

Diagnóstico de la contaminación atmosférica de Zamudio



Cuaderno del Estudiante



María del Carmen Gómez
Navazo

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
TEMA 1: CONCEPTOS Y ESCALAS EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	6
1) Actividad 1. Introducción.....	6
2) Actividad 2. Contaminantes naturales y antropogénicos.	7
3) Actividad 3. Contaminantes primarios y secundarios.	7
4) Actividad 4. Elementos en la contaminación del aire.	8
5) Actividad 5. Tiempo de vida atmosférico.....	9
6) Actividad 6. Escalas del problema de la contaminación del aire.	10
TEMA 2: LA ATMÓSFERA. CICLOS CARACTERÍSTICOS EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	12
7) Actividad 7. La atmósfera: Estructura.	12
8) Actividad 8. La atmósfera: Composición.	13
9) Actividad 9. La atmósfera: Balance energético. Efecto invernadero.	14
10) Actividad 10. Ciclos característicos en contaminación atmosférica.	16
11) Actividad 11. Revisión.	17
TEMA 3: PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....	18
12) Actividad 12. Compuestos de nitrógeno.....	18
13) Actividad 13. Compuestos de azufre.	19
14) Actividad 14. Compuestos de Carbono.....	20
15) Actividad 15. El aerosol atmosférico.....	22
16) Actividad 16. Legislación: calidad del aire.	24
17) Actividad 17. Contaminantes microtóxicos y olores.	25
TEMA 4: EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LOS CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA.....	27
18) Actividad 18. Reacciones fotoquímicas en la atmósfera.....	27
19) Actividad 19. Química de los radicales en la atmósfera.	27
20) Actividad 20. Transformaciones de los óxidos de nitrógeno. Reacciones homogéneas en fase gas.	28
21) Actividad 21. Transformaciones de los óxidos de azufre. Reacciones heterogéneas en fase acuosa. Conversión gas-partícula.	30
22) Actividad 22. Revisión.	32
TEMA 5: DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA.....	35



23) Actividad 23. Dispersión de contaminantes. Capa Límite Atmosférica.	35
24) Actividad 24. Estabilidad atmosférica: Procesos de (des)estabilización. Tipos de penachos en función de la estabilidad.	37
25) Actividad 25. Modelos de dispersión. Características y aplicaciones.	38
26) Actividad 26. Modelos no difusivos o de advección pura: Modelos de caja. ...	39
27) Actividad 27. Modelos difusivos: Penacho gaussiano.	40
28) Actividad 28. Penacho gaussiano: Estimación de los parámetros de dispersión. Cálculo de la sobreelevación y altura efectiva.....	41
29) Actividad 29. Penacho gaussiano: Variación de la velocidad del viento en altura. El problema del tiempo de promediado.	43
30) Actividad 30. Revisión.	45
TEMA 6: PREVENCIÓN Y CONTROL INTEGRADO DE LA CONTAMINACIÓN (IPPC). TÉCNICAS DE REDUCCIÓN Y CONTROL DE EMISIONES INDUSTRIALES	47
31) Actividad 31. Prevención y control integrado de la contaminación (IPPC).	47
32) Actividad 32. Selección de equipos de separación para reducción de emisiones atmosféricas.	48
33) Actividad 33. Equipos de separación de contaminantes en fase particulada. .	50
34) Actividad 34. Equipos de separación de contaminantes en fase gas.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXO i. VALORACIÓN DEL TRABAJO EN GRUPO	56

INTRODUCCIÓN

Las actividades propuestas en este "Cuaderno del estudiante", de la asignatura *Tecnologías del Medio Ambiente*, una **asignatura troncal**, de 4º curso de la titulación de Ingeniería Química, impartida en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao, cubren el BLOQUE I. CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA, siguiendo la metodología **Aprendizaje Basado en Problemas, ABP**. El ABP no es la clase de problemas tradicional, en la que se trata de que los estudiantes apliquen la teoría, en el ABP para resolver el problema planteado se "necesita construir" la teoría.

En la Guía Docente de la asignatura, <http://www.ingeniaritza-bilbao.ehu.es/>, los contenidos teóricos están agrupados en cuatro bloques, además de un pequeño tema introductorio:

I. INTRODUCCIÓN

BLOQUE I. CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA.

BLOQUE 2. AGUAS RESIDUALES.

BLOQUE 3. RESIDUOS SÓLIDOS.

BLOQUE 4. EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL

Las actividades ABP propuestas para el BLOQUE I. CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA incluyen dos enfoques: Caracterización y tratamiento de la contaminación atmosférica, y serán la guía para responder a dos preguntas detonantes:

¿Es buena la calidad del aire de Zumudio?

Las empresas del entorno que realizan emisiones contaminantes a la atmósfera, ¿están adoptando las mejores técnicas disponibles para minimizarlas?

Así, la idea principal es primero CARACTERIZAR el problema de la contaminación atmosférica y responder a la primera pregunta, para después proponer medidas de TRATAMIENTO desde las propias fuentes de emisión, que ayuden a contestar a la segunda. La caracterización incluye los principales contaminantes atmosféricos, sus fuentes, tiempo de vida en la atmósfera, su evolución física y química desde el momento de la emisión hasta su eliminación o acumulación, las características del transporte de los contaminantes atmosféricos desde las fuentes hasta los receptores, así como los efectos en el medio ambiente y la salud de la población. Respecto a las medidas de tratamiento de los contaminantes, se desarrolla desde el punto de vista de la prevención y control integrados de la contaminación.

Para cada actividad ABP propuesta, se presenta un cuadro inicial que incluye información sobre su carácter presencial o no presencial, tiempo estimado **orientativo**, si va a desarrollarse de forma *individual o en grupo* y cómo finalizará la actividad, indicando claramente que es una actividad *evaluable* en el caso de que lo sea. En todo caso, es de destacar que la profesora llevará un **control sobre el**



tiempo real necesario para realizar cada actividad, e incluso le solicitará a los alumnos que sean ellos quienes controlen ese tiempo y lo indiquen, en las actividades no presenciales.

También se detalla en este cuadro que precede a cada actividad ABP, la forma de trabajo de los alumnos que puede ser **individual** o **en grupos de tres personas**. Salvo que algún alumno manifieste algo en contra o se haya producido algún conflicto, se mantendrán los grupos de trabajo de tres personas que organizará la profesora en la primera sesión ABP de forma aleatoria. No obstante, se pedirá a los alumnos que intercambien los roles (portavoz, secretario,...) que vayan desempeñando a lo largo de los temas, de manera que cada uno de los alumnos trabaje sus habilidades cooperativas (comunicación, liderazgo, capacidad de decisión, gestión de conflictos).

En numerosas ocasiones se les pedirá a los alumnos que su grupo o miembros de su grupo, **interaccionen con otros grupos** dentro del aula. Además, las diferentes tareas de las actividades suelen finalizar con una **puesta en común**, que se suelen realizar con el grupo completo.

Actividad N°. TITULO.

PREGUNTA ESTRUCTURANTE DE LA ACTIVIDAD

Presencial/No presencial	Tiempo estimado: n° minutos
N° SESION	Individual/En grupos de 3 personas
Forma de finalizar las actividades indicando si serán evaluables o no	

Cuadro que precede a cada actividad en el cuaderno del estudiante

A continuación del cuadro que precede a cada actividad, se describe de manera narrativa cómo se llevará a cabo la actividad.

TEMA 1: CONCEPTOS Y ESCALAS EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

PREGUNTA ESTRUCTURANTE TEMA 1 ABP:

¿NOS ENFRENTAMOS A UN PROBLEMA LOCAL, URBANO O REGIONAL?

1) Actividad 1. Introducción.

¿ES BUENA LA CALIDAD DEL AIRE DE ZUMADIO?

Presencial
1ª SESION

Tiempo estimado: 30 minutos
En grupos de 3 personas

La actividad finaliza con una puesta en común.

A.1.1.- Leed el problema que se le plantea a Markel, un ingeniero químico que trabaja en el ayuntamiento de Zumadio, e identificar los elementos clave del mismo. Pensad en los conceptos que debéis conocer para resolverlo. A continuación, haremos una puesta en común de los elementos clave y las necesidades de aprendizaje identificados por todos los grupos.

PROBLEMA ESTRUCTURANTE

La asociación de vecinos "Erreka-Ortu" ha decidido entrevistarse con los representantes de la comisión Urbanística y de Medio Ambiente del ayuntamiento de Zumadio, un pueblo costero, enclavado en un valle con orografía compleja, para trasladarles la preocupación de la población por los olores desagradables que se vienen registrando en el pueblo los últimos días. Al parecer los vecinos han achacado estos malos olores a varias empresas ubicadas en la zona y a través de la asociación, le han planteado al ayuntamiento la necesidad de que se realice un estudio.

La asociación exige al ayuntamiento la realización de un inventario de las actividades de la zona susceptibles de generar malos olores, que no existe hasta el momento en la zona, así como un estudio de la calidad de aire que respiran, que asegure que no se está poniendo en peligro la salud de la población. Tras esta reunión, el ayuntamiento decide encargar un informe a su técnico municipal Markel Zárate, un Ingeniero Químico que lleva trabajando 3 años en el área de Urbanismo y Medio Ambiente del ayuntamiento de Zumadio.

Para ello, Markel tendrá que evaluar la calidad del aire en el pueblo y caracterizar los contaminantes presentes, para analizar los posibles efectos nocivos en el medio ambiente y en particular en la salud de la población de Zumadio. Además, tendrá que realizar un inventario actividades susceptibles de generar esos contaminantes, que permitan determinar los focos origen de esos malos olores y después tomar acciones legales para su control.

Vosotros, futuros Ingenieros Químicos, debéis plantearos cuales son los aspectos a analizar para emitir el informe.

2) Actividad 2. Contaminantes naturales y antropogénicos.

¿CUÁL ES EL ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS?

Presencial

1ª SESION

La tarea A.2.1 finaliza con una puesta en común.

La tarea A.2.2 será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

Tiempo estimado: 30 minutos

En grupos de 3 personas

Puesto que Markel tiene que caracterizar los contaminantes presentes en el aire de Zamudio, le conviene centrar ideas en torno a cuales son los principales contaminantes atmosféricos y qué sabe del origen de estos contaminantes atmosféricos.

A.2.1.- Proyección de un video correspondiente al movimiento de las cenizas volcánicas expulsadas por el volcán islandés Eyjafjallajökull, erupción sucedida en abril de 2010 y que causó el cierre del tráfico aéreo en gran parte de Europa.

1) ¿Creéis que las emisiones procedentes de fuentes naturales, como las emisiones volcánicas, deben ser consideradas contaminación atmosférica?

2) ¿Creéis que las emisiones de un volcán, como el islandés Eyjafjallajökull, podría afectar al aire que se respira en Zamudio?

3) ¿Cómo definiríais contaminación atmosférica?

A.2.2.- Análisis de información. Debeis completar las respuestas a las preguntas anteriormente planteadas, con la bibliografía que se pondrá a vuestra disposición. También os servirá para responder a una serie de nuevas preguntas.

1) ¿Qué fuentes naturales creéis que deben ser consideradas fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos?

2) ¿Cómo definiríais el término emisión?

3) ¿Cuáles son las actividades naturales y antropogénicas contempladas en los inventarios de emisión de contaminantes atmosféricos?

4) ¿Cuál es la relación de contaminantes atmosféricos que contempla la legislación?

3) Actividad 3. Contaminantes primarios y secundarios.

¿PUEDEN LOS CONTAMINANTES PRIMARIOS EXPLICAR TODOS LOS EFECTOS DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA?

Presencial

2ª SESION

La actividad finalizada será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

Tiempo estimado: 60 minutos

En grupos de 3 personas

Nuestro ingeniero químico Markel, decide recabar información sobre emisiones atmosféricas en el Sistema Español de Inventario, desarrollado según la metodología EMEP/CORINAIR-IPCC.

A.3.1.- Análisis de información y método del puzzle. Leed y analizad cada uno la información proporcionada en forma de fichas, con información actualizada sobre acidificadores, precursores del ozono y cantidad de éstos emitida a la atmósfera.

Puzzle. Disponéis de 10´ para que cada miembro del grupo realice una lectura individual de su ficha y hacer un pequeño esquema con la información relevante. En los siguientes 10´ cada miembro del grupo se reunirá con miembros de otro grupo, que tengan su mismo material, en una llamada reunión de expertos (al menos tres) y discutirá el material, elaborando un guión (esquema, gráfico, etc.) para explicar en 5´ el material a los compañeros del grupo original. A continuación se reunirá el grupo original y cada miembro presentará sus esquemas, para lo que se prevé un tiempo de 15´. Al finalizar la presentación de los esquemas, la profesora entregará un cuestionario a los alumnos, y cada uno, individualmente, lo responderá por escrito en 5 minutos. La profesora recogerá el cuestionario a tres alumnos seleccionados al azar y la nota de ese alumno será la de su grupo.

4) Actividad 4. Elementos en la contaminación del aire.

¿CÓMO SE MUEVE Y SE TRANSPORTA UN CONTAMINANTE EN LA ATMÓSFERA DESDE QUE SE EMITE HASTA QUE LLEGA AL RECEPTOR?

No Presencial
SESION MOODLE

Tiempo estimado: 150 minutos
En grupos de 3 personas

La actividad finalizada será recogida vía Moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

Markel ya tiene una idea bastante clara de los tres elementos fundamentales de todo problema de contaminación atmosférica: fuente-medio-receptor. Ahora quiere seguir recopilando información para caracterizar mejor estos tres elementos fundamentales.

A.4.1.- En la plataforma Moodle encontrareis información que debereis analizar para contestar a las cuestiones propuestas.

Una posible clasificación de las fuentes emisoras es la que distingue entre fuentes puntuales y superficiales, de acuerdo a la metodología EMEP/CORINAIR.

