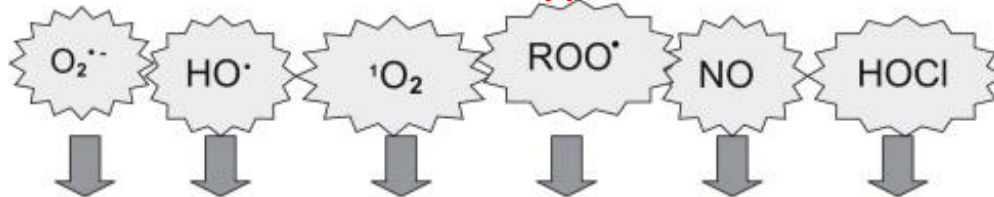


Estrés oxidativo

Factores de riesgo



Radicales libres y peróxidos

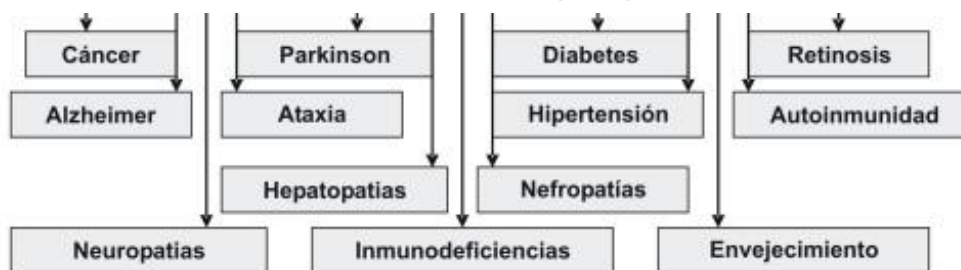


Ataque sobre componentes celulares
(ADN, Carbohidratos, Lípidos y Proteínas)

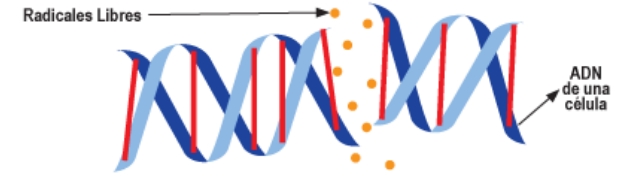


Alteraciones metabólicas
inhibición de la replicación celular
inhibición de la expresión génica

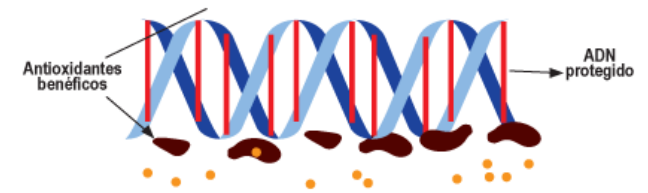
Reducción de la actividad biológica y la función celular



Necrosis o apoptosis celular



Representación de un ataque de radicales libres

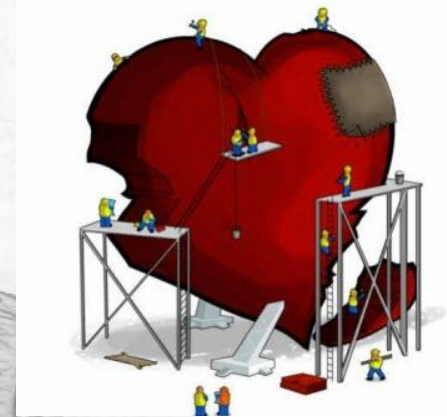
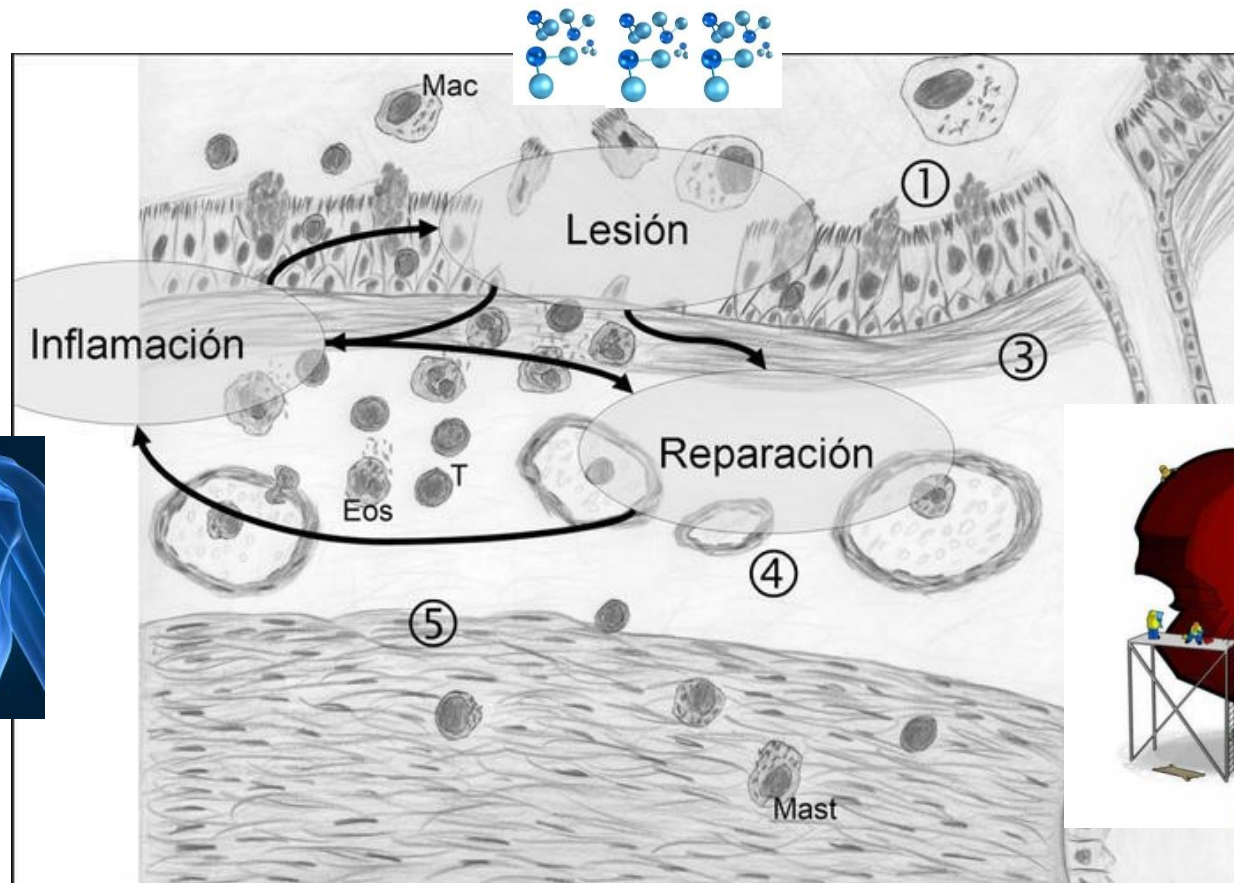


Representación de protección de **antioxidantes** de un ataque de radicales libres



Proceso de la inflamación

- La inflamación es una respuesta de carácter protector cuyo objetivo es liberar al organismo de la causa inicial de la lesión celular y de sus consecuencias.
- La respuesta inflamatoria está muy relacionada con el proceso de reparación.



Proceso de la inflamación



- Infarto
- Infecciones bacterianas
- Toxinas
- Traumatismo

INFLAMACIÓN AGUDA

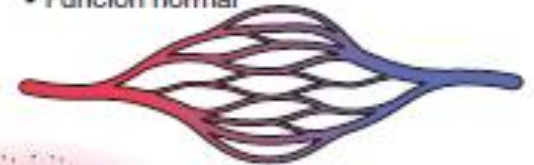
- Cambios vasculares
- Reclutamiento de neutrófilos
- Mediadores

Migración de neutrófilos



RESOLUCIÓN

- Eliminación de los estímulos agresores
- Eliminación de mediadores y células inflamatorias agudas
- Sustitución de células lesionadas
- Función normal

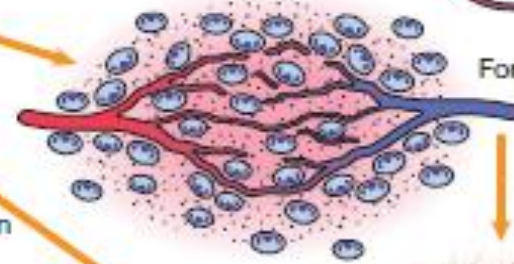


Progresión

Curación

Curación

Formación de pus (absceso)



- Infecciones víricas
- Infecciones crónicas
- Lesión persistente
- Enfermedades autoinmunitarias

INFLAMACIÓN CRÓNICA

- Angiogénesis
- Infiltrado de células mononucleares
- Fibrosis (cicatriz)

Presencia de linfocitos y macrófagos

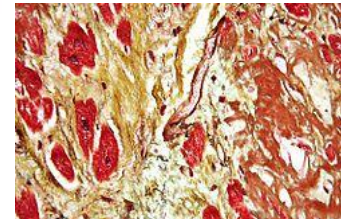
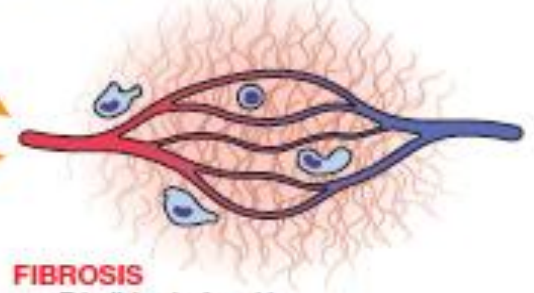


Curación

FIBROSIS

- Pérdida de función

NECROSIS

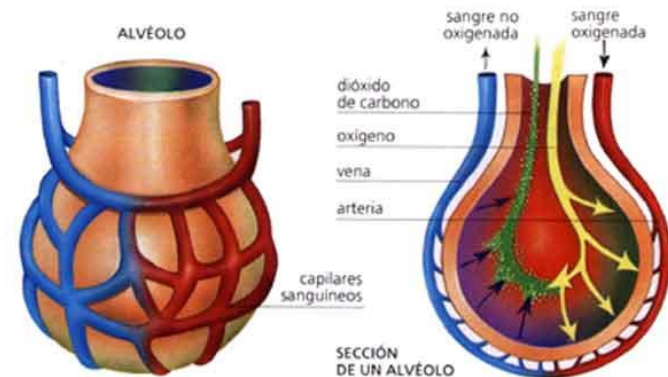
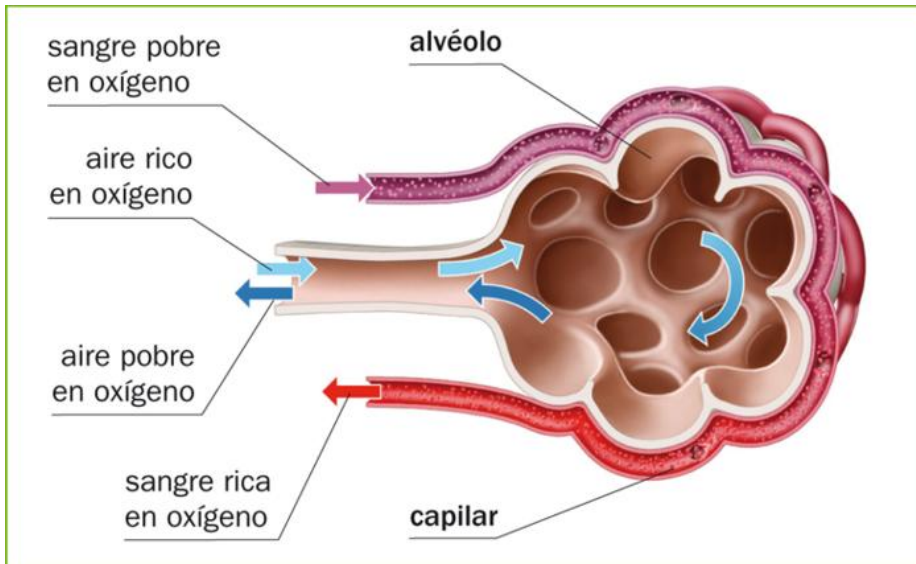
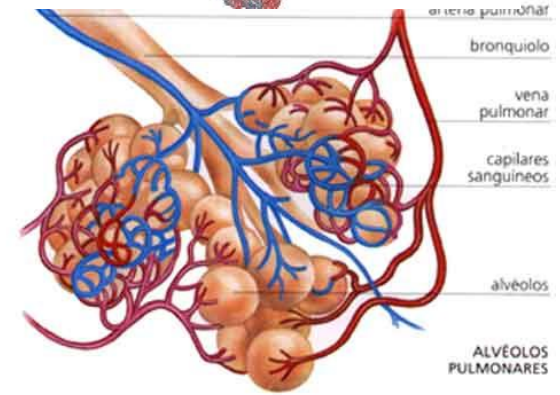
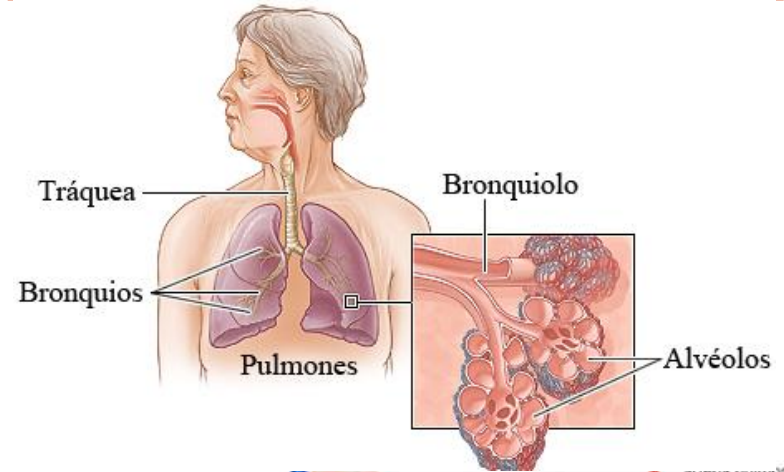


➤ La contaminación atmosférica parece estar implicada en la inflamación crónica.