- 1) Poned algún ejemplo de fuente superficial.
- 2) ¿Cuáles son los criterios de identificación de grandes fuentes puntuales?
- 3) ¿Qué otros criterios de clasificación de fuentes se te ocurren?

Markel sabe que mientras se está produciendo el transporte de los contaminantes, éstos se ven sometidos a procesos de difusión, mezcla turbulenta y otros que se estudiarán posteriormente.

- 4) ¿Cuáles son los mecanismos de ventilación de una ciudad?



5) Explica donde y como se originan las brisas de mar y tierra y las de valle y montaña. ¿Cuál creéis que será la influencia de estas circulaciones cerradas en las concentraciones de contaminantes al nivel del suelo?

Un receptor es todo lo que puede experimentar un efecto adverso por exposición al aire contaminado.

6) ¿Cuáles consideráis importantes en materia de calidad de aire?

5) Actividad 5. Tiempo de vida atmosférico.

¿CUÁL ES EL TIEMPO DE RESIDENCIA DE UN CONTAMINANTE EN LA ATMÓSFERA?

Presencial
3ª SESION

Tiempo estimado: 30 minutos
Individual/Grupos de tres personas

La actividad finalizada será razonada por alumnos seleccionados.

Afortunadamente la mayoría de los contaminantes tienen un tiempo de residencia medio relativamente corto, lo cual evita su acumulación en la atmósfera. Un gas que no sigue este criterio es el dióxido de carbono (CO_2), que si bien en un principio no puede ser considerado como un contaminante, al presentar tiempos de residencia medios de varios años, tiene importantes efectos acumulativos que pueden influir en el clima global del planeta. Pero ahora a Merkel lo que le preocupa es no tener clara la diferencia entre los términos tiempo de vida medio y tiempo de residencia de un contaminante en la atmósfera.

A.5.1.- Exposición de contenidos teórico-prácticos relacionados con los conceptos de tiempo de vida y tiempo de residencia de un contaminante atmosférico. Individualmente, tomad las anotaciones necesarias para responder a las siguientes cuestiones:

- 1) Explicar como se calcula el tiempo de vida medio con reacciones de primer y segundo orden.
- 2) Explicar cómo se calcula el tiempo de residencia en la atmósfera.
- 3) Diferenciar los dos conceptos.

A.5.2.- Para finalizar la actividad, reunidos en grupos de tres personas, la profesora os proporcionará datos para que calculéis el tiempo de residencia de CH_4 , N_2O y NH_3 en la atmósfera e insertéis los resultados obtenidos en los huecos la tabla I. Se pedirá a tres alumnos seleccionados que analicen estos resultados oralmente y describan brevemente los datos que aparecen en dicha tabla.



Gas	Tiempo de residencia	Gas	Tiempo de residencia
N ₂	1.6 10 ⁷ a	Vapor de agua	≈ 10 d
He	10 ⁶ a	HCHO	5 -10 d
O ₂	3000-1000 a	SO ₂	1 d
CO ₂	3-4 a		2 - 10 d
	150 a	NO ₂	0.5 - 2 d
	9 a	NO	0.5 - 2 d
CFC-12 (CF ₂ Cl ₂)	> 80 a	HCl	4 d
CFC-11 (CFCl ₃)	≈ 80 a	H ₂ S	1-5 d
H ₂	4-8 a	H ₂ O ₂	1 d
CH ₃ Cl	2-3 a	CH ₃ SCH ₃	0.7 d
COS	≈ 2 a		
O ₃	100 d		
CS ₂	40 d		
CO	≈ 60 d		

Tabla I. Tiempos de residencia de algunos gases atmosféricos

6) Actividad 6. Escalas del problema de la contaminación del aire.

¿CÓMO SE RELACIONA EL TIEMPO DE RESIDENCIA DE UN CONTAMINANTE EN LA ATMÓSFERA Y SU DISTRIBUCIÓN ESPACIAL?

Presencial
3ª SESION

Tiempo estimado: 40 minutos
Grupos de tres personas

La tarea A.6.1 finaliza con una puesta en común.

La tarea A.6.2 será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

Como Markel debe evaluar la calidad del aire de Zamudio, debe establecer una de las principales características de cualquier problema de contaminación del aire, que es la escala espacial y temporal en la que se desarrolla.

A.6.1.- Interpretad los datos de la Figura 1, preparad un resumen oral (máx. 1 minuto) y tratad de contestar a la siguiente pregunta:

1) Si el tiempo de residencia de un contaminante es grande, ¿qué se puede decir sobre su distribución espacial? Pasado este tiempo, se hará una puesta en común con el resto de grupos.

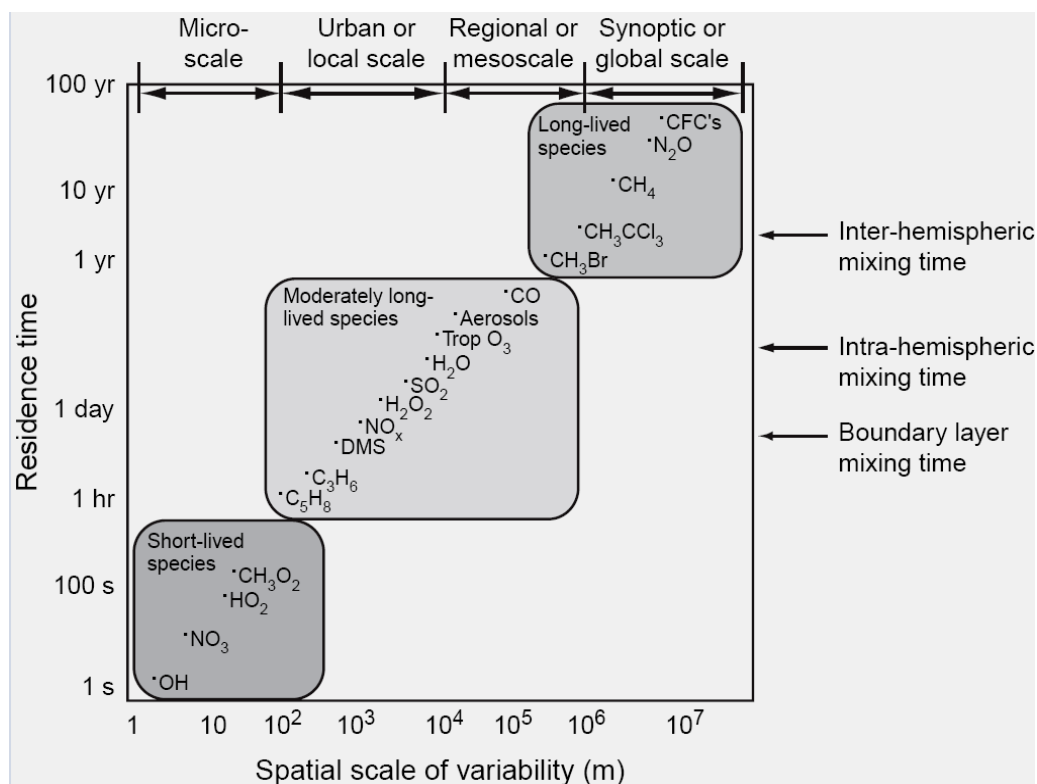


Figura 1. Relación entre tiempo de residencia y escala espacial afectada.

A.6.2.- Caso Práctico. Proyección de fotografías.

2) ¿Qué escala espacial y temporal relacionarías con cada una de las fotografías proyectadas? Basándoos en ellas, elegid un contaminante característico para describir: Su principal fuente (si la conocéis), el tiempo que tarda en llegar a los receptores, los posibles receptores, y el área horizontal y vertical afectadas, asociando a su vez a cada una a las siguientes escalas:

- Local.
- Urbana.
- Regional.
- Continental.
- Global.

3) ¿Con qué escala temporal y espacial relacionarías el estudio de Zamudio?

TEMA 2: LA ATMÓSFERA. CICLOS CARACTERÍSTICOS EN CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

PREGUNTA ESTRUCTURANTE TEMA 2 ABP:

¿QUÉ ZONA DE LA ATMÓSFERA ES DE ESPECIAL INTERÉS EN EL ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE DE ZUMADIO?

7) Actividad 7. La atmósfera: Estructura.

¿QUÉ ESTRUCTURA TIENE LA DELGADA MASA DE AIRE QUE RODEA LA TIERRA?

Presencial
3ª SESION

Tiempo estimado: 20 minutos
Individual/En grupos de 3 personas

La actividad finaliza con una puesta en común.

Junto a Markel, vamos a centrarnos en aquello que necesitamos saber de la atmósfera, y que en la actividad A.1. identificamos como necesidad de aprendizaje.

A.7.1.- Teniendo en cuenta la figura 2, en la que se distinguen distintas capas en la atmósfera, describid de forma individual, la estratificación vertical en capas de la masa de aire que rodea la tierra, tanto en lo que se refiere a la variación de la temperatura (eje x) como de la presión (eje y derecho) con la altura (eje y izquierdo).

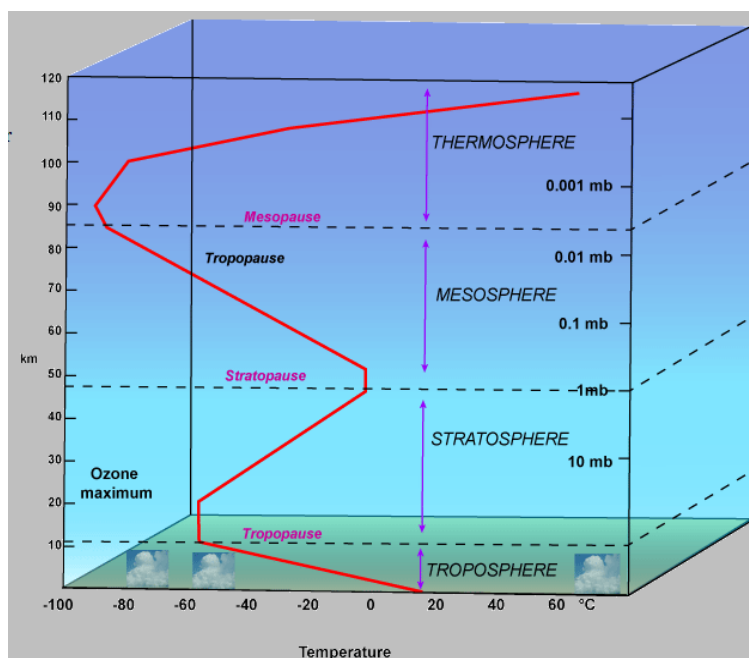


Figura 2. Estructura vertical de la atmósfera

A.7.2.- Reunidos en grupos de 3 personas, completad la descripción anterior, con información adicional de vuestros compañeros y discutir las siguientes cuestiones:

- 1) ¿Por qué aumenta la temperatura con la altura en la estratosfera?
- 2) En las capas más altas el nº de moléculas por unidad de volumen ¿será mayor o menor que en las capas más bajas?

Además disponeis de bibliografía que os ayudará a completar la descripción de la estructura de la atmósfera y las dos preguntas anteriores, y a contestar a estas cuatro nuevas preguntas:

- 3) ¿Cuál es la velocidad de disminución media de la temperatura con la altura en la troposfera?
- 4) ¿Qué porcentaje de la masa de la atmósfera se encuentra en la troposfera, comprimida por la acción de la gravedad?
- 5) ¿Por qué habitualmente la troposfera no tiene importantes intercambios de masa con la estratosfera?
- 6) ¿En qué capa de la atmósfera se dan la mayoría de los procesos meteorológicos, así como de dispersión, transformación química y deposición de contaminantes?

8) Actividad 8. La atmósfera: Composición.

¿CUÁL ES LA COMPOSICIÓN, EN ppm_v Y EN µg m⁻³, DE LO QUE PODRÍAMOS DENOMINAR AIRE TROPOSFÉRICO LIMPIO DE ZUMADIO?

Presencial/No presencial

Tiempo estimado: 30/60 minutos

3ª SESIÓN/Moodle

Individual

La tarea A8.1 finaliza con una puesta en común.

La tarea A8.2* es no presencial.

Markel quiere conocer la composición del aire limpio, o sea, el aire que cabría esperar si no hubiesen existido actividades humanas e industriales. Por supuesto sabe que no podemos conocer con absoluta certeza lo que es aire limpio, ya que en mayor o menor medida, el hombre a lo largo de toda la historia ha contaminado la atmósfera.

A.8.1.- Teniendo en cuenta las tablas II y III, contestad, de forma individual, a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuáles son los componentes mayoritarios del aire?
- 2) Transformad las distintas unidades de las tablas, esto es %, ppm_v, ppbv y pptv, en mL compuesto/mL aire.
- 3) calcular el peso molecular del aire.
- 4) ¿Sabrías transformar ppbv a microgramos/metro cúbico (µg m⁻³)? ¿necesitarías saber algún dato adicional para este cambio? Haced estos cálculos para CO, O₃ y SO₂.



Gas	Chemical formula	Fraction of volume of air occupied by the species ^a
Nitrogen	N ₂	78.084%
Oxygen	O ₂	20.946%
Argon	Ar	0.934%
Carbon dioxide	CO ₂	379 ppmv ^c
Neon	Ne	18.18 pptv
Helium	He	5.24 ppmv
Methane ^d	CH ₄	1.7 ppmv
Hydrogen	H ₂	0.56 ppmv
Nitrous oxide	N ₂ O	0.31 ppmv

Tabla II. Composición gaseosa de lo que podríamos denominar aire troposférico limpio (en base seca).

Gas	Chemical formula	Fraction of volume of air occupied by the species ^a
Carbon monoxide	CO	40-200 ppbv
Ozone	O ₃	10-100 ppbv
Nonmethane hydrocarbons (NMHC) ^b	—	5-20 ppbv
Halocarbons	—	3.8 ppbv
Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂	0.1-10 ppbv
Formaldehyde	HCHO	0.1-1 ppbv
Nitrogen species (NO + NO ₂ (= NO _x) + NO ₃ + N ₂ O ₅ + HNO ₃ + PAN)	NO _y	10 pptv-1 ppmv
Ammonia	NH ₃	10 pptv-1 ppbv
Sulfur dioxide	SO ₂	10 pptv-1 ppbv
Dimethyl sulfide (DMS)	CH ₃ SCH ₃	10-100 pptv
Hydrogen sulfide	H ₂ S	5-500 pptv
Carbon disulfide	CS ₂	1-300 pptv
Hydroxyl radical ^f	OH	0-0.4 pptv
Hydroperoxyl radical ^g	HO ₂	0-5 pptv

^a In addition to percentage by volume, the units used are parts per million by volume (ppmv), 10⁻⁶, parts per billion by volume (ppbv), 10⁻⁹, and parts per trillion by volume (pptv), 10⁻¹².

Tabla III. Rangos de valores promedio de concentración de algunos de los principales contaminantes atmosféricos, en zonas remotas (troposfera limpia) y en áreas contaminadas.

A.8.2.- En Moodle encontrareis material de lectura para preparar la siguiente sesión y una relación de 3 problemas. Escribid una pregunta cuya respuesta se encuentre en alguna parte de ese material y la llevadla a la siguiente sesión.

Respecto a los problemas, deberéis resolverlos de forma individual.

9) Actividad 9. La atmósfera: Balance energético. Efecto invernadero.

¿QUÉ CONSECUENCIAS TIENE LA INTERACCIÓN ENTRE LA ATMÓSFERA Y LAS RADIACIONES SOLAR Y TERRESTRE?

Presencial

4ª SESION

La tarea A9.1 finaliza con una puesta en común.

La A9.2 será evaluada en clase.

Tiempo estimado: 40 minutos

En grupos de tres personas

Ahora que Markel ya conoce algo más de la estructura y la composición de la atmósfera, está interesado en saber cómo interacciona con la radiación solar y en particular, el rango de longitudes de onda de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra, capaz de provocar las reacciones químicas que estudiaremos en el tema 4.

A.9.1.- En el material de lectura proporcionado a través de Moodle, teniais información acerca del espectro de radiación electromagnético, de la absorción y emisión por parte de moléculas gaseosas. En grupos de tres personas, realizad vuestra pregunta a los miembros de vuestro grupo y debatidlas.

La profesora tomará aleatoriamente preguntas de alguno de los grupos, y cualquier miembro del grupo implicado expondrá su respuesta en clase, y será capaz de aclarar cuestiones adicionales que en ese momento se puedan plantear.

A.9.2.- En grupos de tres personas, tomad las notas necesarias para participar en el debate de las siguientes cuestiones:

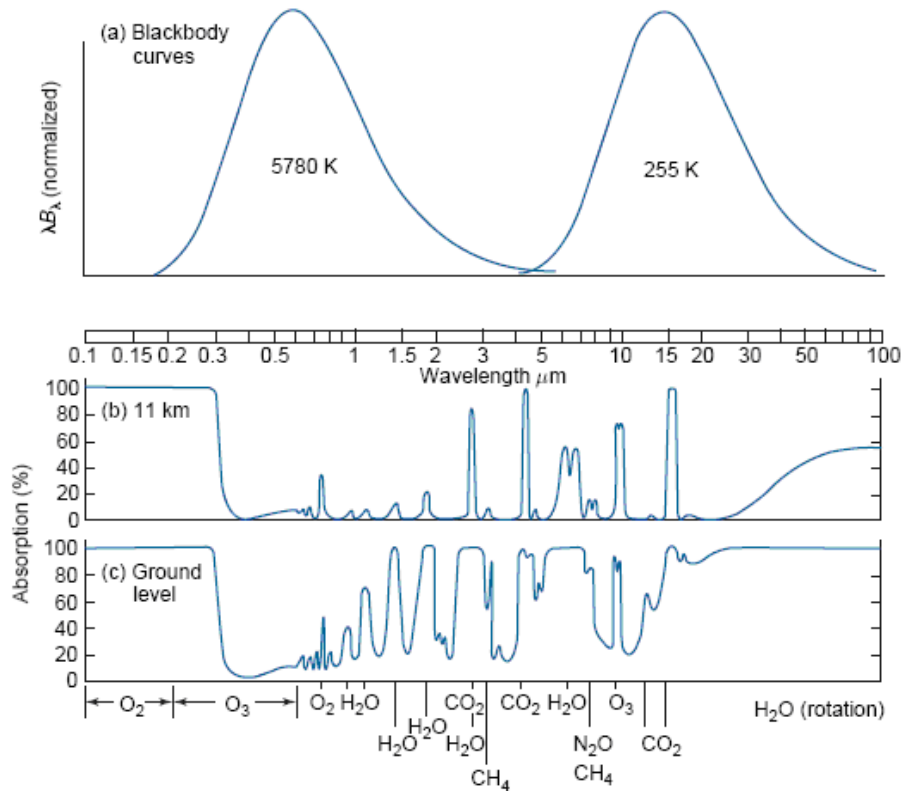


Figura 3.(a) Blackbody spectra representative of the sun (left) and the Earth (right). The wavelength scale is logarithmic rather than linear as in Fig. 4.6, and the ordinate has been multiplied by wavelength in order to retain the proportionality between areas under the curve and intensity. In addition, the intensity scales for the two curves have been scaled to make the areas under the two curves the same; (b) Spectrum of monochromatic absorptivity of the part of the atmosphere that lies above the 11-km level; (c) spectrum of monochromatic absorptivity of the entire atmosphere. [From R. M. Goody and Y. L. Yung, *Atmospheric Radiation: Theoretical Basis*, 2nd ed., Oxford University Press (1995), p. 4. By permission of Oxford University Press, Inc.]

- 1) La radiación solar pertenece a distintas zonas del espectro, desde el ultravioleta hasta el infrarrojo. La radiación entra en la Tierra fundamentalmente como onda corta (alta energía) y sale como onda larga (baja energía).
- 2) La atmósfera es prácticamente transparente a la radiación solar.
- 3) El ozono estratosférico absorbe eficazmente radiación solar inferior a 290 nm, mientras que el vapor de agua y el CO_2 absorben la mayor parte de la radiación, de onda larga, procedente de la tierra.
- 4) El aumento constante de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, durante el último siglo, parece ser el responsable de un aumento en la temperatura media de la atmósfera.
- 5) ¿Cuál es el rango de longitudes de onda de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra, capaz de provocar reacciones fotoquímicas?

10) Actividad 10. Ciclos característicos en contaminación atmosférica.

¿CUÁLES SON LAS VARIACIONES CÍCLICAS MÁS CARACTERÍSTICAS QUE EXPERIMENTAN LOS CONTAMINANTES EN LA TROPOSFERA?

Presencial/No presencial
4ª SESION/Moodle

Tiempo estimado: 25/30 minutos
Individual/En grupos de tres personas

La tarea A10.1 finaliza con una puesta en común.

La tarea A10.2 finalizada será recogida vía moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

Para el estudio de la calidad del aire de Zamudio y en general de cualquier zona, Markel sabe que es importante conocer las variaciones cíclicas que experimentan algunos de los contaminantes comunes. Junto a él vamos a estudiar los ciclos más característicos de contaminantes tanto primarios como secundarios y de diversos tiempos de residencia en la atmósfera.

A.10.1.- De manera individual, observad la figura adjunta, correspondiente al ciclo diario del monóxido de carbono, trazador típico de tráfico, registrado en el centro de una zona urbana próxima a la costa, similar a Zamudio:

- 1) ¿Por qué creéis que el CO presenta las mayores concentraciones a primeras horas de la mañana y últimas horas de la tarde-noche?
- 2) ¿Cuál creéis que es la razón de la disminución observada hacia el mediodía y primeras horas de la tarde?

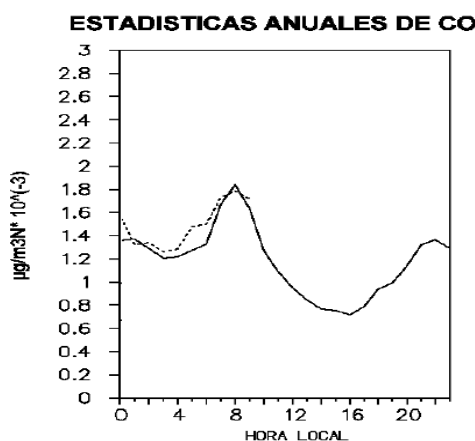


Figura 4. Ciclo diario característico del CO en áreas urbanas.

A.10.2.- Proyección-debate en el aula de las variaciones cíclicas que experimentan las concentraciones de algunos de los contaminantes más característicos en la atmósfera. Trabajad con vuestros grupos formales y enviad, vía moodle, las respuestas justificativas a las siguientes cuestiones:

- 1) Variación diaria-anual de COV en una estación urbana.
- 2) Variación diaria-estacional de ozono en una estación urbana.

3) Evolución de las concentraciones de CO₂ y tendencia a largo plazo observadas en la estación de Mauna Loa (Hawai).

11) Actividad 11. Revisión.

¿QUÉ ZONA DE LA ATMÓSFERA ES DE ESPECIAL INTERÉS EN EL ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE DE ZUMADIO?

No Presencial

Tiempo estimado: 60 minutos.

Moodle

Individual

La actividad finalizada será recogida para su evaluación.

A11.1.- Video. En el siguiente video de 7' de duración, veréis datos del aumento constante de las concentraciones de CO₂, CH₄, y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, incluso datos paleoclimáticos.

Finalizado el video, se os pide razonar las siguientes cuestiones:

- 1) ¿Por qué el CO₂, componente natural del aire, se considera un compuesto preocupante actualmente?.
- 2) ¿Cuáles son actualmente las concentraciones medias de CO₂ y CH₄ en la troposfera? ¿Cuáles eran en la época preindustrial?
- 3) ¿Cuál es la principal consecuencia sobre el clima del aumento de los gases de efecto invernadero?
- 4) Razona por qué el ozono troposférico es un contaminante atmosférico, mientras que el ozono estratosférico es totalmente necesario para la vida en la tierra.

A11.2.- Para finalizar el tema 2, contestareis el cuestionario Moodle y debéis razonar la pregunta con la que abríamos el tema 2, justificando la respuesta:

¿Qué zona de la atmósfera es de especial interés en el estudio de calidad del aire de Zumadio? ¿Por qué?

No olvidéis que disponéis de una actividad de autoevaluación de los temas 1 y 2.

TEMA 3: PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

PREGUNTA ESTRUCTURANTE TEMA 3 ABP:

¿QUÉ CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS TIENEN RELEVANCIA EN EL ESTUDIO DE ZUMADIO?

12) Actividad 12. Compuestos de nitrógeno.

¿SON LOS NO_x LOS ÚNICOS COMPUESTOS DE NITRÓGENO DE RELEVANCIA EN EL ESTUDIO DE ZUMADIO? ¿POR QUÉ?

Presencial
5ª SESION

Tiempo estimado: 30 minutos
Individual/En grupos de tres personas

La actividad finalizada será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

Markel sabe que la legislación en materia de calidad de aire contempla, entre los compuestos de nitrógeno, a los NO_x. Para seguir con el estudio de calidad de aire de Zumadio, Markel se plantea profundizar en el conocimiento de todas las especies de nitrógeno atmosféricas, para estudiar sus fuentes y sumideros, algunas de las transformaciones físicas y químicas que sufren en la atmósfera y relacionarlas con el tiempo de residencia en la atmósfera y muchos de los efectos observados en el medio ambiente.

A.12.1.- La figura adjunta corresponde a las principales fuentes y sumideros globales de compuestos de nitrógeno en la atmósfera. De manera individual, identificad los principales compuestos de nitrógeno en la atmósfera y clasificados como óxidos de nitrógeno o como compuestos de nitrógeno reducido. Podéis apoyaros también en las tablas con las que trabajamos en la actividad A.8.1.

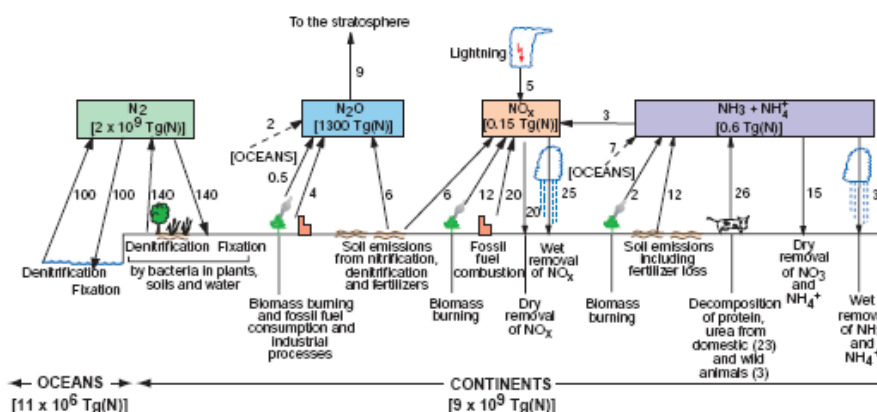


Figura 5. Principales fuentes y sumideros globales de compuestos de nitrógeno en la atmósfera.

Reunidos en grupos de 3 personas, identificad y cuantificad:

1) Las fuentes de cada uno de ellos, indicando la principal.

2) Los principales sumideros.

3) El tiempo de vida del N₂O a partir de los flujos globales en la atmósfera.

Elaborad un informe que contenga la siguiente información:

- Clasificación como óxido o compuesto de nitrógeno reducido.
- Fuente principal.
- Tiempo de residencia en la atmósfera.
- Clasificación como gas de efecto invernadero o acidificante o precursor de ozono, convencional, no convencional, etc.