Enfermedades respiratorias y ozono troposférico

Efectos respiratorios del ozono

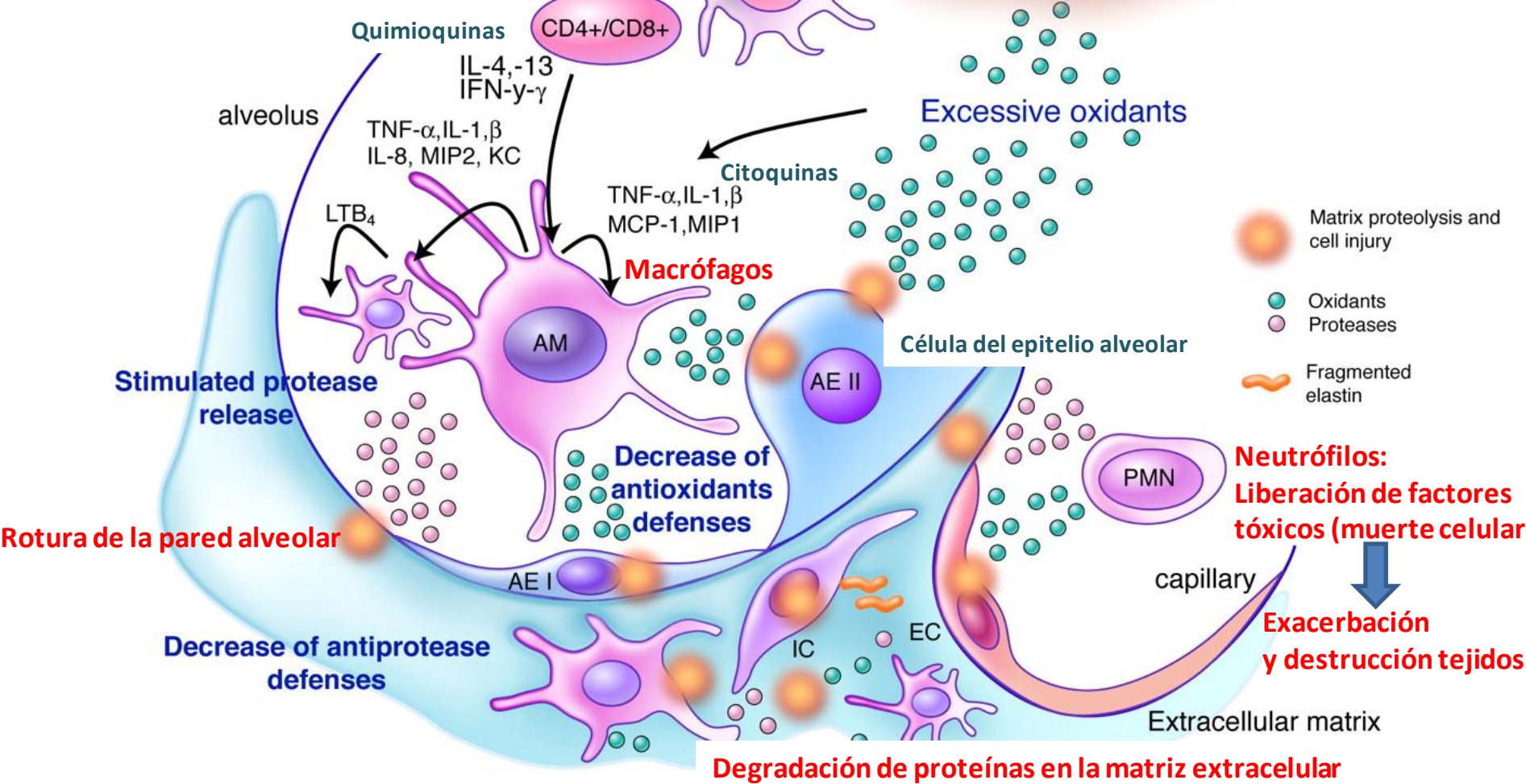
- Irrita el sistema respiratorio (reacciona con células que recubren las vías respiratorias).
- Reduce la capacidad y la función pulmonar dañando el epitelio pulmonar.
- Altera muchos tipos de células en el pulmón y modifica la inmunidad pulmonar innata.
- Asma y EPOC.



**Células dendríticas:
Activación Linfocitos T**

**Linfocitos T:
Potencian la inflamación**

Air pollutants



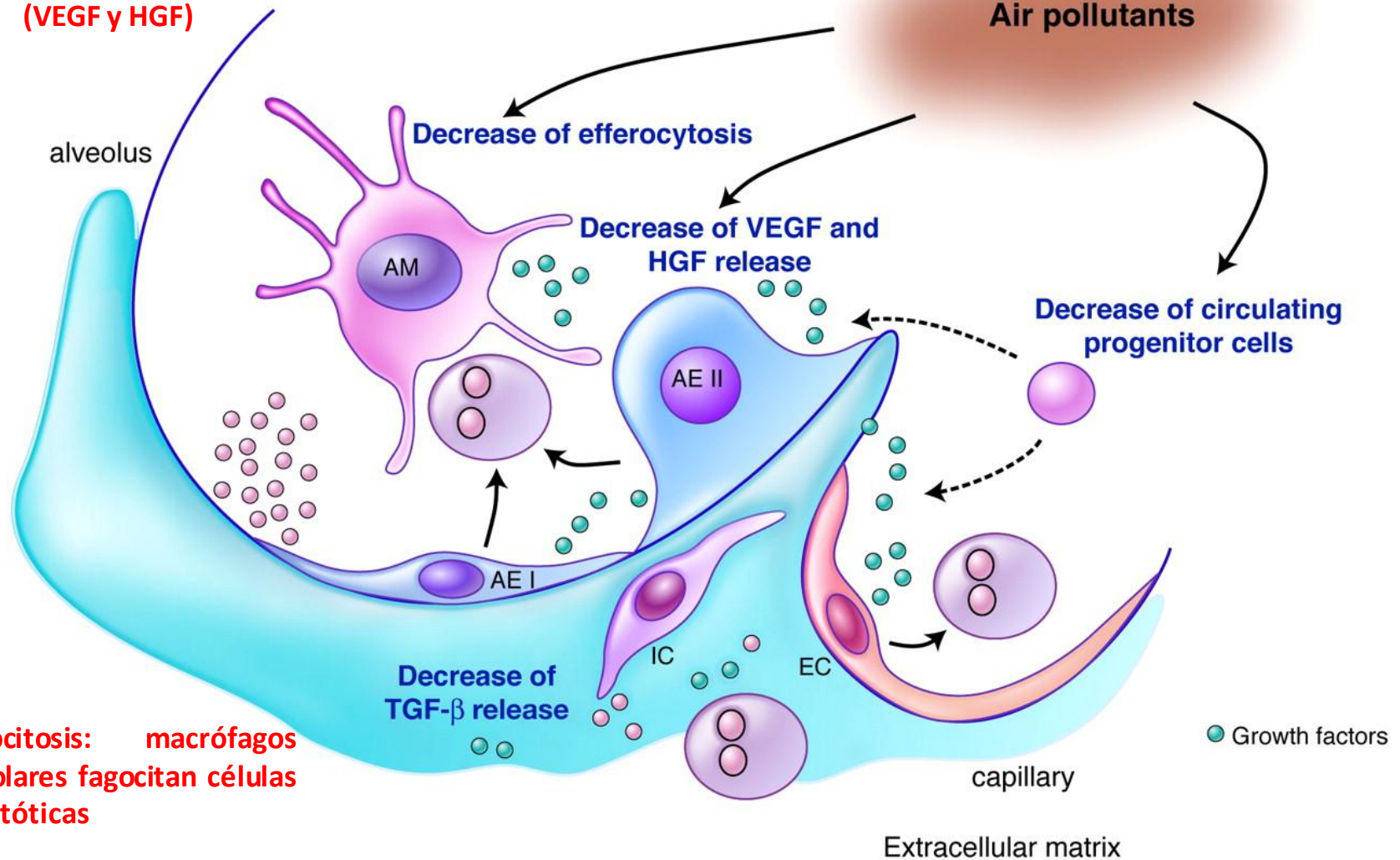
Efectos respiratorios del ozono

El proceso de inflamación no finaliza

Inhibición de la producción
y liberación de factores de
crecimiento y supervivencia
(VEGF y HGF)

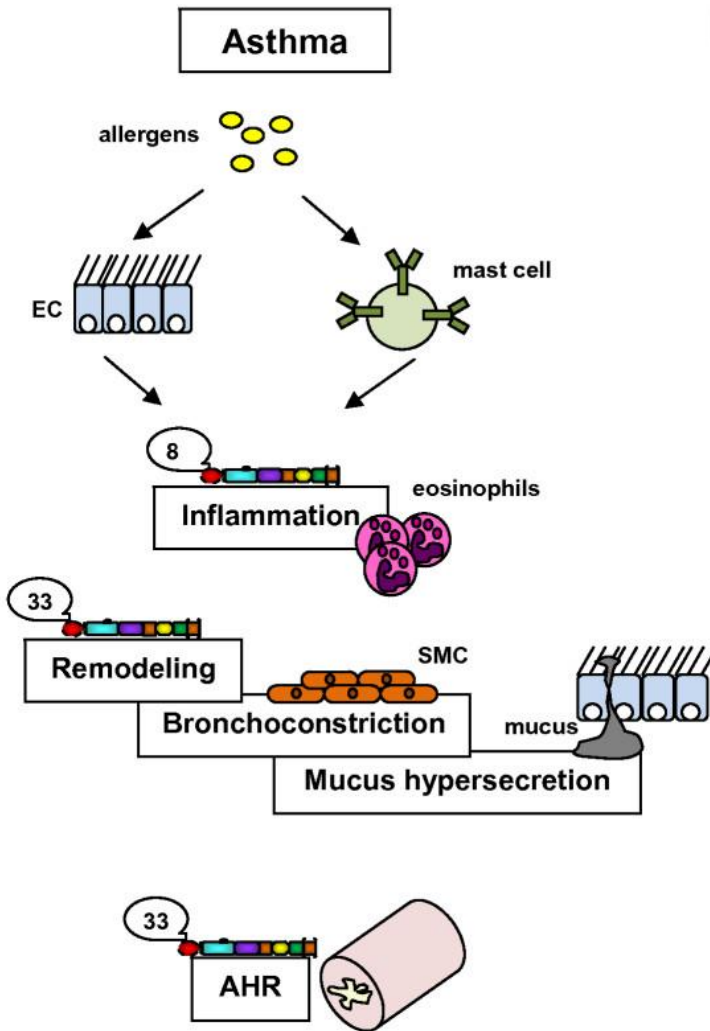


Apoptosis (muerte celular)