13) Actividad 13. Compuestos de azufre.

ADEMÁS DEL SO₂ ¿QUÉ COMPUESTOS PARTICIPAN EN EL BALANCE DE AZUFRE EN EL ESTUDIO DE ZUMADIO?

Presencial
5ª SESION

Tiempo estimado: 30 minutos

Individual/En grupos de tres personas

La actividad finalizada será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

De igual manera que ha hecho con los compuestos de nitrógeno, Markel se plantea ahora a profundizar en el conocimiento de los compuestos de azufre. Markel sabe que la legislación en materia de calidad de aire contempla, entre los compuestos de azufre, al SO₂, pero no es el único compuesto de azufre en la atmósfera.

A.12.1.- La figura adjunta corresponde a las principales fuentes y sumideros globales de compuestos de azufre en la atmósfera. De manera individual, identificad los principales compuestos de azufre en la atmósfera y clasificados como óxidos de azufre o como compuestos de azufre reducido. Podéis apoyaros también en las tablas con las que trabajamos en la actividad A.8.1.

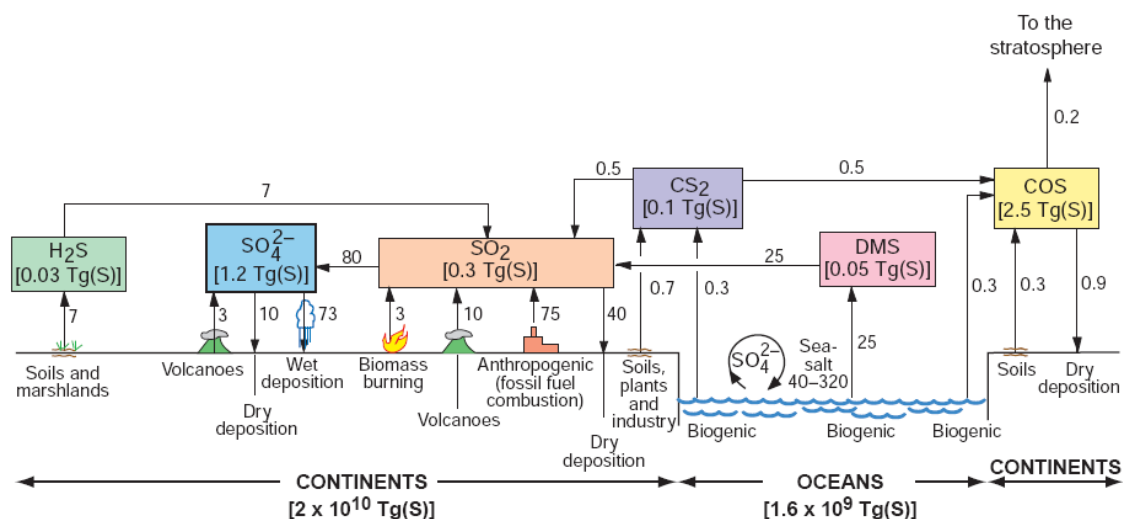


Figura 6. Principales fuentes y sumideros globales de compuestos de azufre en la atmósfera.

Reunidos en grupos de 3 personas, identificad y cuantificad:

- 1) Las fuentes de cada uno de ellos, indicando la principal.
- 2) Los principales sumideros.
- 3) Las conversiones de unas especies en otras, indicando si la conversión es fuente o sumidero.
- 4) El tiempo de vida del COS a partir de los flujos globales en la atmósfera.

Elaborad un informe que contenga la siguiente información:

- Clasificación como óxido, sulfato o compuesto de azufre reducido.
- Fuente principal.
- Tiempo de residencia en la atmósfera
- Clasificación como gas de efecto invernadero o acidificante o precursor de ozono, convencional, no convencional, etc.

14) Actividad 14. Compuestos de Carbono.

¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LOS COMPUESTOS DE CARBONO EN EL ESTUDIO DE ZUMADIO?

Presencial/no presencial

Tiempo estimado: 60/60 minutos

6ª SESION/Moodle

Individual/En grupos de tres personas

La tarea A.14.2 será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

La tarea A14.5 finalizada será recogida vía Moodle.

En el caso de los compuestos de carbono, ¿Cuáles creéis que son relevantes para el estudio de Zumadio? ¿Cuáles de ellos son óxidos?

A.14.1.- De forma individual, rellenad la siguiente tabla, relacionando las siguientes propiedades con alguno de ellos:

OXIDO DE CARBONO	PROPIEDAD
	Es un gas incoloro, inodoro, inflamable y tóxico.
	La concentración ambiental global ha aumentado desde 280 ppm en 1800 hasta unas 380 ppm en la actualidad.
	Es un gas incoloro, inodoro y no tóxico.
	Su acumulación en la atmósfera, a razón de casi 2 ppm _v año ⁻¹ parece que puede jugar un papel crítico en el clima de la tierra
	La principal fuente antropogénica es la combustión incompleta de carburantes fósiles.
	Absorbe radiación infrarroja, entre otras, en la banda de 12 a 18 micras (importante en el efecto invernadero).
	La principal vía de eliminación es la reacción con radicales •OH.
	Se emite principalmente por combustión de combustibles fósiles.
	Su concentración ambiental oscila entre 0.2 y 50 ppm _v (Promedio horario).

Tabla IV. Propiedades de los óxidos de carbono.

Verificar las respuestas con las de los miembros del grupo y completar la información referente a cada óxido, con información adicional de la bibliografía.

A.14.2.- Además de los óxidos, hay otros compuestos de carbono en la atmósfera. Elaborar un informe que contenga las características más relevantes a destacar de cada especie, algunas de las cuales ya se han estudiado en anteriores actividades y completadla con la bibliografía disponible para la actividad:

- Fuente principal.
- Tiempo de residencia en la atmósfera.
- Clasificación como gas de efecto invernadero o acidificante o precursor de ozono, convencional, no convencional, etc.

A.14.3.- En atmósferas urbanas, como la de Zumadio, la principal fuente de NMHC es el tráfico y emisiones fugitivas del transporte y distribución de combustibles (gasolinas, gasóleos y GLP). Las emisiones debidas al tráfico rodado son fundamentalmente de dos tipos: emisiones por el tubo de escape y pérdidas por evaporación.

- 1) ¿Cuáles son los compuestos más abundantes en las emisiones por el tubo de escape?.
- 2) ¿Cuáles son los compuestos más abundantes en las pérdidas por evaporación?.
- 3) ¿Creéis que esta "huella característica" de pérdidas por evaporación y de emisiones por el tubo de escape podría ayudar a la asignación de fuentes en Zumadio?.

A.14.4.- En esta actividad debatiremos la relación entre los tiempos de vida de los NMHC en la atmósfera y la principal vía de eliminación de los NMHC que, como estudiaremos más adelante en el tema 4, es su reacción con el radical $\bullet\text{OH}$.

En el gráfico adjunto podemos ver las constantes de velocidad con $\bullet\text{OH}$ (escala de ordenadas izquierda) y tiempos de vida troposféricos aproximados para los NMHC menos reactivos. El CO se incluye a efectos de comparación.

- 1) ¿Cuál es el alcano, alqueno y aromático con mayor tiempo de vida troposférico? ¿Cómo afecta esto a su distribución espacial?
- 2) ¿Qué relación tiene con sus constantes de velocidad con $\bullet\text{OH}$?
- 3) ¿Qué podéis decir de los butenos y los trimetilbencenos?
- 4) Los NMHC contribuyen de manera significativa a la formación de O_3 en el smog urbano y regional y su contribución suele comenzar precisamente con el ataque del $\bullet\text{OH}$ a los NMHC. ¿Qué NMHC contribuirán más a la formación de ozono?.
- 5) Si llegara a Zumadio una masa de aire envejecida y con abundante ozono ¿Cuáles creéis que serían los NMHC más abundantes en esa masa?.

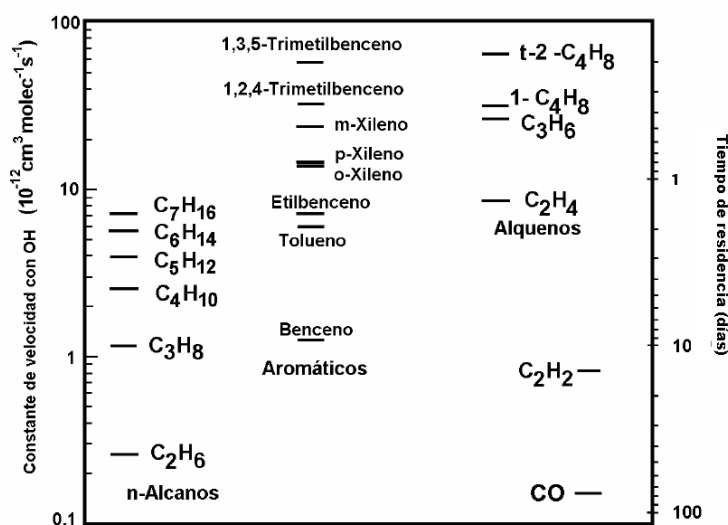


Figura 7. Constantes de velocidad (escala de ordenadas izquierda) y tiempos de vida troposféricos aproximados para los NMHC menos reactivos. El CO se incluye a efectos de comparación.

A.14.5.- Tenéis a vuestra disposición en Moodle, tres cuestionarios, relativas a las actividades A12, A13 y A14, que hemos trabajado en el aula.

15) Actividad 15. El aerosol atmosférico.

¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS AEROSOL ATMOSFÉRICOS RECOGIDOS EN EL AIRE AMBIENTE DE ZUMADIO?

Presencial

Tiempo estimado: 60 minutos

6ª SESION

Individual/En grupos de tres personas

La tarea A.15.2 finalizada será evaluada en el aula.

Markel sabe que en el aire además de gases existe materia en forma de partículas. Como existen diversas clasificaciones de aerosoles, Markel decide profundizar en ellas.

A.15.1.- Proyección de microfotografías. Describid, de forma individual, la forma y tamaño de los aerosoles de las microfotografías. A continuación, reunidos en grupos de 3 personas, discutid las siguientes cuestiones que pondremos en común:

- 1) ¿Cuál es el rango de tamaños de las partículas primarias naturales?
- 2) ¿Cuál es el rango de tamaños del hollín "soot" de vehículos diesel?

A.15.2.- Atendiendo a los mecanismos de formación, los aerosoles pueden ser primarios o secundarios:

- 1) ¿Qué se entiende por partículas primarias?
- 2) ¿y secundarias?
- 3) Según esta clasificación, en la tarea anterior ¿Con qué tipo de partículas hemos trabajado?

Teniendo en cuenta esta nueva clasificación y los datos de contribución estimada a la materia particulada atmosférica global, contestad a las siguientes preguntas. A continuación, haremos una puesta en común:

4) Las partículas presentes en la atmósfera, ¿proceden en un elevado porcentaje de fuentes naturales?.

5) ¿Cuáles son las fuentes naturales que más contribuyen a la materia particulada en la atmósfera?

6) ¿Cuáles son las fuentes antropogénicas que más contribuyen a la materia particulada en la atmósfera?

7) Si las eficacias de depuración de partículas en las emisiones antropogénicas industriales fuesen del 100%, ¿seguiría habiendo partículas de origen industrial en la atmósfera?

Para finalizar, debéis reunir toda la información en una tabla resumen, incluyendo el rango de tamaños más característico y la composición. Se pedirá a algunos alumnos seleccionados al azar que expongan oralmente esta clasificación.

A.15.3.- Vídeo. Veremos 8' de una conferencia en la que uno de los mayores expertos en aerosoles, nos ayudará a interpretar el filtro de una muestra de partículas como la que podríamos recoger en Zamudio.

1) ¿Qué encontraríamos en el análisis de un filtro de una muestra de partículas tomada en el aire ambiente de Zamudio?

A.15.4.- Exposición de otras clasificaciones de partículas, y conceptos como eficiencia de corte y diámetros equivalentes. Tomad los apuntes necesarios y aseguraos de que al finalizar la exposición sois capaces de contestar a las siguientes preguntas:

1) ¿Qué rango de tamaño de aerosoles atmosféricos actúan como CCN (Cloud Condensation Nuclei)?

2) ¿Qué rango de tamaño presentan las partículas de origen fotoquímico?

3) ¿Cuáles tienen tiempos de residencia de días o semanas en la atmósfera? ¿Por qué?

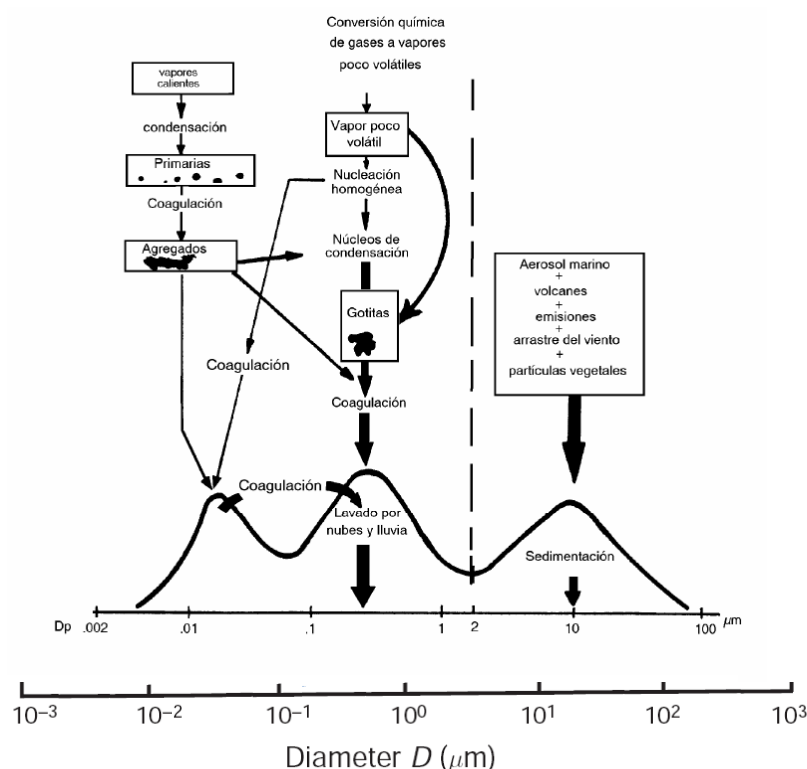
4) ¿Qué procesos pueden experimentar las partículas en la atmósfera?

5) ¿Están las PM_{2,5} incluidas entre las PM₁₀? ¿Cuáles viajan más lejos?

6) ¿Cuál es la diferencia entre las eficacias ideal y real de corte en medidas de concentración de PM₁₀?

7) ¿Por qué el diámetro de corte se define a eficacias reales del 50%?

8) ¿Cuál es el diámetro equivalente empleado en la medida de PM₁₀ y PM_{2,5}? ¿Por qué?



Designation	Aitken nuclei	Large particles	Giant particles
Sources	<ul style="list-style-type: none"> Combustion Gas-to-particle conversions 	<ul style="list-style-type: none"> Fly ash, sea-salt, pollens Coagulation of Aitken nuclei Cloud droplet evaporation 	<ul style="list-style-type: none"> Windblown dusts Giant particles from industries
Sinks	<ul style="list-style-type: none"> Coagulation Capture by cloud particles 		<ul style="list-style-type: none"> Precipitation scavenging Dry fallout
Residence time	Less than an hour in polluted air or in clouds	Days to weeks	Hours to days

Figura 8. Distribución trimodal típica de las partículas atmosféricas.

16) Actividad 16. Legislación: calidad del aire.

¿SE ESTÁN SUPERANDO LOS LÍMITES QUE MARCA LA LEGISLACIÓN EN MATERIA DE CALIDAD DE AIRE EN ZUMADIO?

No presencial

Moodle

La actividad finalizada será recogida vía Moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

Tiempo estimado: 90 minutos

En grupos de tres personas

A.16.1.- En esta actividad consultareis datos de calidad del aire reales, que se están midiendo en una de las estaciones de la red de vigilancia y calidad del aire de la CAPV. Elegiréis una estación con una ubicación costera, similar a la de Zumadio, y

verificareis si se están cumpliendo los valores límite, valores objetivo, y umbrales que marca la legislación, como tendréis que hacer en el estudio de Zamudio.

- 1) Comenzareis por definir, tal como lo hace la legislación, los siguientes términos: valor límite, margen de tolerancia, valor objetivo, umbral de alerta, umbral de información, PM10, PM2,5.
- 2) A continuación buscareis esos valores para la protección de la salud humana.
- 3) Algunos contaminantes tienen límites horarios, diarios o incluso anuales. Tomareis datos reales de la estación similar a Zamudio y verificareis si se está cumpliendo la legislación.

A.16.2.- Clasificad los contaminantes que contempla el Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire en alguno de los siguientes bloques: acidificadores, precursores del ozono y gases de efecto invernadero, metales pesados y partículas y contaminantes orgánicos persistentes.

A.16.3.- Finalmente, utilizareis la guía de calidad del aire de la OMS relativa al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, que podéis encontrar en el siguiente enlace:

http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

Debeis recopilar las pruebas sobre los efectos en la salud de los mencionados contaminantes, que aparecen en la guía de calidad del aire de la OMS.

Se abrirá un foro en MOODLE para que compartáis o discutáis las diferentes tareas de la actividad.

17) Actividad 17. Contaminantes microtóxicos y olores.

¿QUÉ SABEMOS DE LOS CONTAMINANTES NO CONVENCIONALES COMO LOS MICROTÓXICOS Y LOS OLORES?

Presencial/No presencial

Tiempo estimado: 30/45 minutos

7ª SESION/Moodle

En grupos de tres personas

La tarea A.17.1 será recogida vía Moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

La actividad finaliza con una puesta en común.

Un aspecto muy importante que debeis tener en cuenta en el estudio, es si determinados contaminantes representan un riesgo potencial para la salud, en los niveles que habitualmente existen en la atmósfera, ya que algunos de estos compuestos son tóxicos, mutagénicos y/o cancerígenos.

A.17.1.- En Moodle disponeis de información de estrategias de control del riesgo establecidas por diferentes organismos: Guía sobre calidad del aire para Europa de la

Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección del Medio Ambiente americana (USEPA), y Sistema de Información de Riesgos (IRIS) de la USEPA.

Buscad los datos de la evaluación del riesgo para la salud que hace Organización Mundial de la Salud, para seis de los compuestos con mayor estimación de riesgo: 1,3-butadieno, formaldehído, benceno, tricloroetileno, tetracloroetileno y diclorometano. Comparadlos con datos americanos de la USEPA.

A.17.2.-Análisis de información. Para determinar los umbrales de olor se seleccionan paneles de olor y los resultados que se presentan como umbrales son las concentraciones para los que todos (ED100), la mitad (ED50) o ninguno (ED0) de los componentes del panel reconocen el olor de que se trata. El umbral más comúnmente utilizado es el ED50.

Analizad la tabla con datos umbrales de olor para diversos compuestos, y clasificad por familias los 10 compuestos con menor umbral de reconocimiento de olor. Finalmente debatid las tres preguntas siguientes:

- 1) Para tomar medidas de control en fuente, ¿Qué consecuencias creéis que puede tener ese umbral tan bajo de reconocimiento de olor?
- 2) Teniendo en cuenta que la sensación de intensidad de olor varía logarítmicamente con la concentración del compuesto oloroso, y se puede expresar mediante la ecuación: $I = K \log C$ (donde I es la intensidad del olor, K una constante y C la concentración), ¿Qué implicaciones puede tener en la intensidad de olor, disminuir 100 veces la concentración?
- 3) ¿Qué métodos de control de olores en fuente son los más utilizados?.

TEMA 4: EVOLUCIÓN QUÍMICA DE LOS CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA

PREGUNTA ESTRUCTURANTE TEMA 4 ABP:

¿PUEDEN LOS CONTAMINANTES PRIMARIOS EXPLICAR TODOS LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DE AIRE?

18) Actividad 18. Reacciones fotoquímicas en la atmósfera.

¿QUÉ REACCIONES FOTOQUÍMICAS PUEDEN SUCEDER EN EL AIRE AMBIENTE DE ZUMADIO?

Presencial

Tiempo estimado: 50 minutos

7ª SESION

Individual/En grupos de tres personas

La actividad finalizada será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

A.18.1.- En la actividad A.9, trabajamos con la principal fuente de energía de reacción en la atmósfera es la radiación solar, con energía suficiente, para provocar diversos procesos fotoquímicos. Reflexionad de forma individual a cerca de:

- 1) ¿Cuál es el rango de longitudes de onda de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra, capaz de provocar reacciones fotoquímicas?
- 2) ¿Es lo mismo reacción fotoquímica que fotodisociación o fotólisis?

Puzzle. Disponéis de 10' para que cada miembro del grupo realice una lectura individual de su ficha, con distinta información sobre fotoquímica atmosférica, y hacer un pequeño esquema con la información relevante. En los siguientes 10' cada miembro del grupo se reunirá con miembros de otro grupo, que tengan su mismo material, en una llamada reunión de expertos (al menos tres) y discutirá el material, elaborando un guión (esquema, gráfico, etc.) para explicar en 5' el material a los compañeros del grupo original. A continuación se reunirá el grupo original y cada miembro presentará sus esquemas, para lo que se prevé un tiempo de 15'.

Al finalizar la presentación de los esquemas, la profesora entregará un cuestionario a los alumnos, y cada uno, individualmente, lo responderá por escrito en 5 minutos. La profesora recogerá el cuestionario a tres alumnos seleccionados al azar y la nota de ese alumno será la de su grupo.

19) Actividad 19. Química de los radicales en la atmósfera.

¿QUÉ ESPECIES RADICALES MUEVEN LA QUÍMICA DIURNA Y NOCTURNA EN EL AIRE AMBIENTE DE ZUMADIO?

Presencial

Tiempo estimado: 35 minutos

8ª SESION

En grupos de tres personas

La tarea A19.2 finalizada será recogida a alumnos seleccionados para su evaluación.

A.19.1.- En esta actividad vamos a identificar las especies radicales que se forman en las principales reacciones de fotodisociación en la baja atmósfera.

1) ¿Sabéis cómo se denomina cada una de las especies radicales que habéis identificado?

A.19.2.- Análisis de información. Realizad un informe sobre las reacciones de fotodisociación de O_3 , NO_2 y radical nitrato $NO_3\bullet$ que incluya respuestas debidamente razonadas a las siguientes cuestiones:

1) ¿Cuál es la principal fuente de radicales $\bullet OH$ en la troposfera? ¿Afecta la humedad a esta fuente?

2) El radical $\bullet OH$, es extremadamente reactivo y capaz de oxidar casi todos los compuestos químicos. Por eso al $\bullet OH$ se le llama "el detergente de la atmósfera". Teniendo en cuenta la figura 9 ¿Cuáles son los productos de oxidación vía radical $\bullet OH$ de SO_2 , SH_2 , NO_2 , hidrocarburos y CO ?

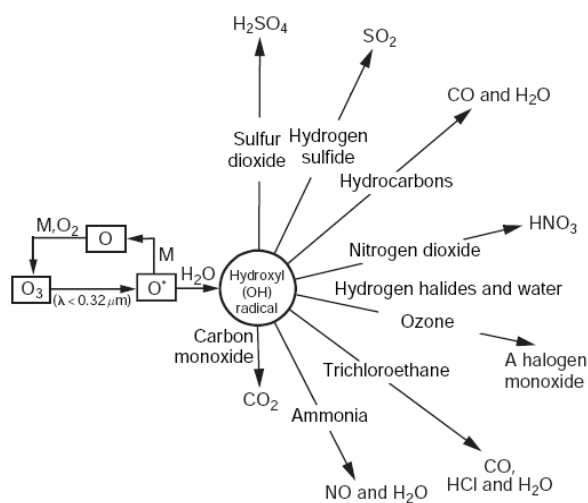


Figura 9. Principales reacciones del radical $\bullet OH$

3) ¿Qué otras reacciones de fotodisociación son también fuente de radicales $\bullet OH$? ¿Qué fuentes predominan a primeras horas, media mañana y mediodía, en áreas urbanas?

4) ¿Cuál es la especie oxidante más reactiva de la troposfera durante la noche? ¿Por qué no es el radical $\bullet OH$?

5) La fotodisociación del NO_2 no es una fuente de radicales $\bullet OH$, pero abre la vía a la única fuente antropogénica de formación de ozono. En términos de formación-destrucción de ozono ¿Cuál es el papel del NO_2 en este ciclo?

20) Actividad 20. Transformaciones de los óxidos de nitrógeno. Reacciones homogéneas en fase gas.

¿CÓMO SE FORMAN EL OZONO Y EL ACIDO NÍTRICO DETECTADOS EN EL AIRE AMBIENTE DE ZUMADIO?

Presencial
8ª SESION

Tiempo estimado: 30 minutos
En grupos de tres personas

Las tareas finalizan con una puesta en común y una de ellas, la A20.2, será evaluada.

A.20.1.- En base a los conocimientos adquiridos, discutid las siguientes cuestiones:

- 1) ¿Cómo se forma el ozono en la troposfera?
- 2) ¿Cuál es la importancia de los radicales en la formación de ozono?

Reunidos en grupos de tres personas, rellenad el siguiente cuestionario 1, apoyándoos en los gráficos adjuntos y contestar a la pregunta final propuesta. Al finalizar, haremos una puesta en común:

Ejemplo: Cuestionario 1

La fotodisociación del por la luz solar inicia el proceso en el que se **genera ozono**. Este es un proceso cíclico que se cierra en ausencia de COV, ya que **el ozono se consume** oxidandoa y por eso no conduce a una producción neta de ozono (figura 10.a).

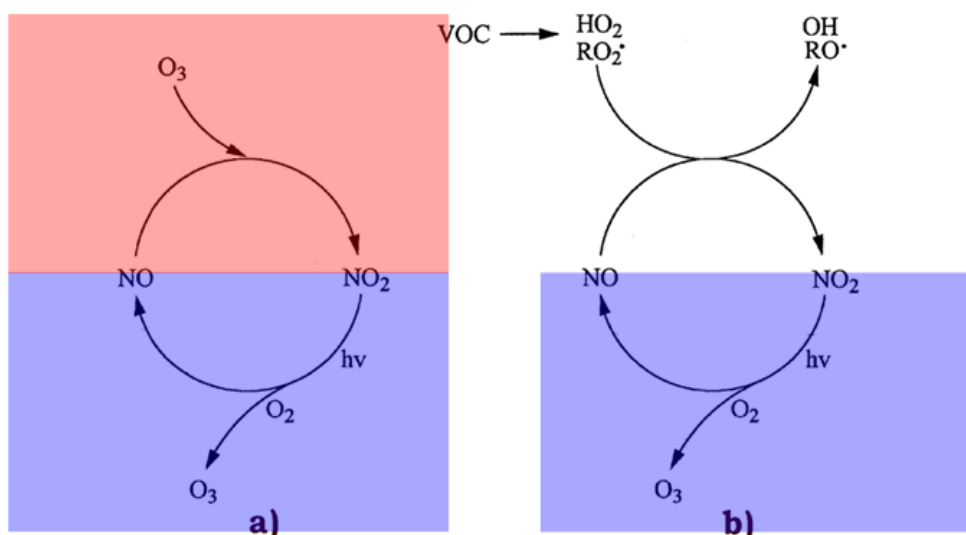


Figura 10. Esquemas de conversión de NO a NO₂ y formación de ozono: a) en ausencia de COV y b) en presencia de COV (Atkinson, 2000).