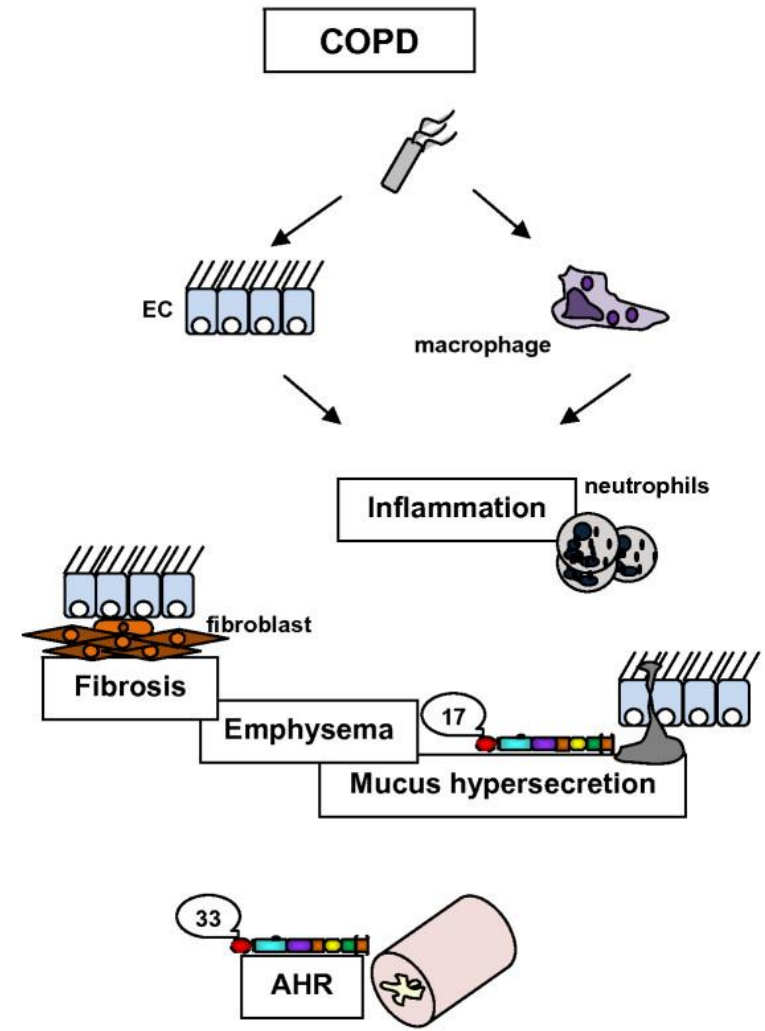


Eferocitosis: macrófagos
alveolares fagocitan células
apoptóticas

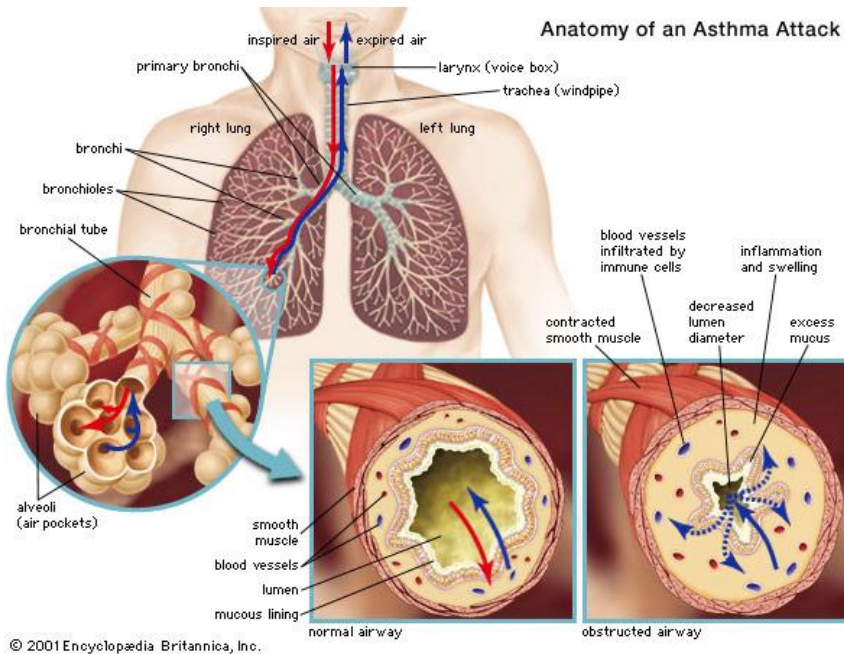
Morbi-mortalidad respiratoria relacionada con ozono



Limitación del flujo aéreo reversible

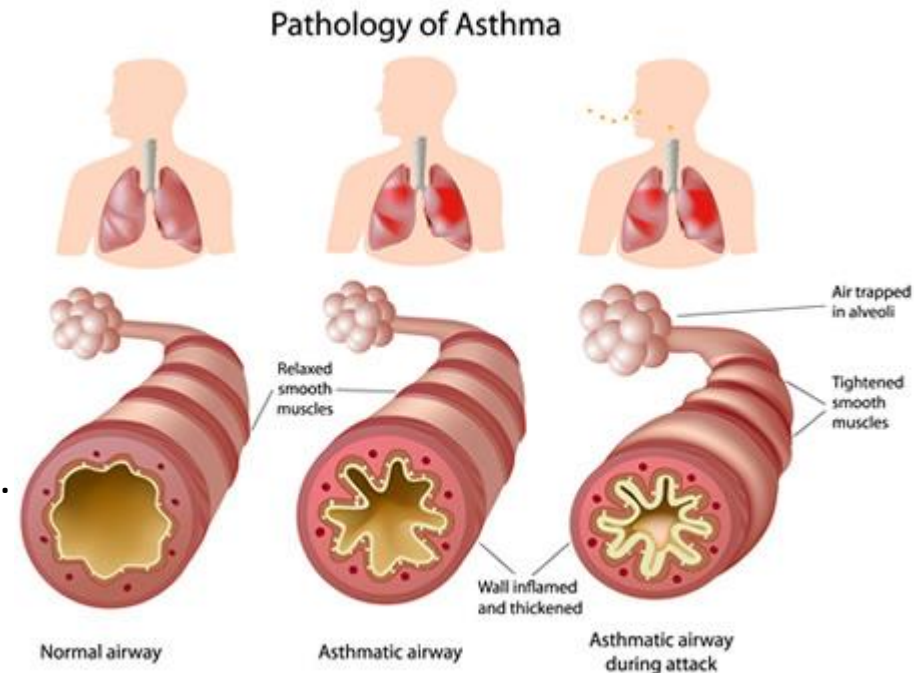


Limitación del flujo aéreo irreversible

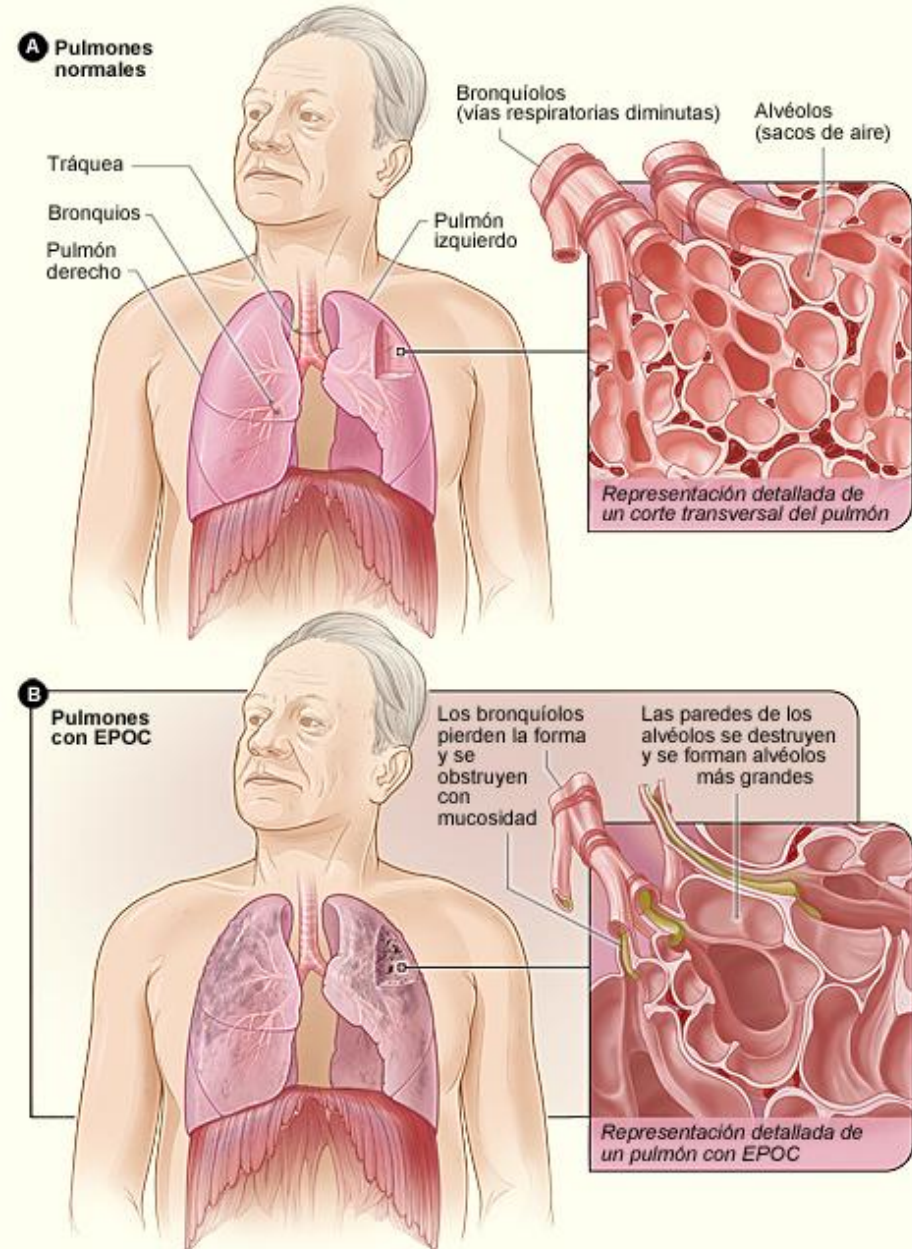
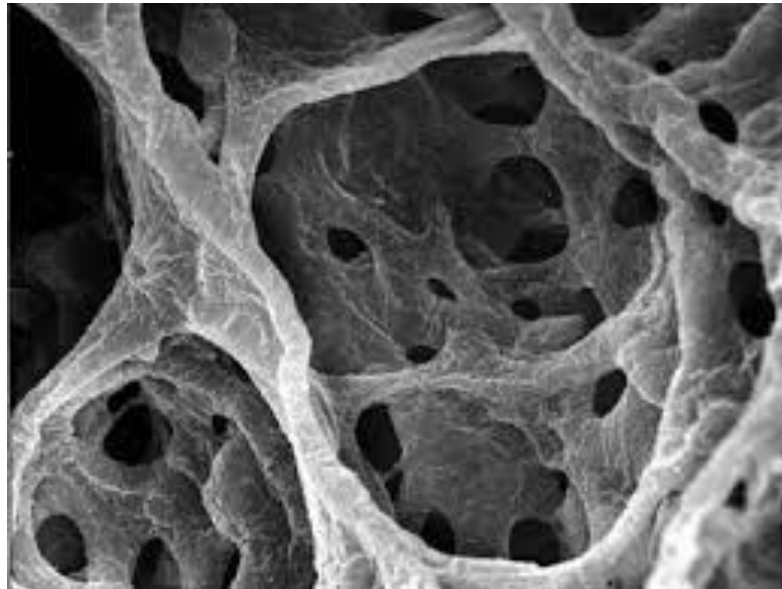


- INE (2013): >25.000 ingresos hospitalarios.
- Encuesta Nacional de Salud (2011): 1 de cada 20 niños de 0-14 años tienen asma.
- Coste total del asma en pediatría en España: Año 2008: 532 millones de euros.

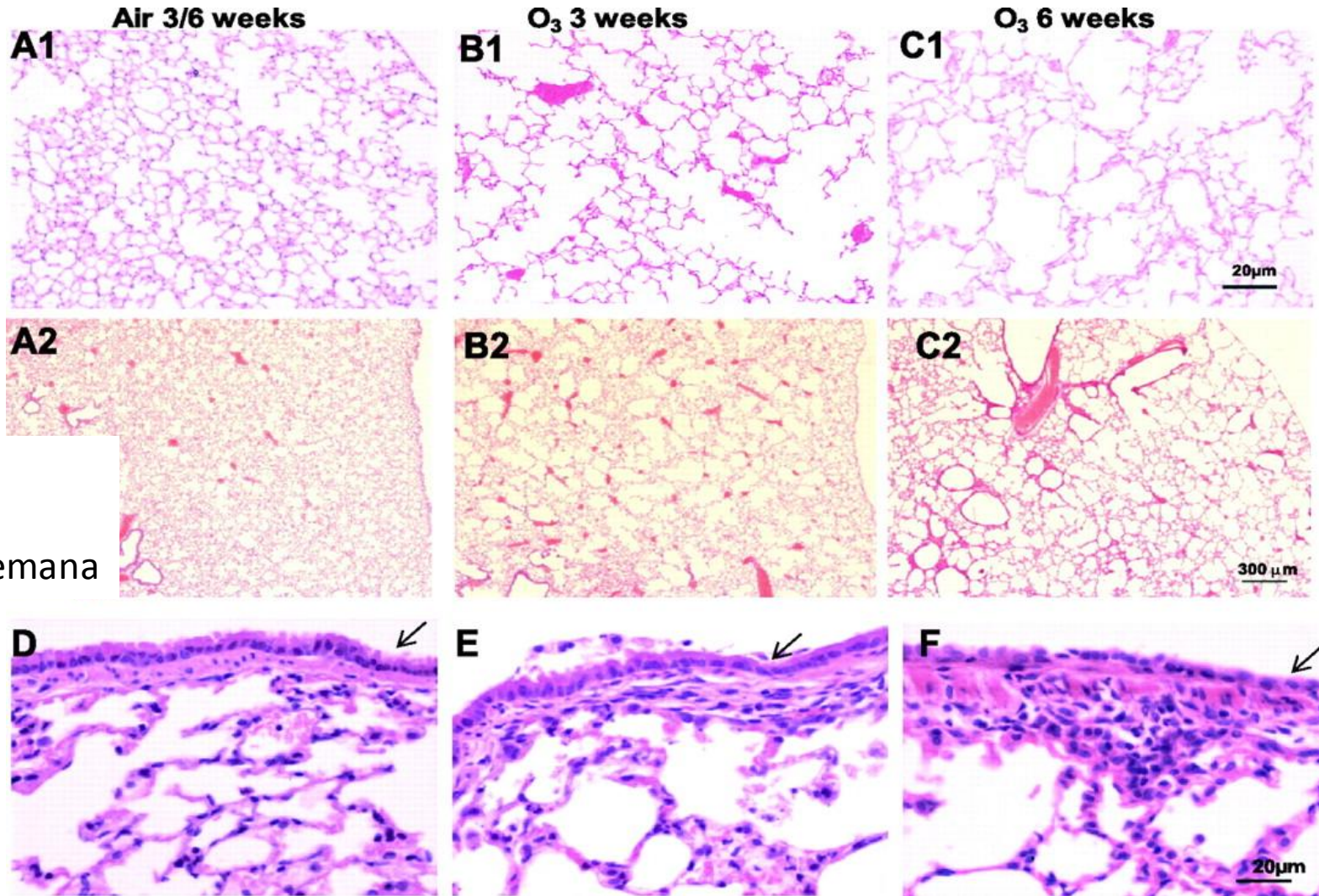
- Asma es una enfermedad crónica más frecuente en la infancia.
- Niños: aparición de asma, incrementa el riesgo de admisiones hospitalarias.
- Exacerbación de los efectos de los síntomas respiratorios en asmáticos.