¿Qué pasaría si NO se oxidara a NO₂ por otras vías? (figura 10.b)

A.20.2.- Análisis de documento técnico. Disponéis del mecanismo simplificado de formación de ozono. Reunidos en grupos de tres personas, analizadlo, contestad al cuestionario 2, y razonad las preguntas finales propuestas:

- 1) Nombra algunos de los radicales más importantes implicados en la producción neta de ozono, ¿Qué especies forman los llamados HOx?
- 2) ¿Por qué es importante la radiación solar en la formación de ozono?
- 3) La producción neta de ozono, ¿esta favorecida por la presencia de COV?

21) Actividad 21. Transformaciones de los óxidos de azufre. Reacciones heterogéneas en fase acuosa. Conversión gas-partícula.

¿ES POSIBLE LA EXISTENCIA DE AEROSOLES SECUNDARIOS EN EL AMBIENTE DE ZUMADIO? ¿CÓMO SE CONVIERTE UN GAS EN PARTÍCULA?

Presencial/No presencial

Tiempo estimado: 35/40 minutos

9ª SESION/Moodle

Individual/En grupos de tres personas

Las tareas A21.1 y A21.2 finalizan con una puesta en común.

La tarea A.21.3 será recogida vía Moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

A.21.1.- En base a lo trabajado hasta ahora, reflexionad de forma individual:

- 1) ¿Cuál es la principal vía de transformación homogénea en fase gas de H_2S a SO_2 y de SO_2 a SO_4^{2-} ?
- 2) ¿Serían posibles estas reacciones por la noche? ¿Por qué?

A.21.2.- Existen importantes evidencias de la conversión de SO_2 a sulfato durante la noche, y durante los meses de invierno, que revelan la existencia de mecanismos de oxidación del SO_2 no gaseosos. Reunidos en grupos de tres personas, y utilizando los recurso de bibliografía disponibles en el aula, contestad a las preguntas propuestas:

- 1) ¿Cuáles son las tres especies de azufre en equilibrio tras la disolución del SO_2 en agua? ¿Cuál es el estado de oxidación de todas ellas?
- 2) ¿Cuáles son los oxidantes presentes en las gotas de agua capaces de oxidar estas especies a sulfatos?
- 3) Tras la oxidación del SO_2 en fase acuosa ¿Cual es el estado de oxidación del azufre en el sulfato?
- 4) ¿Qué especie oxidante predomina en un amplio rango de pH?
- 5) Teniendo en cuenta las bajas concentraciones de esa especie en la troposfera, ¿Qué especie puede acabar predominando en la oxidación del SO_2 en fase acuosa?
- 6) Describid con vuestras propias palabras el mecanismo heterogéneo en fase acuosa de oxidación del SO_2 y las especies oxidantes implicadas. ¿Es la única vía de oxidación de SO_2 a H_2SO_4 ?

A.21.3.- A estas alturas Markel ya tiene claro cuales son las vías de oxidación de SO_2 y NO_2 en el aire ambiente, para formar los vapores de los ácidos nítrico y sulfúrico. Pero todavía no sabe cómo es posible que estos vapores ácidos se conviertan en su mayor parte en aerosoles secundarios en el aire ambiente.

En esta tarea trabajaréis con vuestro grupo, fuera del aula, en la conversión gas-partícula y la formación de aerosoles secundarios.

- 1) Describid la conversión gas-partícula de los vapores de sulfúrico apoyandoos en la figura 11, donde aparecen las dos vías principales de conversión.

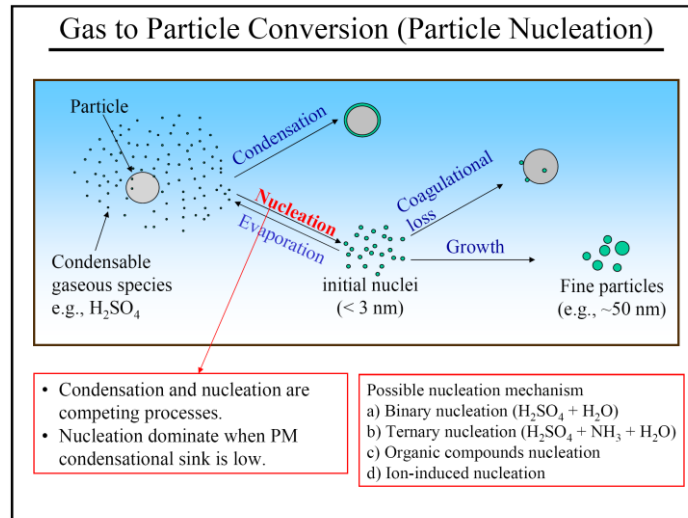


Figura 11. Conversión gas-partícula del H_2SO_4 .

2) Por su parte el HNO_3 (g) es muy volátil y puede encontrarse en fase gas a concentraciones significativas. En presencia de NH_3 da lugar a un equilibrio ¿Cuál es la forma neutralizada de HNO_3 ?

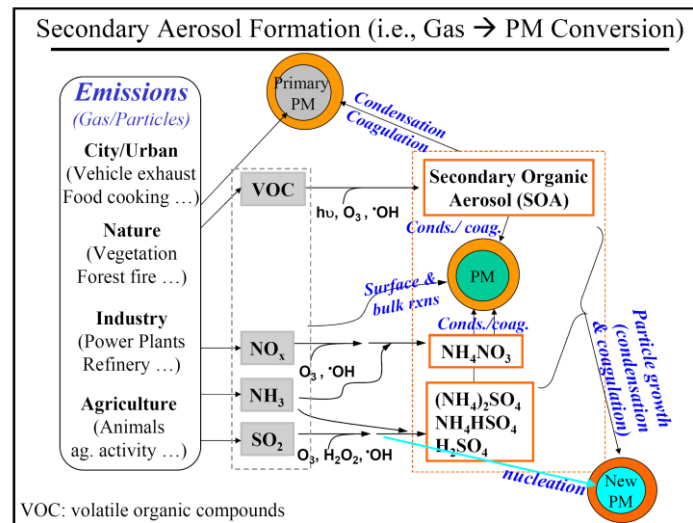


Figura 12. Conversiones gas-partícula. Formación de aerosoles secundarios.

3) Puesto que la existencia de los aerosoles de sulfúrico H_2SO_4 (aq) solo es posible cuando las concentraciones de amonio atmosférico son muy bajas o no existen. ¿Cuáles creéis que son las formas neutralizadas de H_2SO_4 en presencia de NH_3 ?

Para finalizar la tarea contestad a las dos siguientes preguntas y preparad un resumen de no más de 90 palabras, en el describáis la formación de aerosoles secundarios como consecuencia de las conversiones gas-partícula de los gases acidificantes NO_x , SO_x y NH_3 .

4) Los vapores de los ácidos nítrico y sulfúrico son productos de oxidación ¿De qué dos contaminantes primarios?

5) Estos vapores se convierten en su mayor parte en aerosoles secundarios. ¿Cuáles son los principales componentes de los aerosoles secundarios?

22) Actividad 22. Revisión.

¿PUEDEN LOS CONTAMINANTES PRIMARIOS EXPLICAR TODOS LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DE AIRE?

No presencial

Moodle

La actividad finalizada será recogida vía Moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

Tiempo estimado: 90 minutos

En grupos de tres personas

A.22.1.- Volvemos a la pregunta estructurante con la que abrimos el tema 4. Razona tu respuesta con un máximo de 150 palabras:

¿Pueden los contaminantes primarios explicar todos los problemas de calidad de aire?
¿Por qué?

A.22.2.- Teniendo en cuenta la figura adjunta y lo aprendido hasta ahora, razona por qué el ozono troposférico es un contaminante atmosférico, mientras que el ozono estratosférico es totalmente necesario para la vida en la tierra.

1) ¿Cuáles son los principales efectos de altas concentraciones de ozono troposférico sobre la salud de las personas y sobre la vegetación?

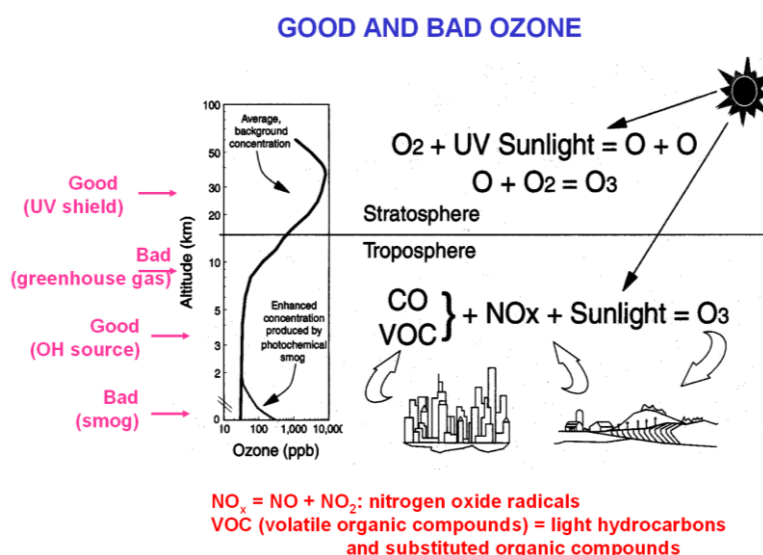


Figura 13. Ozono troposférico y ozono estratosférico.

A.22.3.- Junto a Markel hemos estudiado las principales reacciones en las que se ven implicados los NO_x en la atmósfera. Las emisiones de NO_x a la atmósfera, regresan a

la superficie directa o indirectamente, después de participar como precursores de ozono y/o de haber sufrido una transformación química. ¿Mediante qué vía transcurre la oxidación de NO_2 a HNO_3 ?

Describid con vuestras propias palabras las principales transformaciones de los NO_x en la troposfera.

A22.4.- Finalmente, para repasar los temas 3 y 4, debéis resolver estos tres problemas.

1) Por una chimenea sale un caudal de gases de $930 \text{ m}^3 \text{N h}^{-1}$. Dicha instalación utiliza como combustible $20.000 \text{ m}^3 \text{N día}^{-1}$ de un gas natural cuya densidad, en CN, es $0,75 \text{ g L}^{-1}$. Si el factor de emisión para los óxidos de nitrógeno es de $3 \text{ kg NO}_x \text{ t}^{-1}$ combustible, calcular las concentraciones de NO y NO_2 , en ppm_v (en volumen), sabiendo que el NO representa el 90 % (en peso) de los NO_x generados.

2) Dentro de un garaje cerrado de 7 m de largo, 4 m de ancho y 2,5 m de altura, que se encuentra a 1 atm de presión y $22 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura, permanece un coche con el motor encendido durante dos horas.

- ¿Cuál será la concentración en mg m^{-3} de monóxido de carbono en el garaje al cabo de dos horas, si la concentración de este compuesto en los gases de escape es de $8,5 \text{ g m}^{-3}$ y el motor del coche al ralentí emite $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de gases de escape?
- En dichas condiciones, ¿qué tiempo será necesario para alcanzar una concentración de 1500 ppm_v (en volumen) de CO ?
- Si el CO se genera por combustión de gasolina (C_8H_8), ¿qué volumen de gasolina será necesario quemar para alcanzar una concentración de 1000 ppm_v en la habitación?. Suponer que únicamente se forma CO y agua en la combustión.

Datos: densidad de la gasolina a $22 \text{ }^\circ\text{C} = 0,68 \text{ g cm}^{-3}$.

3) En un estudio en una cámara de reacción de atmósfera controlada, se miden las concentraciones NO_2 (g) y se observa que disminuyen de 5 ppm_v a 2 ppm_v en cuatro minutos, con una intensidad de luz específica. a) Suponiendo que la única vía de eliminación del NO_2 es su fotodisociación ¿cuál es la constante de velocidad de dicho proceso?. b) ¿Cuál es el tiempo de vida medio del NO_2 durante dicho estudio?

No olvidéis que tenéis a vuestra disposición una actividad de autoevaluación de los temas 3 y 4.



TEMA 5: DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA

PREGUNTA ESTRUCTURANTE TEMA 5 ABP:

¿EN QUÉ SITUACIONES ATMOSFÉRICAS SE INHIBE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES?

23) Actividad 23. Dispersión de contaminantes. Capa Límite Atmosférica.

¿DEPENDEN LA CALIDAD DEL AIRE DE LA DINÁMICA DE LA ATMÓSFERA?

Presencial
9ª SESION

Tiempo estimado: 45 minutos
Individual/En grupos de tres personas

La actividad finaliza con una puesta en común.

A23.1.- Cuando nuestro ingeniero químico Markel comenzó a plantearse el estudio de la contaminación atmosférica de Zamudio, sabía que se enfrentaba a un tema complejo puesto que los contaminantes son vertidos a la atmósfera, un fluido móvil, no confinado y de comportamiento aleatorio, que tiene su propia dinámica. Nada más salir de la fuente de emisión, los gases y contaminantes emitidos se mezclan con el aire circundante. Reflexionad en grupo acerca de las siguientes cuestiones:

- 1) En general, ¿Los gases emitidos serán más o menos densos que el aire circundante?
- 2) ¿Cuáles creéis que son los factores que originan inicialmente la mezcla?
- 3) Pasada esta etapa inicial, ¿Cual creéis que es el mecanismo que asegura la dilución posterior de los gases emitidos?
- 4) El movimiento del aire en la atmósfera, ¿Puede tener sentido horizontal y/o vertical?
- 5) Asociad cada una de las imágenes bien a "resistencia al movimiento del aire ofrecida por una superficie" o bien a "movimientos de origen térmico de corrientes de aire".