- European COPD Coalition: COPD accounts for €4 billion of the direct cost of air pollution, not including economic loss due to decreased productivity.
- España (INE):
 - >18.000 muertes anuales.
 - >185.000 ingresos hospitalarios.
 - 0,2%PIB: 750-1.000 millones €/año.



Morbi-mortalidad respiratoria relacionada con ozono



2,5 ppm O₃
3h
2 veces por semana

Fig. 2. *A1*, *B1*, and *C1* (high power) and *A2*, *B2*, and *C2* (low power): representative histological sections of mouse lungs stained with hematoxylin and eosin after exposure to ozone showing enlargement of alveolar space after 3 and 6 wk of exposure. *A1* shows lungs from an air-exposed mouse for 3 wk, and *A2* an air-exposed mouse for 6 wk. *B1* and *B2* are representative lung sections from ozone-exposed mice for 3 wk, and *C1* and *C2* from ozone-exposed mice for 6 wk, showing the degree of alveolar space enlargement. *D-F*: representative histological sections of mouse airway and lungs stained with hematoxylin and eosin showing the degree of submucosal airway inflammation in the 3- and 6-wk-exposed mice and the flattening of the airway epithelium (arrow) seen particularly after 6 wk of exposure. There is also evidence of enlargement of the alveoli in the ozone-exposed mice.

Morbi-mortalidad respiratoria relacionada con ozono

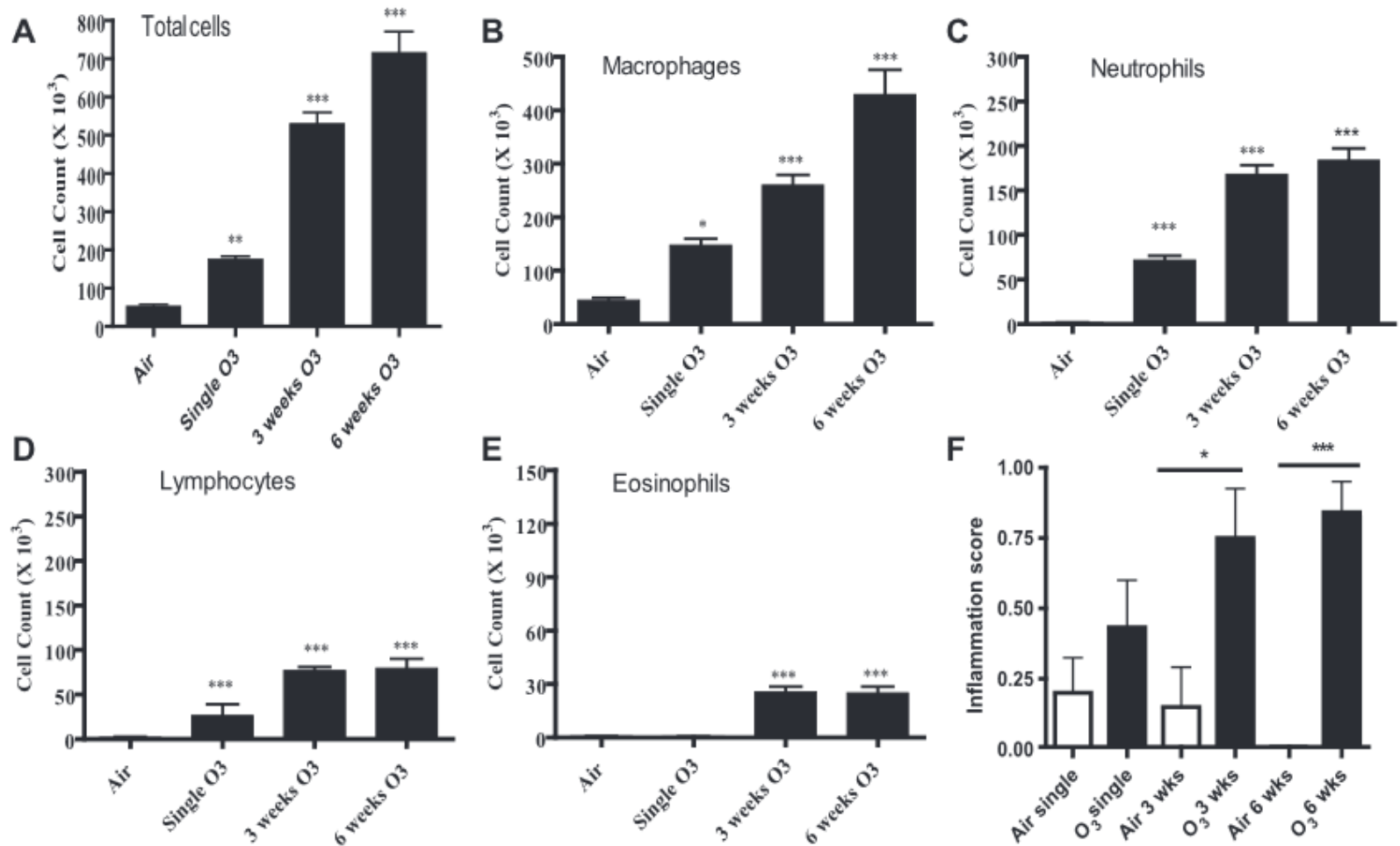


Fig. 1. A–E: dose-dependent effect of ozone on total cells, macrophages, neutrophils, lymphocytes, and eosinophils recovered in bronchoalveolar lavage (BAL) fluid. There were significant increases in macrophages, neutrophils, and lymphocytes after each level of ozone exposure ($n = 9$ in each group) compared with the air-exposed mice ($n = 8$). A small increase in eosinophils is also observed after 3 or 6 wk of exposure. F: effect of ozone exposure on inflammation score in the airways and lungs. The inflammation score was increased significantly in the 3- and 6-wk-exposed mice. Data are expressed as means \pm SE. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ compared with corresponding air-exposed mice.

Enfermedades cardiovasculares y ozono troposférico

Efectos cardiovasculares del ozono

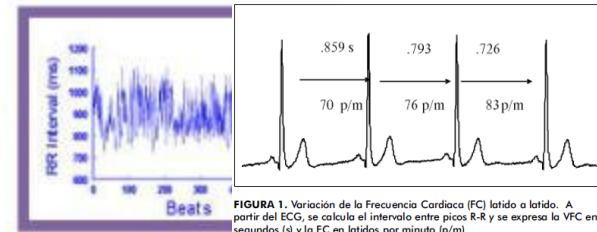
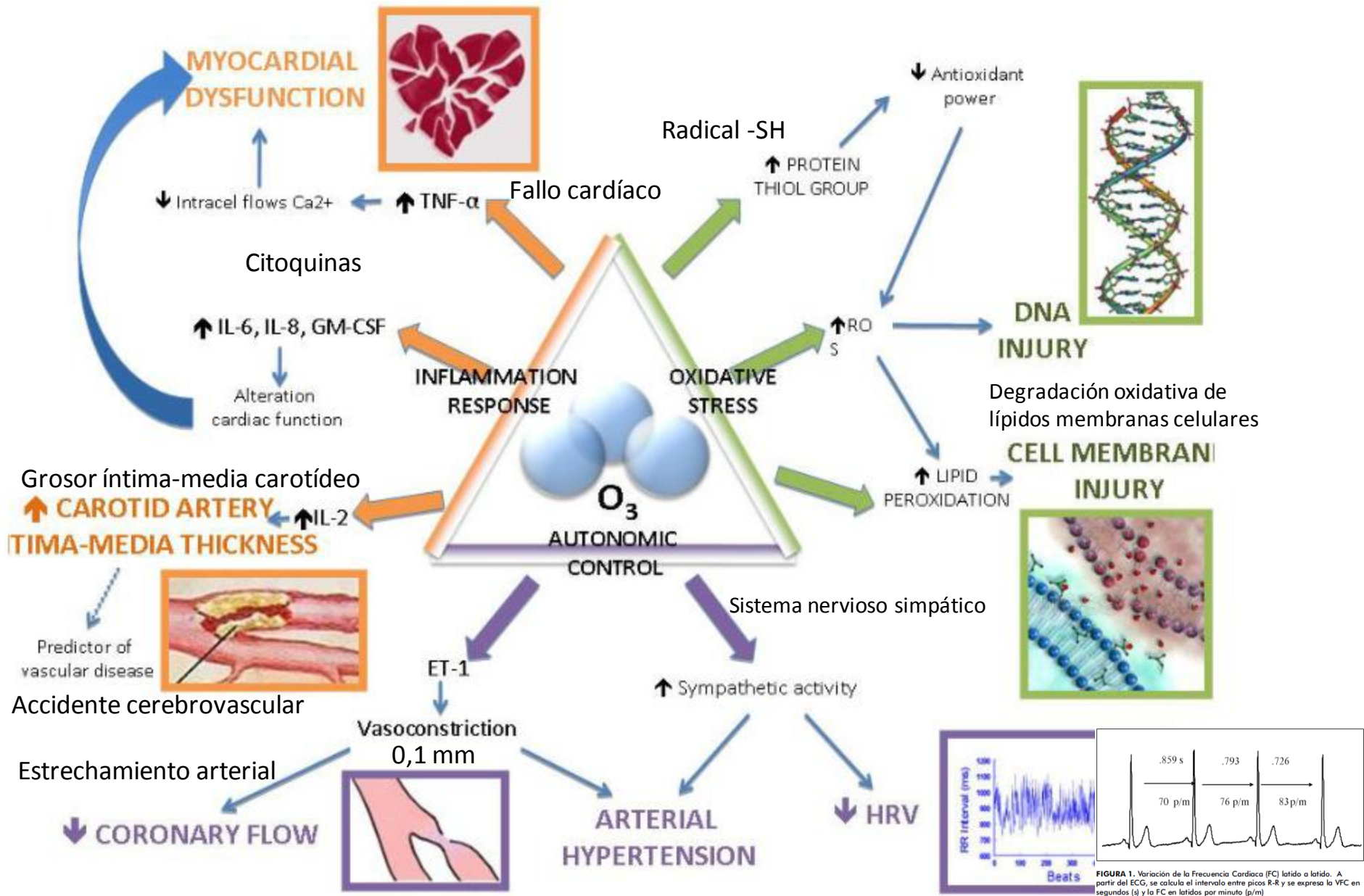
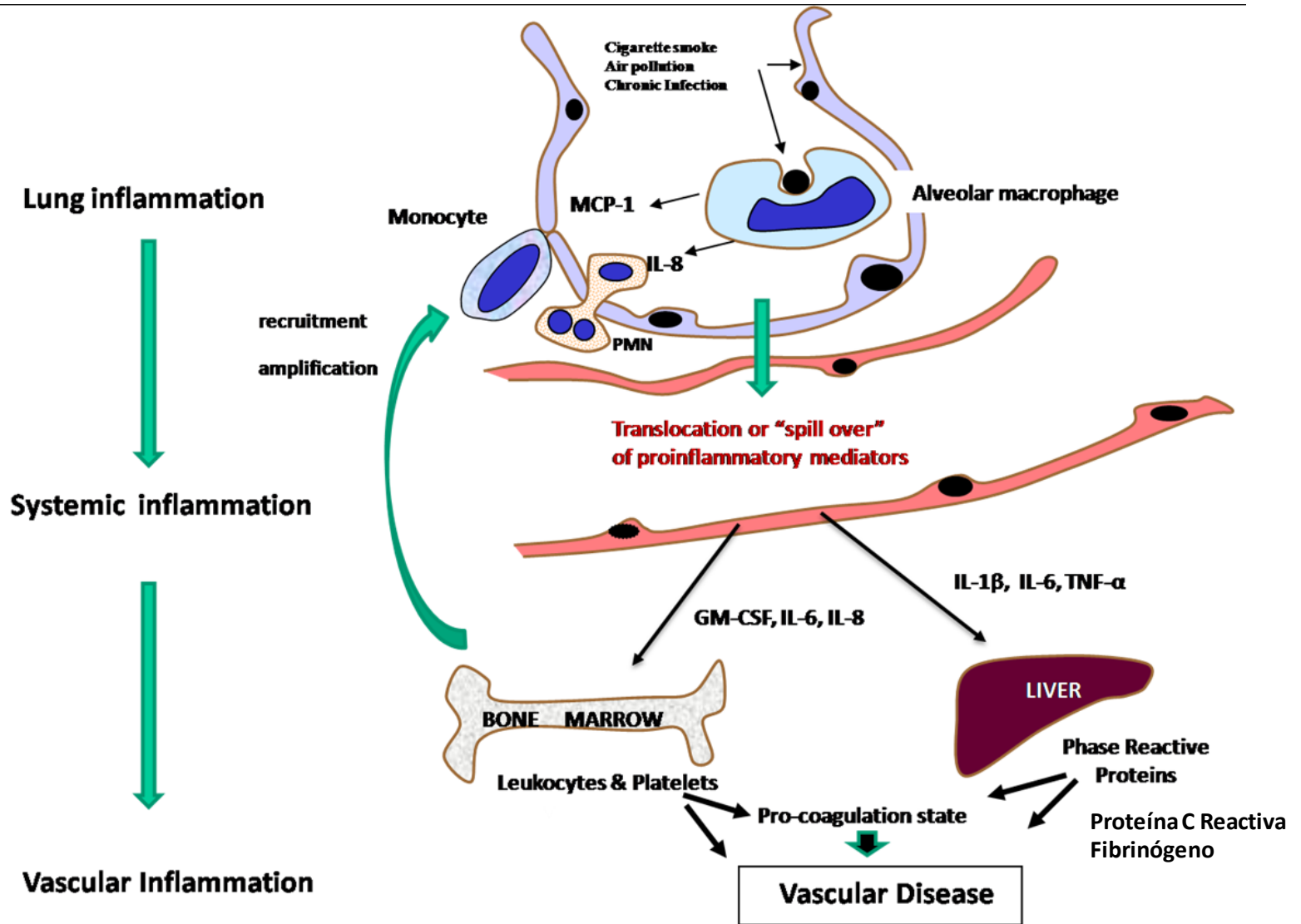
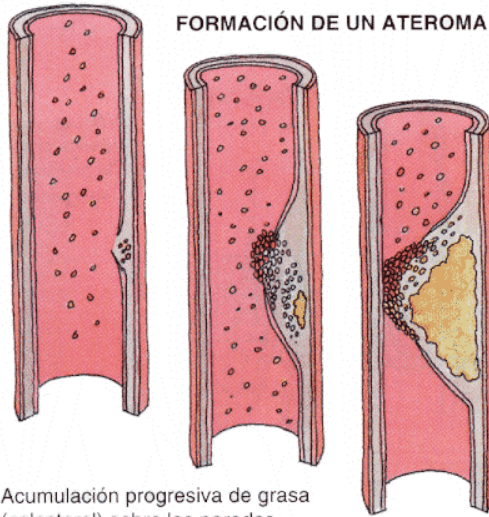


FIGURA 1. Variación de la Frecuencia Cardíaca (FC) latido a latido. A partir del ECG, se calcula el intervalo entre picos R-R y se expresa la VFC en segundos (s) y la FC en latidos por minuto (p/m)

Baja variabilidad frecuencia cardíaca
Aumenta frecuencia cardíaca

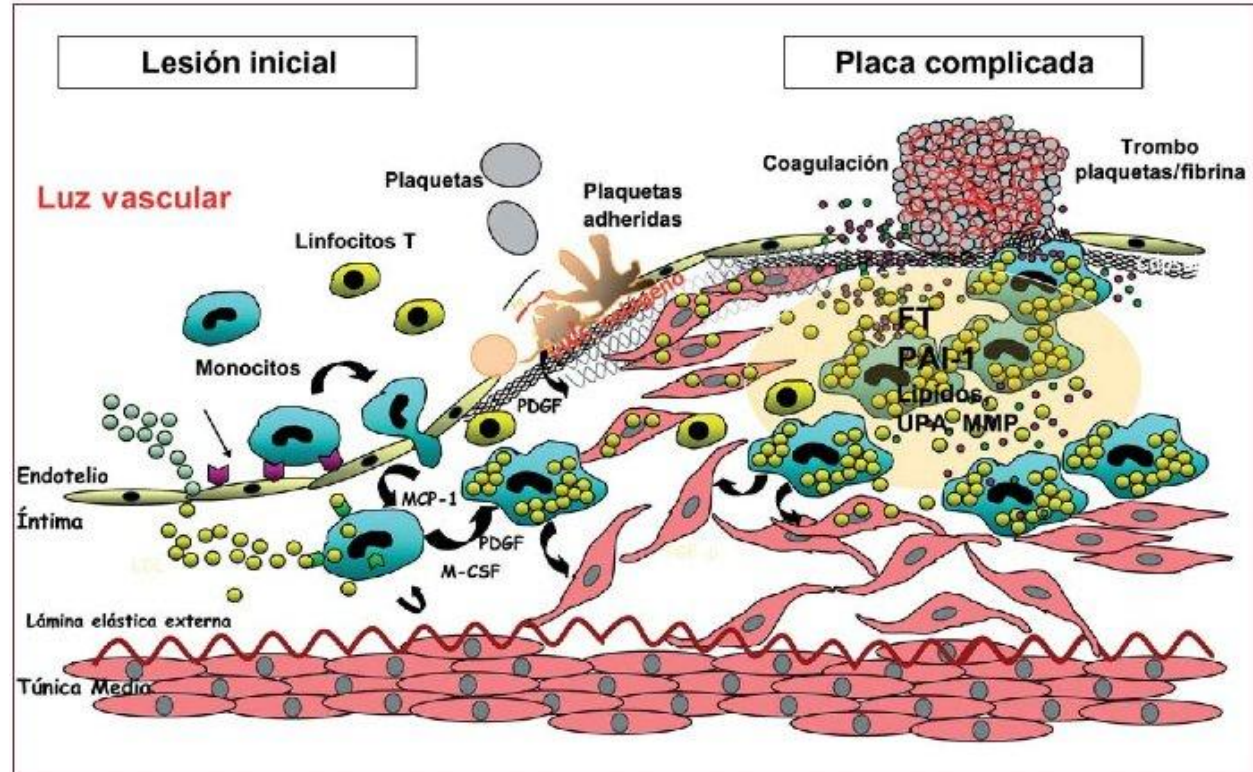
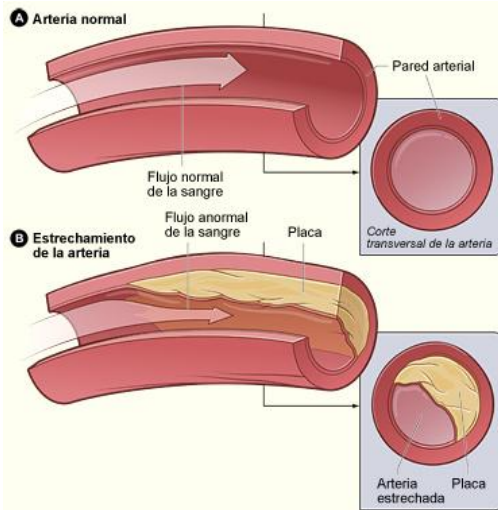


Efectos cardiovasculares del ozono



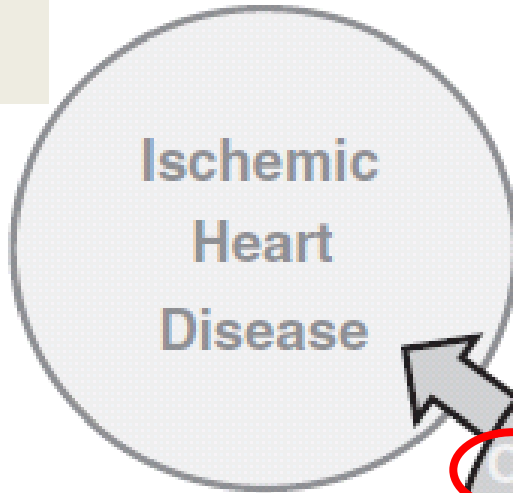
FORMACIÓN DE UN ATEROMA

Acumulación progresiva de grasa (colesterol) sobre las paredes de las arterias que puede llegar a cerrar el vaso.

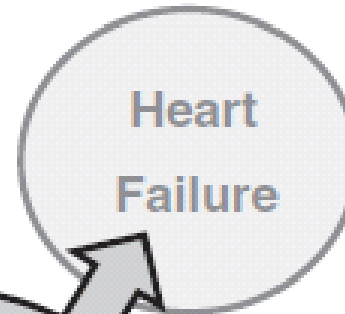


Morbi-mortalidad cardiovascular relacionada con la contaminación atmosférica

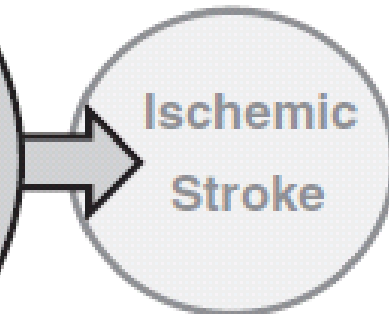
Cardiopatía isquémica



Insuficiencia cardíaca



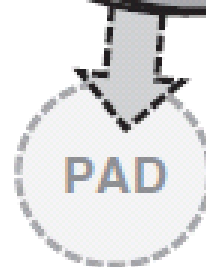
Accidente cerebrovascular



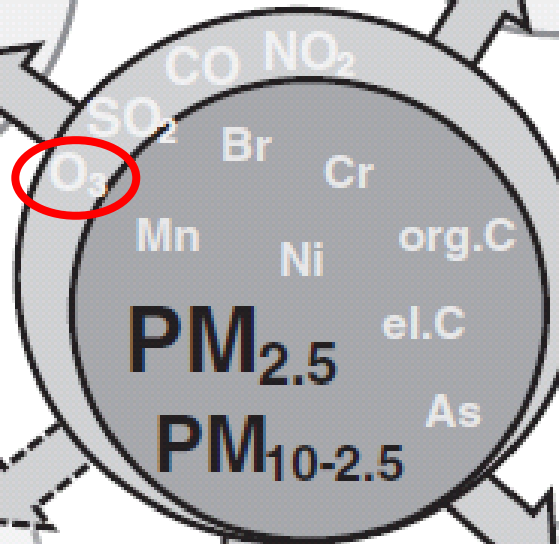
➤ Cardiovasculares:
1ª causa de muerte en España
>100.000 defunciones/año



PAD: Enfermedad arterial periférica
VTE: Tromboembolismo venoso



Arritmia



Sistema nervioso central y ozono troposférico

- Evidencia emergente entre exposición a largo plazo y desarrollo/deterioro cognitivo (cambios similares al Alzheimer).