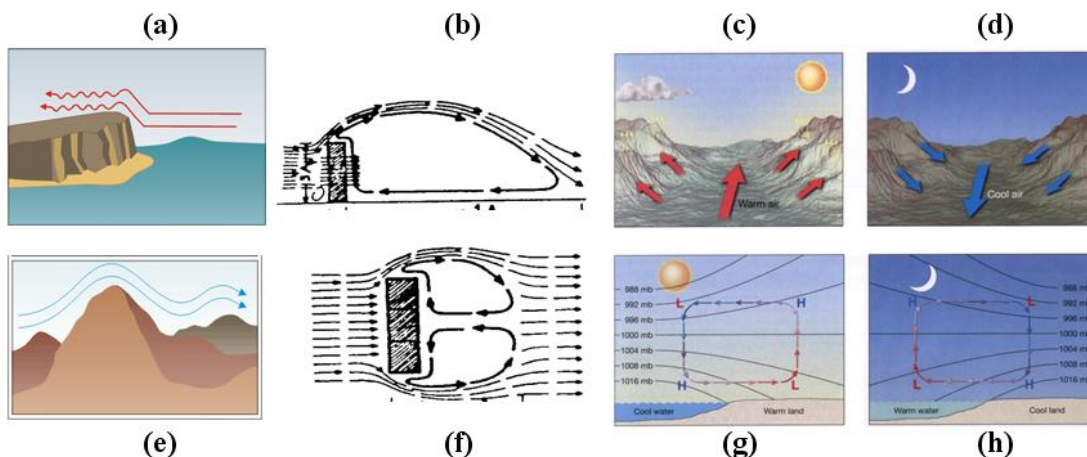


Figura 14. Movimientos de las corrientes de aire.

A23.2.- Exposición de perfiles que se utilizan como indicador de la condición de la atmósfera para la dispersión de contaminantes y la evolución de la Capa Límite Atmosférica. Tomad las notas necesarias para participar en el debate de las siguientes cuestiones:

- 1) ¿Qué diferencia hay entre Capa Límite Superficial y Capa Límite Atmosférica?
- 2) ¿Cómo evoluciona la Capa Límite Atmosférica a lo largo del día? ¿Cuál es su espesor promedio?
- 3) ¿En qué condiciones el espesor de la Capa Límite Atmosférica es mínimo?
- 4) ¿Cuáles son las tres categorías principales de estabilidad atmosférica en función del gradiente vertical de temperatura?

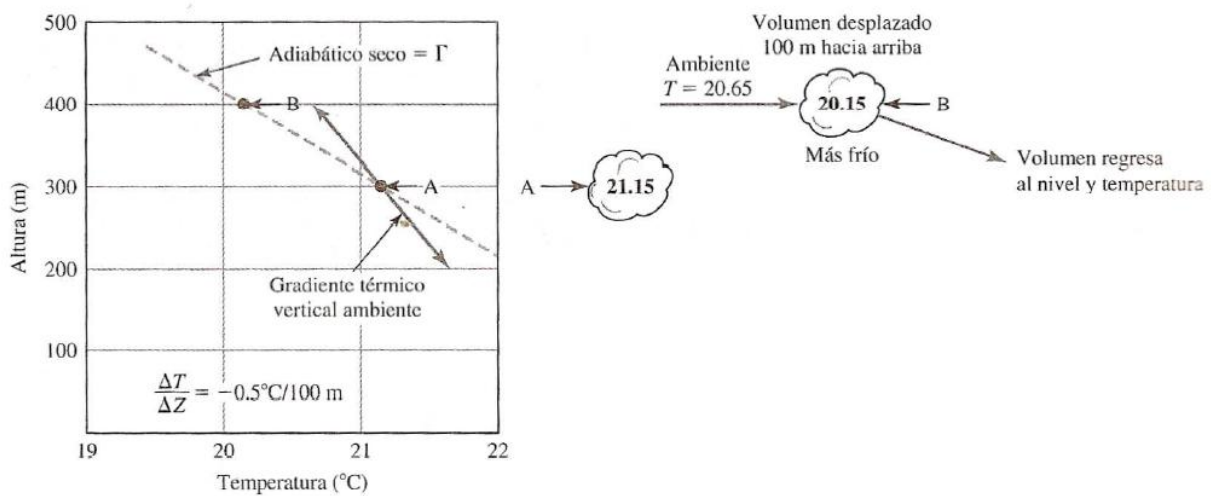


Figura 15. Relación entre el perfil adiabático seco y el real de la atmósfera. ESTABLE.

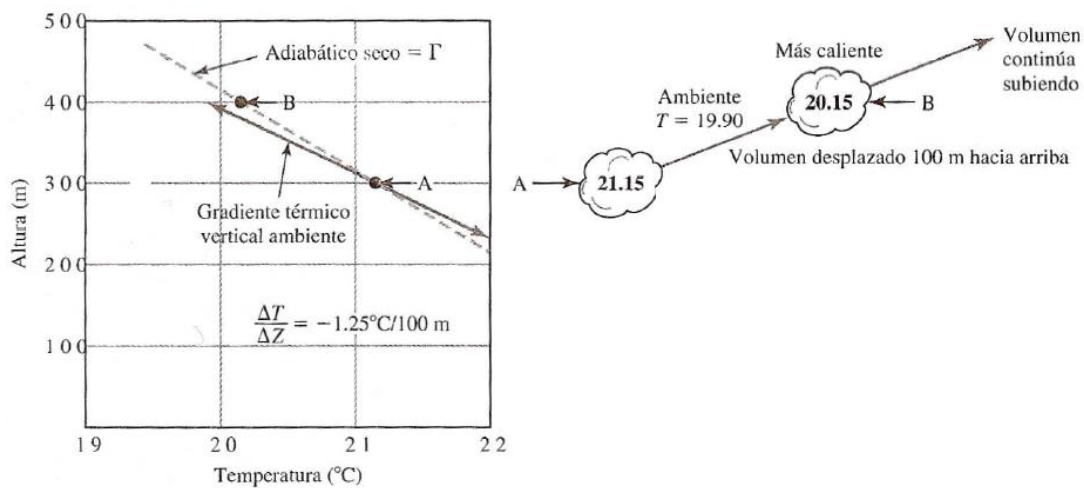


Figura 16. Relación entre el perfil adiabático seco y el real de la atmósfera. INESTABLE.



- 5) ¿En qué condiciones el estado de la atmósfera amplifica los movimientos de aire en dirección vertical?
- 6) ¿En qué condiciones el estado de la atmósfera amortigua los movimientos verticales del aire y tiende a suprimir la turbulencia mecánica existente?

24) Actividad 24. Estabilidad atmosférica: Procesos de (des)estabilización. Tipos de penachos en función de la estabilidad.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE CONOCER LA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA EN LOS PROCESOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES?

Presencial Tiempo estimado: 40 minutos
 9ª SESION Individual/En grupos de tres personas
 Las tareas A24.1 y A24.2 finalizan con una puesta en común.
 La tarea A24.3 será evaluable.

A24.1.- Ahora Markel conoce algo más la dinámica de la atmósfera y cómo difunde los gases y partículas en su propio movimiento, incluso podría estimar la estabilidad atmosférica, tan sólo con datos de perfiles de temperatura en la vertical de la atmósfera, u observando forma geométrica del penacho formado por el humo que sale de una chimenea. Individualmente, estimadr la estabilidad atmosférica media para cada uno de los siguientes perfiles de temperatura.

Altura (m)	Temp. (°C)	Altura (m)	Temp. (°C)	Altura (m)	Temp. (°C)	Altura (m)	Temp. (°C)
2.0	14.4	1.5	-4.5	12	28.1	8	18.6
324.0	11.1	349.0	0.1	279	19.7	339	17.9

Tabla V. Perfiles de temperatura a diferentes alturas.

A24.2.- De la observación de penachos visibles podemos deducir, en parte, el estado de estabilidad de la atmósfera en ese momento. Individualmente, relacionad la estabilidad atmosférica con el comportamiento del penacho que sale de la chimenea.

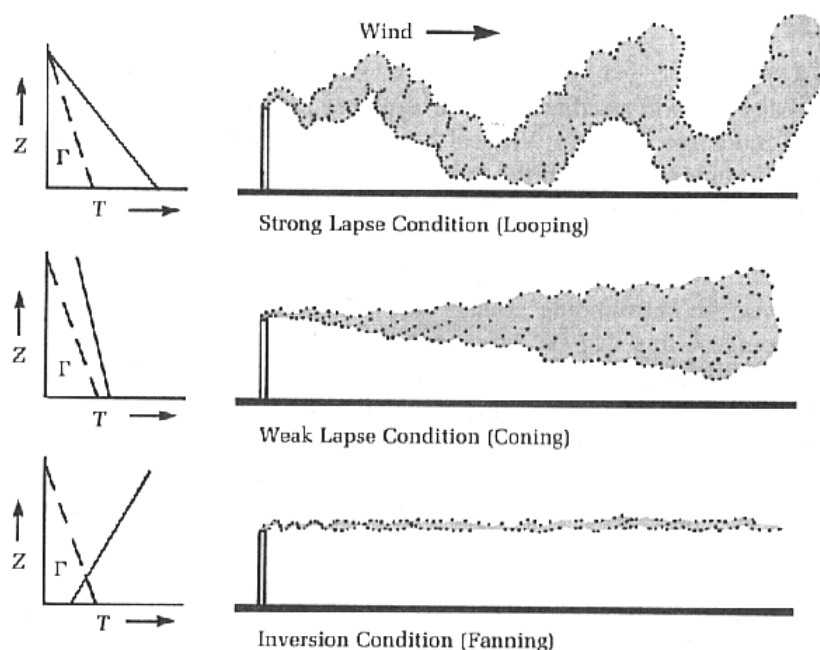


Figura 17. Tipos de penachos en función de la estabilidad.

Reunidos en grupos de 3 personas debatiremos las siguientes cuestiones: ¿Cuál de los gráficos anteriores y por tanto, qué estabilidad atmosférica asociaríais a las siguientes situaciones?:

- 1.- Días con cielos despejados y fuerte calentamiento solar.
- 2.- La turbulencia atmosférica es principalmente de origen mecánico.
- 3.- La atmósfera amortigua los movimientos verticales del aire y tiende a suprimir la turbulencia mecánica existente.
- 4.- Típica de condiciones nocturnas, sobre todo con cielos despejados y vientos flojos.
- 5.- A la turbulencia mecánica se añade turbulencia de origen convectivo, que amplifica los movimientos del aire en dirección vertical.
- 6.- Típica de días cubiertos o bien días soleados pero con mucho viento.

A24.3.- Proyección de fotografías. Reunidos en grupos de tres personas, preparad una explicación de aprox. 1' para cada par de fotografías, teniendo en cuenta la hora del día, la forma geométrica del penacho formado por el humo que sale a cada altura y la estabilidad atmosférica asociada a cada una.

25) Actividad 25. Modelos de dispersión. Características y aplicaciones.

¿CUÁL ES EL MODELO DE DISPERSIÓN MÁS ADECUADO PARA ZUMADIO?

No Presencial
Moodle

Tiempo estimado: 30 minutos
Individual

La actividad finalizada será recogida para su corrección.

Markel ya ha recopilado suficiente información en Zumadio como para plantearse el uso de algún modelo de calidad de aire, con el que establecer alguna relación entre los campos de concentraciones registrados en el aire ambiente de Zumadio y las emisiones de contaminantes/precusores; esta relación es clave para establecer medidas de control en las fuentes diseñadas para asegurar el cumplimiento de normas de calidad de aire o evitar efectos adversos.

Vamos a seguir la clasificación general que establece la agencia de protección ambiental de Estados Unidos USEPA. Debéis buscar información acerca de las aplicaciones y principales características de los modelos, y analizarlas desde el punto de vista de la pregunta inicial del tema:

“¿Cuál es el modelo de dispersión más adecuado para Zumadio?”

Para finalizar la tarea grabaréis vuestra voz en una presentación en power point, para la que utilizareis un máximo de 6 transparencias, y una duración máxima de 8 minutos.

26) Actividad 26. Modelos no difusivos o de advección pura: Modelos de caja.

¿CUÁLES SON LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MODELO DE CAJA?

Presencial
10ª SESION

Tiempo estimado: 40 minutos
En grupos de tres personas

La actividad finaliza con una puesta en común.

A26.1.- Markel dispone de datos del inventario de emisión en aglomeraciones urbanas, que se realizan por cuadrículas, por lo que le puede servir directamente para la aplicación de modelos no difusivos o de advección pura, como el modelo de caja. Junto a Markel, vamos a deducir la ecuación del modelo de caja, que aplicaremos después en el área urbana de Zumadio.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = FM_{advectivo} + FM_{difusivo} \pm Rxn_{Qca} + Aporte_{fuentes} - Sumideros$$

FMadvectivo:	Movimiento de los contaminantes consecuencia del movimiento del fluido, en este caso la atmosfera.
FMdifusivo:	Movimiento propio de los contaminantes consecuencia de gradientes de concentración.
Rxn Qca:	Relacionado con reacción química
Aporte de fuentes	Dentro del volumen de control
Sumideros:	Eliminación de contaminantes por procesos de transformación u otros

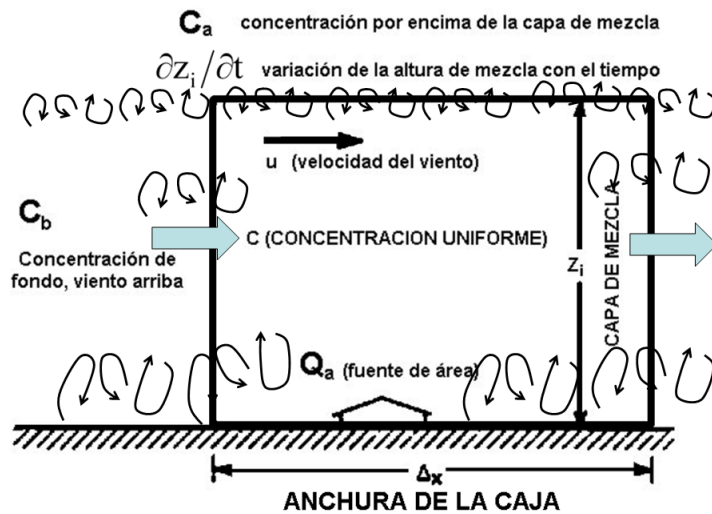


Figura 18. Parámetros característicos en el modelo de caja

Haremos una puesta en común y entre todos simplificaremos la expresión general para condiciones estacionarias en fuente y meteorología.