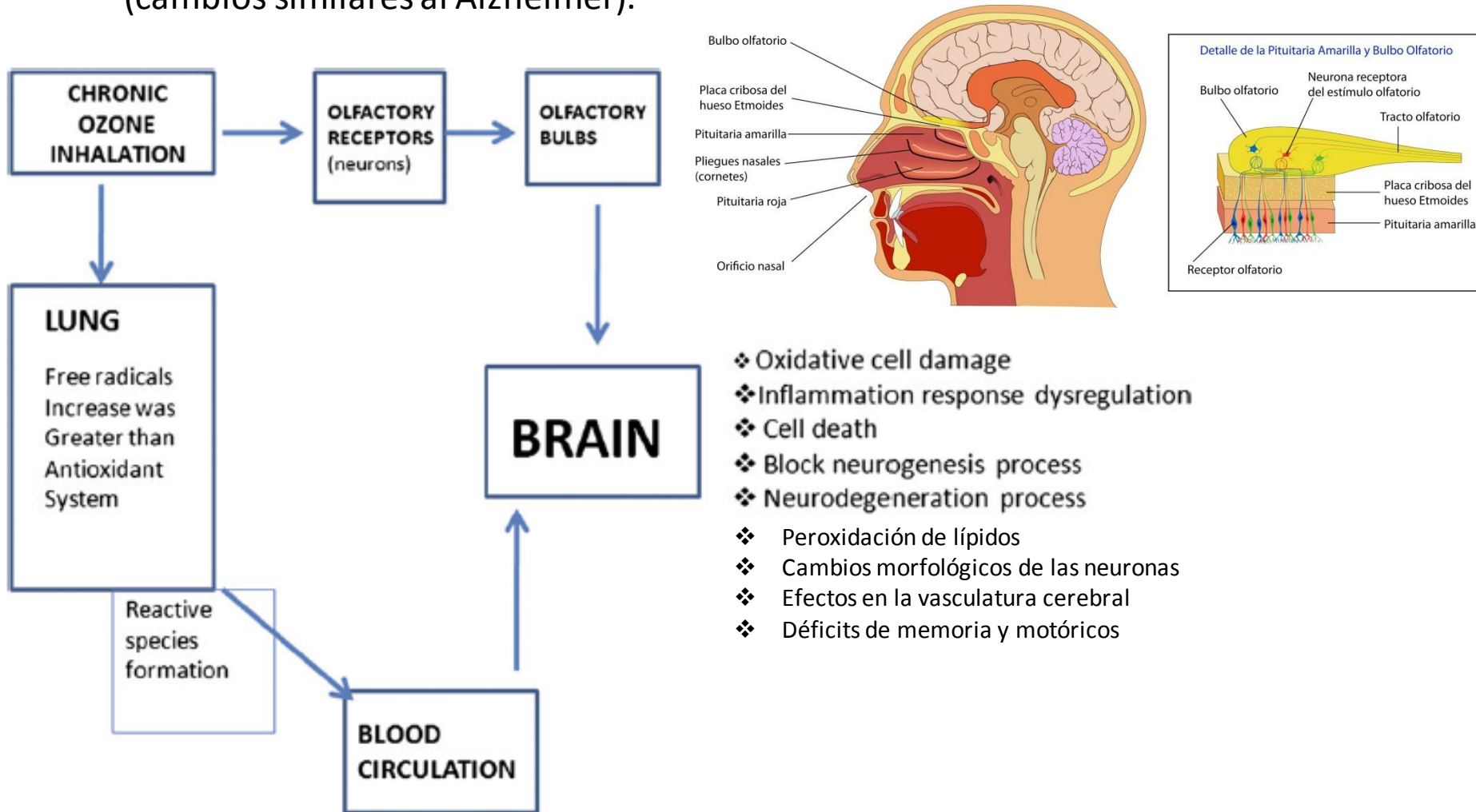
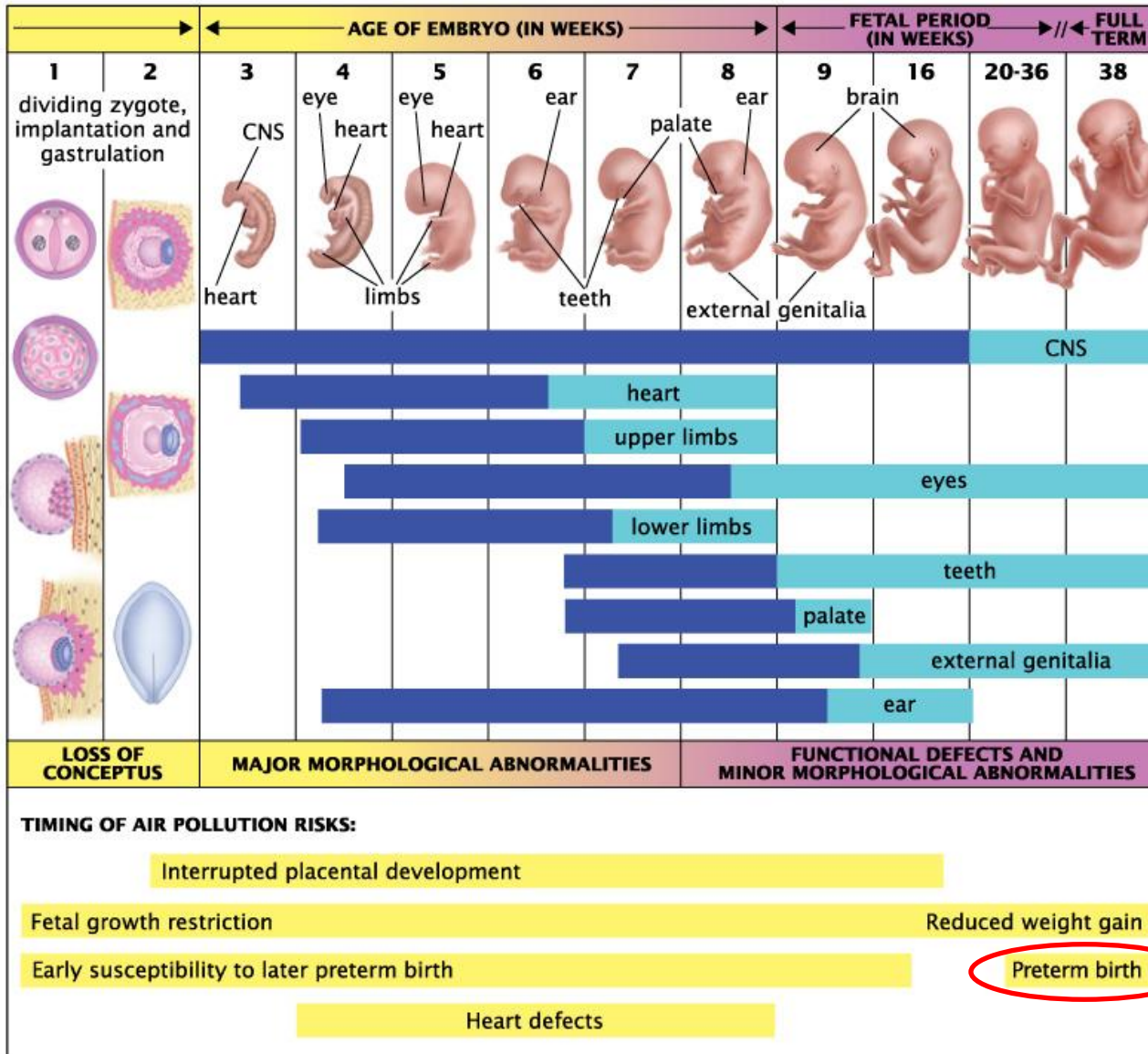


FIG. 1. Pathways by which the chronic ozone inhalation can cause damage in the brain.

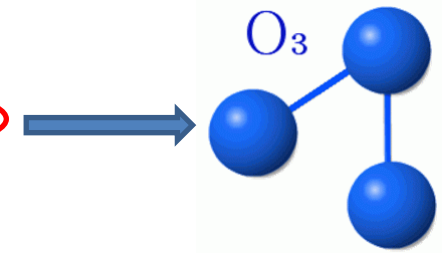
Efectos prenatales y ozono troposférico

Efectos prenatales relacionados con la contaminación atmosférica



➤ Bebés prematuros: nacidos antes de la semana 37 de gestación o con peso inferior a 2.500 g.

➤ La prematuridad es la condición neonatal que conlleva el riesgo más elevado de mortalidad, morbilidad y discapacidad en el futuro.



Note: Blue bars indicate time periods when major morphological abnormalities can occur, while light blue bars correspond to periods at risk for minor abnormalities and functional defects.

Efectos prenatales relacionados con la contaminación atmosférica

- Aumento de riesgo de parto prematuro por exposición en cualquier trimestre del embarazo.

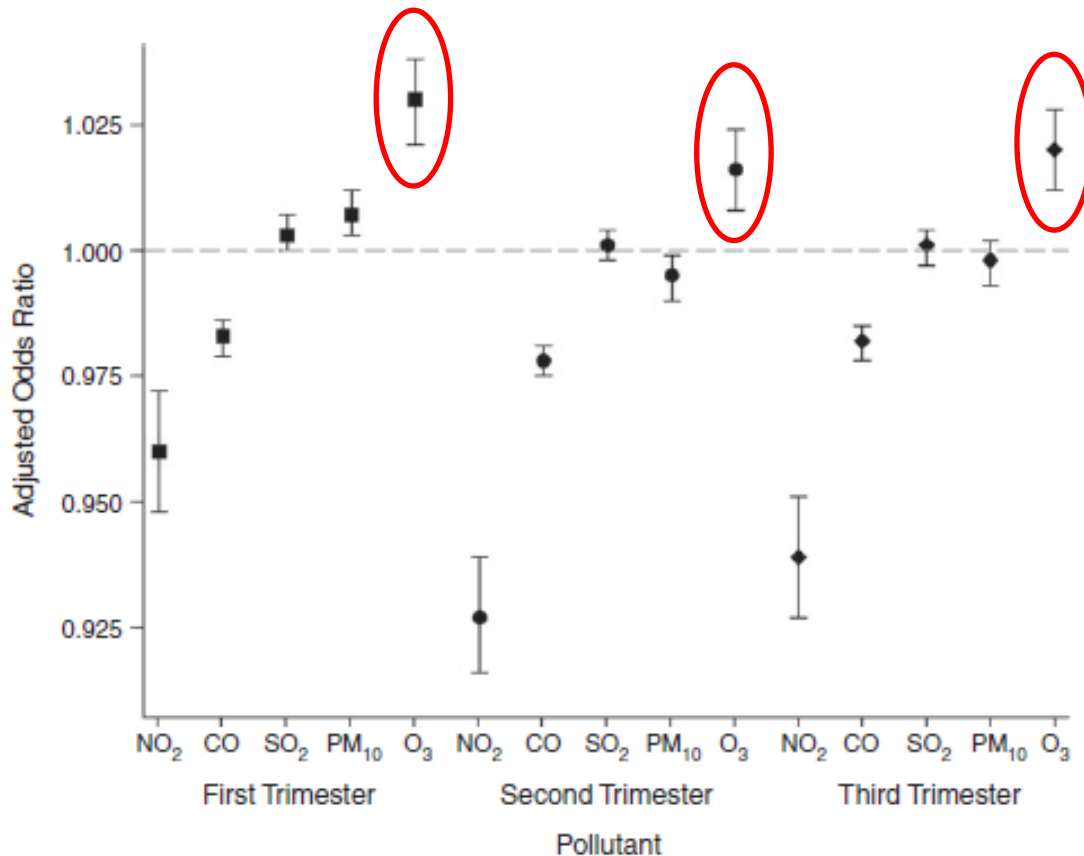


Figure 1. Association between air pollution and preterm birth from single-pollutant models, Taiwan, 2001–2007. Unit changes in air pollutants are as follow: 10 ppb for ozone (O₃) and nitrogen dioxide (NO₂); 1 ppb for sulfur dioxide (SO₂); 100 ppb for carbon monoxide (CO); and 10 µg/m³ for particulate matter with an aerodynamic diameter of 10 µm or less (PM₁₀). All models were adjusted for maternal age, sex of the infant, household income, season of conception, and year of conception. Squares represent the first trimester, circles represent the second trimester, and diamonds represent the third trimester. Bars, 95% confidence intervals.

Umbral de concentración para el ozono troposférico



Ozono: umbral de concentración a corto plazo

- **Corto plazo:** elevada variación individual, pero podría ser $<90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo 1h).



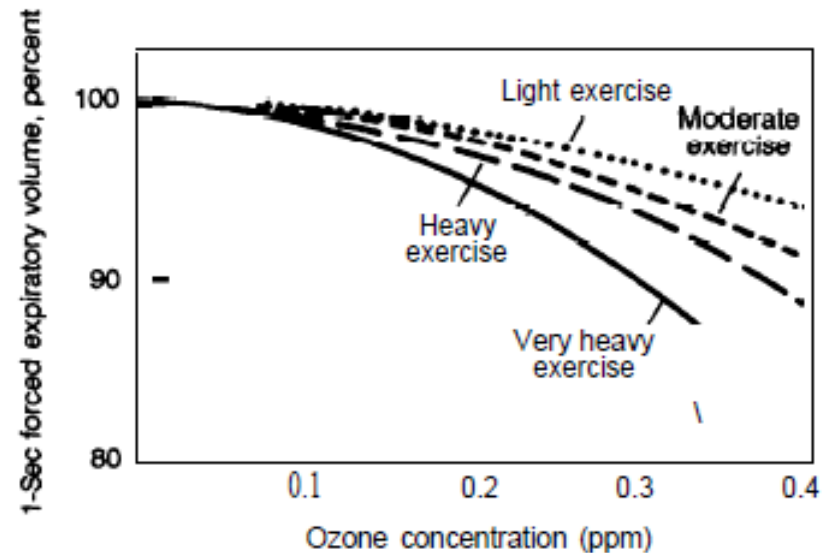
Voluntarios jóvenes sanos expuestos $>6\text{h}$ con ejercicio:

- Concentraciones de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ocasionan deterioro de la función pulmonar e inflamación.
- No refleja la exposición en población general ni la combinación susceptibilidad-exposición.

Estudios en campamentos de verano:

- Efectos observados a concentraciones de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (expuestos 8h).
- Puede reflejar efectos en población más susceptible.

Figure 3-2—Percent Decreases in Group Mean Lung Function During 2-hr Ozone Exposures With Different Levels of Intermittent Exercise



1987-2000

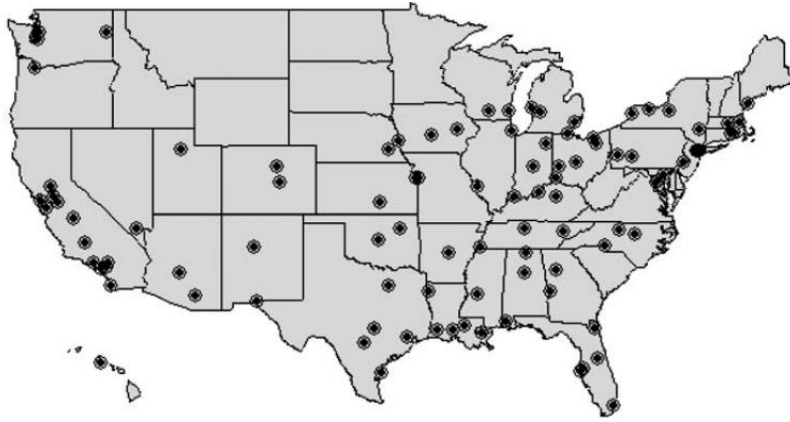


Figure 1. Locations of the 98 U.S. urban communities examined in this study.

- **Largo plazo (mortalidad):** si existe, sería un umbral a bajas concentraciones (0-10 ppb).
- Relación lineal a concentraciones más elevadas.
- 0,30% incremento de mortalidad por cada incremento de 10 ppb de ozono.

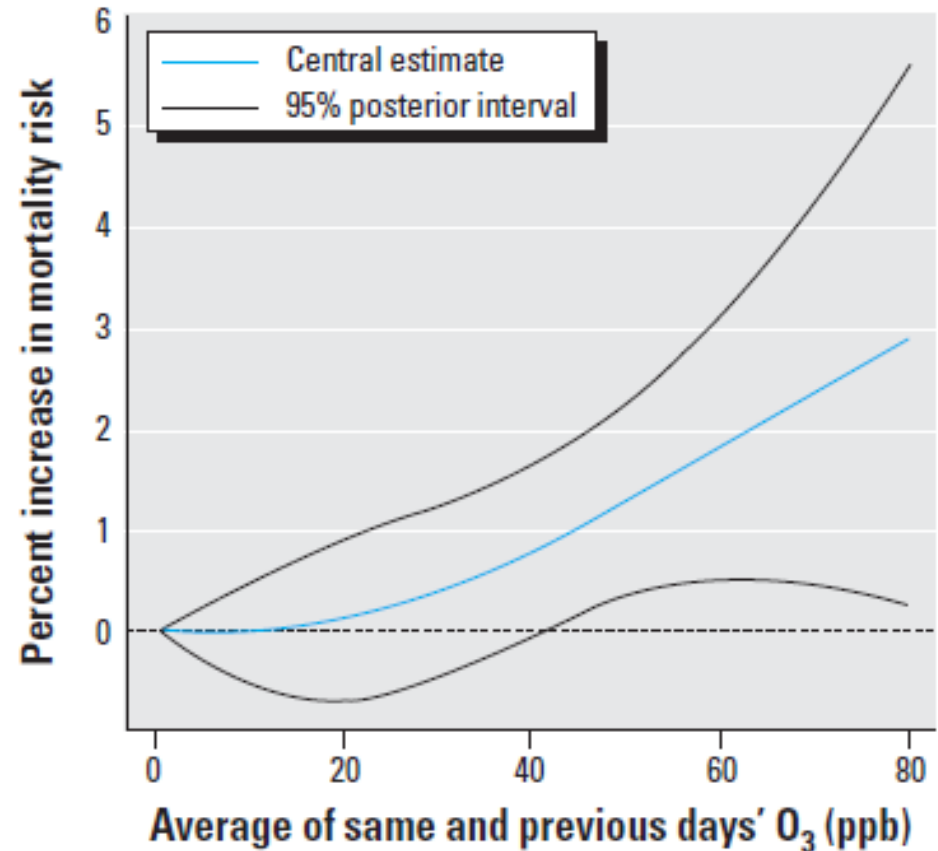


Figure 3. Exposure–response curve for O_3 and mortality using the spline approach: percentage increase in daily nonaccidental mortality at various O_3 concentrations.

| RD 102/2011 | Parámetro | Valor | Fecha de cumplimiento |
|--|--|--|------------------------------|
| 1. Valor objetivo para la protección de la salud humana | Máxima diaria de las medias móviles octohorarias (1) | 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años (2) | 1 de enero de 2010 (3) |
| 2. Valor objetivo para la protección de la vegetación | AOT40, calculado a partir de valores horarios de mayo a julio | 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ de promedio en un período de 5 años (2) | 1 de enero de 2010 (3) |
| 3. Objetivo a largo plazo para la protección de la salud humana | Máxima diaria de las medias móviles octohorarias en un año civil | 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | No definida |
| 4. Objetivo a largo plazo para la protección de la vegetación | AOT40, calculado a partir de valores horarios de mayo a julio | 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ | No definida |
| | | | |
| Umbral de información | Promedio horario | 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Umbral de alerta | Promedio horario (4) | 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

(1) El máximo de las medias móviles octohorarias del día deberá seleccionarse examinando promedios móviles de ocho horas, calculados a partir de datos horarios y actualizados cada hora. Cada promedio octohorario así calculado se asignará al día en que dicho promedio termina, es decir, el primer período de cálculo para un día cualquiera será el período a partir de las 17:00 h del día anterior hasta las 1:00 h de dicho día; el último período de cálculo para un día cualquiera será el período a partir de las 16:00 h hasta las 24:00 h de dicho día.

(2) Si las medias de tres y cinco años no pueden determinarse a partir de una serie completa y consecutiva de datos anuales, los datos anuales mínimos necesarios para verificar el cumplimiento de los valores objetivos serán los siguientes:

Para el valor objetivo relativo a la protección de la salud humana: datos válidos correspondientes a un año.

Para el valor objetivo relativo a la protección de la vegetación: datos válidos correspondientes a tres años.

(3) El cumplimiento de los valores objetivo se verificará a partir de esta fecha. Es decir, los datos correspondientes al año 2010 serán los primeros que se utilizarán para verificar el cumplimiento en los tres o cinco años siguientes, según el caso.

(4) La superación del umbral se debe medir o prever durante tres horas consecutivas.



**Organización
Mundial de la Salud**

100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Grupos más susceptibles



Riesgo más elevado debido a características biológicas o factores intrínsecos, como el sexo, la edad o la genética.

Ozono: grupos más susceptibles

- **Niños:** la exposición al ozono durante el inicio de la vida tiene el potencial de contribuir al desarrollo de asma además de exacerbar el asma.

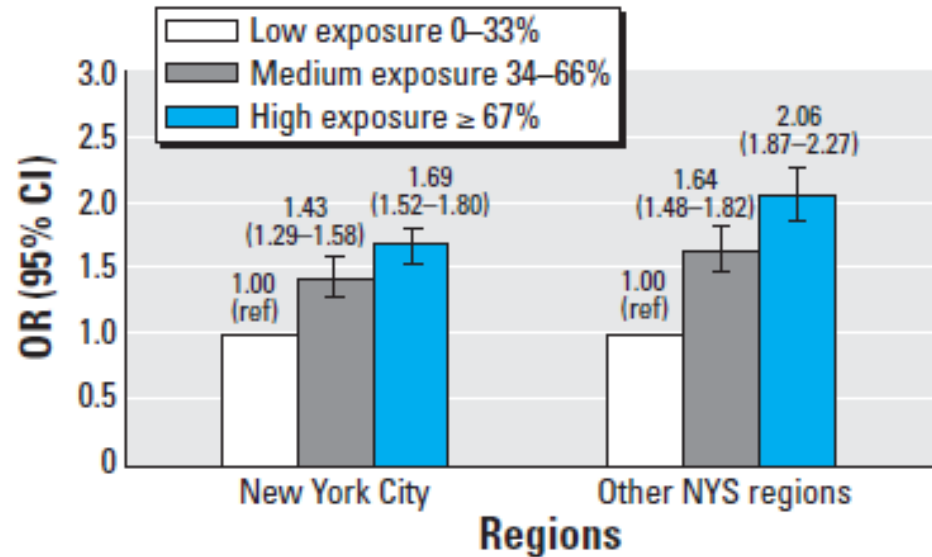


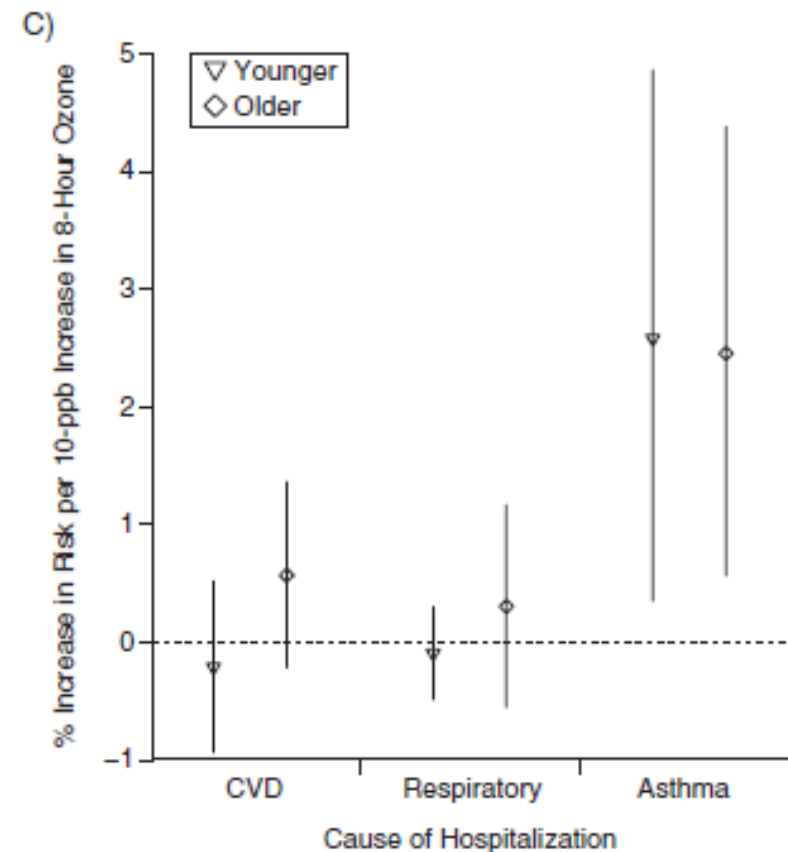
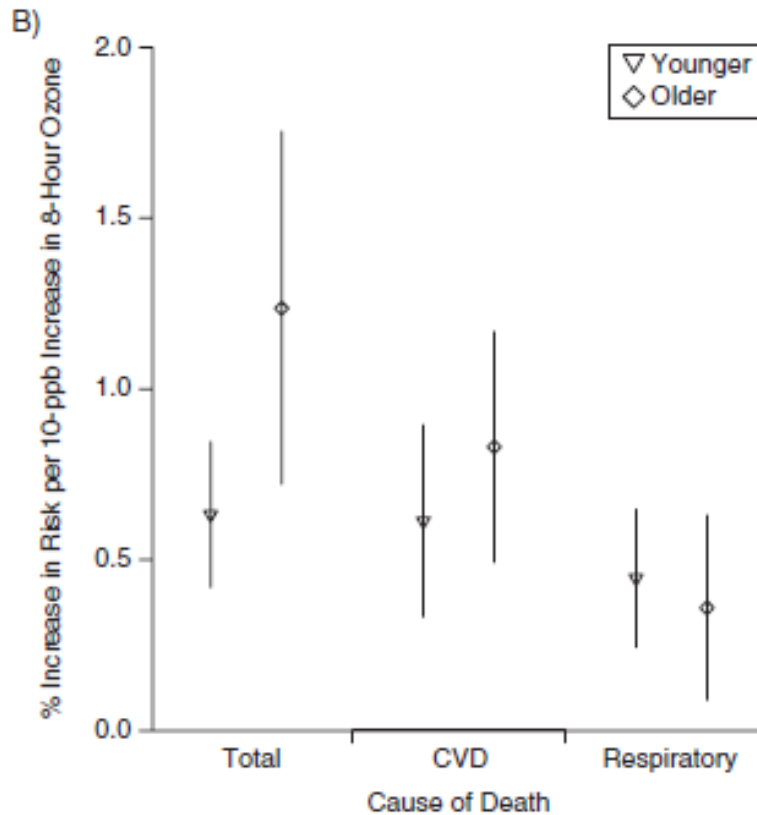
Figure 2. Ozone–asthma dose–response relationship using the mean concentration during the entire follow-up period, adjusted for child’s sex, age, birth weight, and gestational age; maternal race, ethnicity, age, education, insurance, and smoking status during pregnancy; and regional poverty level and temperature. NYS, New York State. ref, referent.

Modificación de la asociación por edad

- Riesgo de morir más elevado para los mayores (0.66% más que los jóvenes).

Jóvenes: 0,60% (95% CI: 0.40, 0,80)

Mayores: 1,27% (95% CI: 0.76, 1.78)

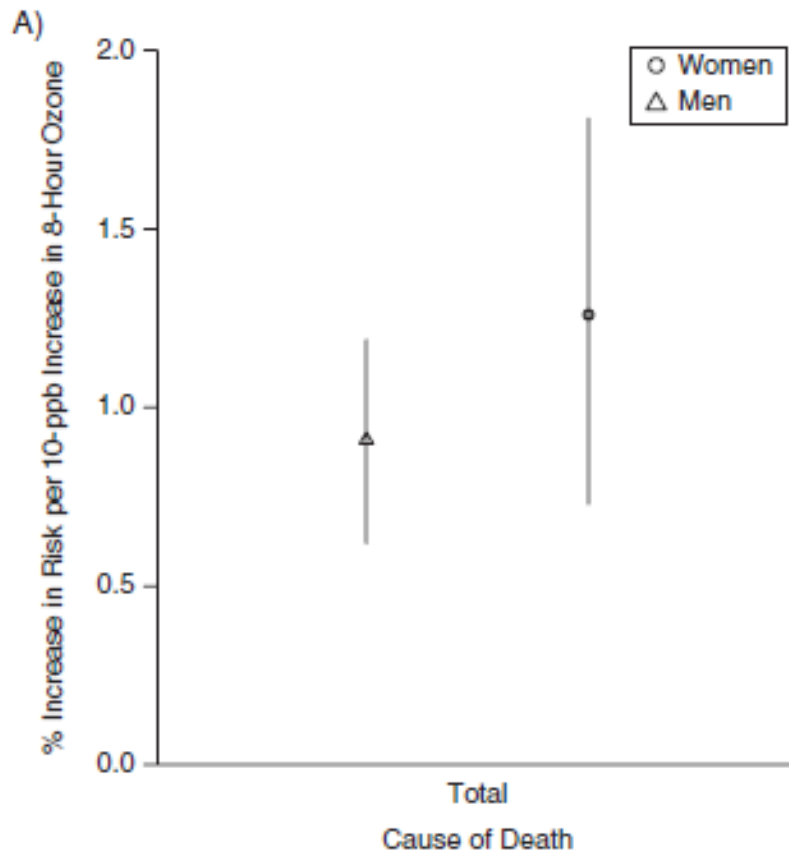


Modificación de la asociación por género

- Riesgo de morir más elevado para las mujeres (0.39% más que los hombres),

Mujeres: 1.12% (95% CI: 0.62, 1.63)

Hombres: 0.73% (95% CI: 0.40, 1.07)



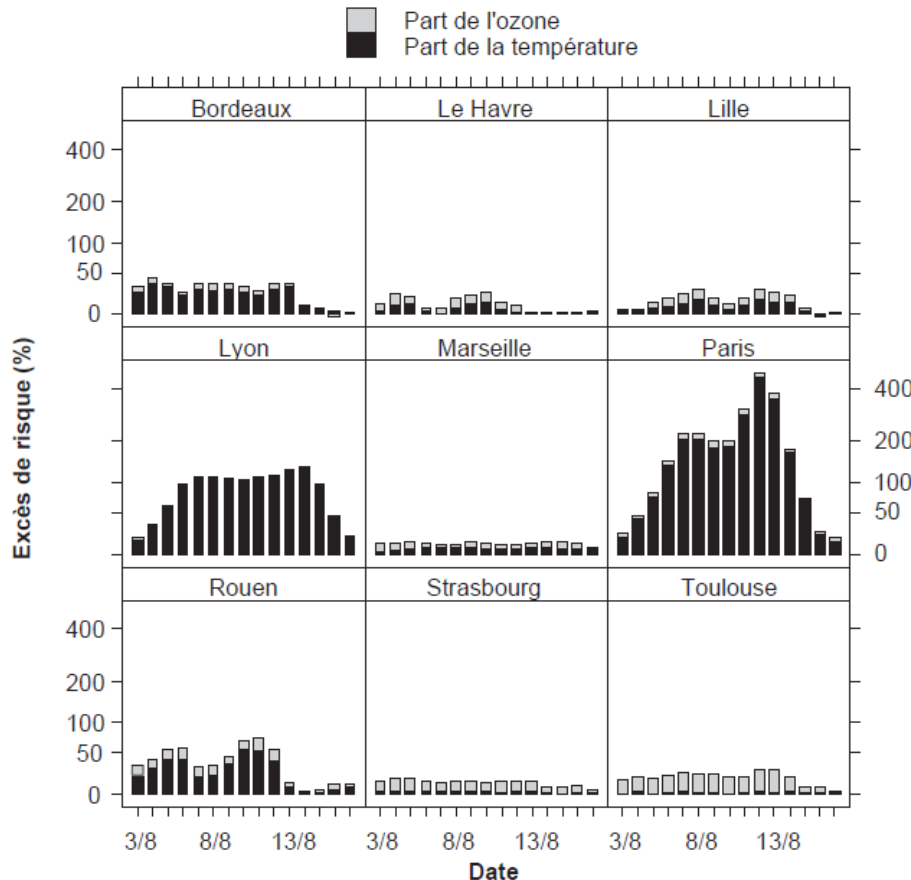
- Diferencias estructurales y hormonales.
- Las mujeres tienen:
 - Menor capacidad pulmonar.
 - Menores tasas de flujo espiratorio.
 - Menor diámetro de las vías respiratorias.
 - Hormonas ováricas (progesterona y estrógenos) influyen en el sistema pulmonar.
- Las mujeres muestran:
 - Mayor hiperreactividad de las vías respiratorias.
 - Mayor hipoxemia arterial (baja presión de O₂ en sangre).

Evaluación de impacto en salud del ozono troposférico

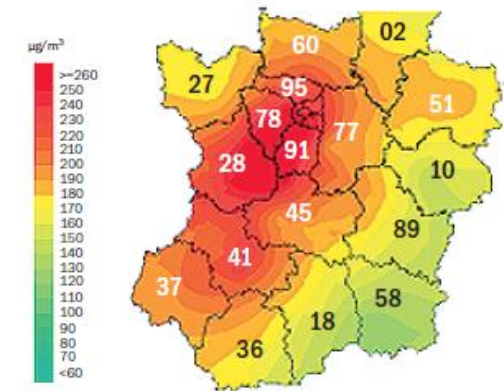
Ozono: estudios de evaluación de impacto en salud

- Muertes por ola de calor de 2003 (3-17 de agosto): 15.000 (Francia), 70.000 (Europa).
- 380 muertes atribuibles al O₃ en 9 ciudades francesas (228 en París).
- Combinación mortal: calor + ozono.

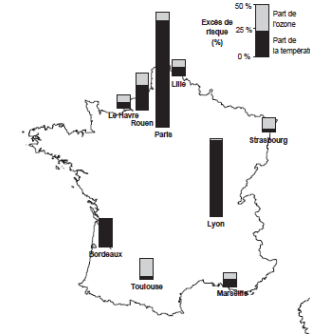
Valeurs journalières de l'excès de risque de mortalité lié à l'ozone et à la température et des parts relatives des deux facteurs. Population tous âges



▼ Figure 9 : Carte des niveaux moyens d'ozone à 15 heure le 8 août 2003 (jour de l'épisode le plus intense de l'été), produite à partir des données des réseaux Lig'Air, Atmos'Air Bourgogne, Atmo Champagne Ardennes, Atmo Picardie, Air Normand et Airparif. Le panache sous le vent de l'agglomération parisienne sort très largement des limites géographiques de l'Île-de-France.



Excès de risque (%) liés à l'ozone et à la température et représentation des parts relatives de chaque facteur pour la population tous âges. Période du 3 au 17 août 2003

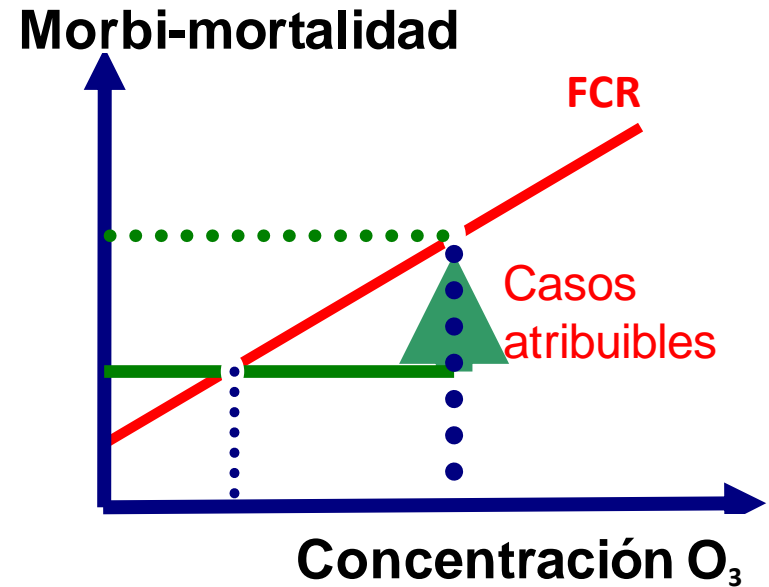


Ozono troposférico: investigación pendiente

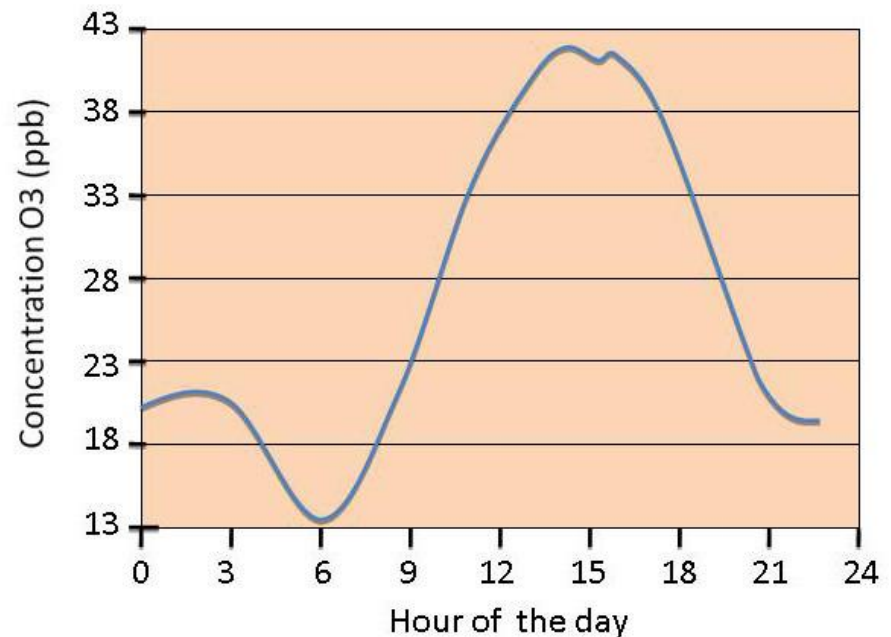


Ozono troposférico: investigación

- Mecanismos de acción y fisiopatología.
- **Evaluación de la exposición:** correspondencia entre medidas/modelos y exposición real.
- **Estudios de efectos:**
 - Determinación de FCR para España.
 - Establecimiento de umbrales de concentración.
 - Poblaciones susceptibles (grupos de edad, sexo) y vulnerables (nivel socioeconómico).
 - Interacción con otros contaminantes atmosféricos.
 - Interacción clima-ozono (temperatura-O₃): cambio climático-calidad del aire.
- **Estudios de evaluación de impacto en salud:** importancia del impacto a largo plazo a exposiciones bajas.



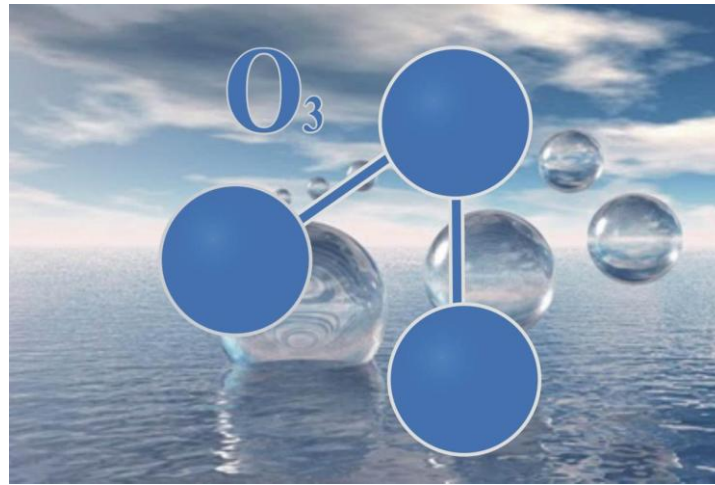
- Establecer políticas dirigidas a controlar la calidad del aire y proteger la salud de la población.
- Realizar recomendaciones más precisas en salud. Sistemas de información a la población.
- Centrar más esfuerzos preventivos en poblaciones de riesgo.
- Proteger de forma diferencial a los pacientes afectados.



- **Esfuerzos para proteger la capa de ozono estratosférico.**



- **Esfuerzos para controlar los niveles de ozono troposférico.**





Muchas gracias por su atención
Elena Boldo: eiboldo@isciii.es