A26.2.- Para finalizar, junto a Markel vamos aplicar el modelo de caja a Zumadio, para calcular, por ejemplo, la concentración de SO_2 en el ambiente de Zumadio y la concentración de SO_2 que sale de Zumadio aplicando este modelo. Según los datos del inventario de emisiones en Zumadio, sabemos que las emisiones de SO_2 proceden de un número pequeño de fuentes y tienen un valor medio de $0,012 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Los cálculos los haremos suponiendo que Zumadio está cubierto por una capa de inversión térmica de aproximadamente 600m de altura. Vamos a considerar Zumadio de forma rectangular con dimensiones de 10km x 15km, y que el aire que llega al pueblo es aire limpio, exento de SO_2 , y que circula con una velocidad media de 3 m s^{-1} en la dirección de los 15 km.

27) Actividad 27. Modelos difusivos: Penacho gaussiano.

EL MODELO GAUSSIANO, UNO DE LOS MODELOS DISPERSIVOS MÁS UTILIZADOS ¿TIENE LIMITACIONES?

Presencial/no presencial
10ª SESION/Moodle
La actividad será recogida vía Moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

Tiempo estimado: 20/40 minutos
En grupos de tres personas

Puesto que el modelo Gaussiano es uno de los modelos dispersivos más utilizados, es importante que junto a Markel estudiemos los parámetros más característicos y las simplificaciones que lleva asociadas el modelo, ya que debemos ser críticos, sobretodo



con los casos en los que no se cumplen las condiciones de uso de este modelo gaussiano.

Video. Veremos un video de 8' de duración en el que se explican las principales hipótesis simplificadoras, para llegar a determinar las ecuaciones que permiten conocer las concentraciones en la atmósfera y a nivel del suelo de los contaminantes emitidos por una chimenea, así como hacer cálculos sencillos de altura de chimenea. Cuando termine la proyección aseguraos de que sois capaces de:

- Enumerar las hipótesis simplificadoras asumidas por el modelo gaussiano.
- Enumerar los principales parámetros característicos en la relación de Pasquill.
- ¿Por qué hay que introducir una modificación a la relación de Pasquill con la teoría de las imágenes?

Finalizareis la tarea, analizando el modelo desde el punto de vista de la pregunta inicial:

“El modelo gaussiano, uno de los modelos dispersivos más utilizados ¿tiene limitaciones?”

28) Actividad 28. Penacho gaussiano: Estimación de los parámetros de dispersión. Cálculo de la sobreelevación y altura efectiva.

¿PERMITE EL MODELO GAUSSIANO RELACIONAR LAS EMISIONES POR CHIMENEA CON LA CALIDAD DEL AIRE?

Presencial

11ª SESION

Las tareas A28.1, A28.2 y A28.3 finalizan con una puesta en común.

La tarea A28.4 será recogida a alumnos seleccionados para su corrección.

Tiempo estimado: 60 minutos

En grupos de tres personas

Ahora Markel ya sabe que el modelo gaussiano aún con simplificaciones y correcciones, permite su uso con una cierta validez. Markel quiere saber cómo establecer alguna relación entre los campos de concentraciones, registrados en el aire ambiente de Zamudio, y las emisiones de contaminantes/precusores, utilizando el modelo gaussiano.

A28.1.- Identificad y describid cada uno de los parámetros, que aparecen en la siguiente expresión, para estimar la concentración de contaminantes viento abajo, en superficie ($z=0$) y en el eje del penacho ($y=0$), en función de la distancia x al foco de emisión.

$$\overline{C}(x,0,0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \overline{U}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2}$$

A28.2.- Análisis de la clave de categorías de Pasquill. En grupo, analizareis y utilizareis la clave categorías de Pasquill para determinar la estabilidad en las siguientes situaciones:

- Una mañana invernal clara, a las 09:00 a.m.; velocidad del viento 5,5 m/s.
- Noche despejada de invierno a las 2:00 a.m.; velocidad del viento 2,8m/s.
- Mañana veraniega a las 12:30 a.m.; velocidad del viento 4,1 m/s.

A continuación, calcularéis los coeficientes de dispersión σ_y y σ_z , a una distancia de 1,5 km del foco emisor, de forma gráfica y analítica, para los dos primeros tipos de estabilidad que hayáis determinado en los apartados a y b. Pero, antes de realizar ningún cálculo numérico, y teniendo en cuenta lo que sabéis sobre estabilidad, reflexionad las siguientes cuestiones:

- ¿Con cual de las dos categorías de estabilidad creéis que obtendréis mayores coeficientes de dispersión?
- ¿Cuáles son los parámetros de los que dependen los coeficientes de dispersión σ_y y σ_z ?

A28.3.- Análisis del diagrama lógico de Briggs. Otro de los parámetros de la expresión del modelo gaussiano que no sabemos calcular y que junto a Markel debemos aprender es la sobreelevación, ΔH ($H = h + \Delta H$). Se conocen infinidad de fórmulas, más o menos empíricas para el cálculo de la sobreelevación de penachos, ΔH . En esta tarea vamos a limitarnos a utilizar las de Briggs para determinar la sobreelevación, ΔH , de una emisión gaseosa de las siguientes características:

$h = 200$ m; $T_s = 150$ °C; $T_a = 20$ °C; $V_s = 25$ m s⁻¹; $D_s = 4$ m. $U(200$ m) = 12 m/s, para los supuestos de:

- atmósfera neutra
- atmósfera estable ($\delta T/\delta z = +0.03$ °C/m).

A28.4.- Para finalizar la actividad, junto a Markel, y tomando los datos de la tasa de emisión de SO₂ de una chimenea industrial de Zumadio: 0,85 kg de SO₂ s⁻¹, determinaréis la concentración en la dirección del viento y a nivel del suelo, a 1km, 1,5km, 2km, 2,5km, 3km, 5km, 10km y 20km viento abajo de la chimenea. Haced los cálculos para una tarde soleada de otoño con radiación solar ligera y velocidad del viento de 4,8 ms⁻¹.

Datos: Temperatura de salida de los humos (T_s) = 140°C, velocidad de salida de los humos (V_s)= 15 ms⁻¹. Diámetro de la chimenea en la boca de salida (D_c) = 2m. Temperatura ambiente (T_a) = 298 K .

29) Actividad 29. Penacho gaussiano: Variación de la velocidad del viento en altura. El problema del tiempo de promediado.

¿PERMITE EL MODELO GAUSSIANO ESTIMAR LA ALTURA MÍNIMA DE UNA NUEVA CHIMENEA PARA QUE NO SE SUPEREN LOS VALORES LÍMITE EN AMBIENTE?

Presencial/No presencial
12ª SESION/Moodle

Tiempo estimado: 30/90 minutos
En grupos de tres personas

La actividad A29.1 finaliza con una puesta en común.

La actividad A29.2 será recogida vía Moodle y valorada por todos los miembros del grupo.

Sabemos que el modelo gaussiano está limitado, pero es una buena aproximación para fuentes puntuales y terrenos planos y con correcciones adecuadas permite su uso con una cierta validez.

A29.1.- Vamos a empezar analizando el problema que ya resolvisteis en la actividad A28.4, en el que había una serie de simplificaciones que se pueden corregir:

1ª SIMPLIFICACIÓN.

- ¿Cómo era la variación de la velocidad del viento con la altura?
- Teniendo en cuenta la figura 19 ¿Creéis que es adecuada esa simplificación?

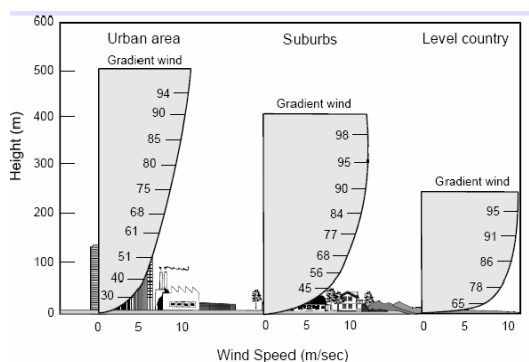


Figura 19. Variación de la velocidad del viento con la altura

- Vamos a hacer unos números. Markel ha tomado los datos de una torre meteorológica de superficie de Zumadio, a 10m de altura, que marca 4 m s^{-1} . ¿Cuál será la velocidad del viento a 200m para diferentes terrenos?

2ª SIMPLIFICACIÓN.

- En el problema que ya resolvisteis, calculamos σ_y y σ_z , pero ¿para qué promedio de tiempo de muestreo sirven? ¿Qué promedio tendrá entonces la concentración calculada con el modelo gaussiano?
- Vamos a seguir haciendo números. Markel quiere saber como extrapolar a otras concentraciones promedio. De momento tiene datos de la concentración de fondo de SO_2 en Zumadio, que es C_F = concentración de fondo (media de 3 min.) de $825 \mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$ ¿Cómo la puede comparar con C_T (concentración máxima admisible) que ha de ser de $350 \mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$, como media de 1 h.?

A29.2.- Teniendo en cuenta los datos de C_F que habéis obtenido, vamos a calcular junto a Markel, la altura mínima de una chimenea, que emite $336 \text{ g de SO}_2 \text{ s}^{-1}$, para que su emisión sumada a la concentración de fondo de Zumadio, C_F , no supere la concentración máxima admisible, C_T

Los datos de los que dispone Markel son datos meteorológicos, recogidos en las inmediaciones de la instalación industrial y datos de la propia emisión:

Datos meteorológicos: Temperatura ambiente (T_a) = $17 \text{ }^\circ\text{C}$ (se supone constante con la altura), Clase de estabilidad: D; Velocidad del viento a 10 m de altura = 3.5 m s^{-1} (suponer el coeficiente de la ley exponencial = 0.26)

Datos de las emisiones: Temperatura de salida de los humos (T_s) = $177 \text{ }^\circ\text{C}$; Velocidad de salida de los humos (v_s) = 6 m s^{-1} ; Diámetro de la chimenea en salida (D_c) = 4 m.

Dada la dificultad del problema planteado, comenzaremos a trabajarlo en clase.

30) Actividad 30. Revisión.

¿EN QUÉ SITUACIONES ATMOSFÉRICAS SE INHIBE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES?

No presencial

Tiempo estimado: 90 minutos

Moodle

En grupos de tres personas

La actividad finalizada será recogida y valorada por todos los miembros del grupo.

A30.1.- Una inversión de temperaturas puede influir en la dispersión de penachos. En la figura 20, se puede observar la influencia de la altura de la inversión en esa dispersión. Describid esa influencia relacionando, la altura de la inversión con la altura a la que sale el penacho de la chimenea. La descripción debe ajustarse a un máximo de 150 palabras.

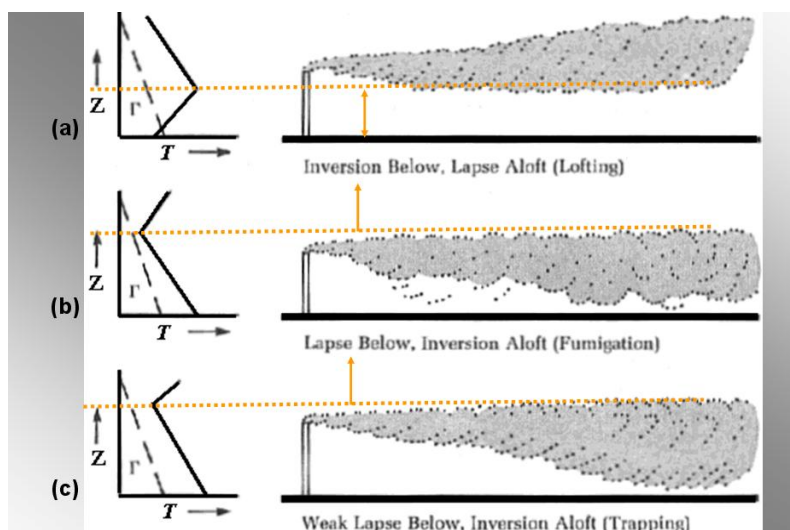


Figura 20. Influencia de la altura de inversión en la dispersión de penachos

Para finalizar la actividad, relacionad la siguiente afirmación: “Los mayores episodios de contaminación mundiales se han producido sin un aumento significativo de emisiones y bajo situaciones de meteorología adversa”, con la pregunta estructurante del tema:

“¿En qué situaciones atmosféricas se inhibe la dispersión de contaminantes?”.



TEMA 6: PREVENCIÓN Y CONTROL INTEGRADO DE LA CONTAMINACIÓN (IPPC). TÉCNICAS DE REDUCCIÓN Y CONTROL DE EMISIONES INDUSTRIALES

PREGUNTA ESTRUCTURANTE TEMA 6 ABP:

LAS EMPRESAS DEL ENTORNO DE ZUMADIO QUE REALIZAN EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA, ¿ ESTÁN ADOPTANDO LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA MINIMIZARLAS?

31) Actividad 31. Prevención y control integrado de la contaminación (IPPC).

¿EN QUÉ CONSISTEN LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL INTEGRADOS DE LA CONTAMINACIÓN?

Presencial
12ª SESION

Tiempo estimado: 90 minutos
En grupos de tres personas

La actividad finaliza con una puesta en común.

La tarea A31.2 será subida a Moodle al finalizar la sesión para su evaluación.

Nuestro ingeniero químico Markel, sabe que todas las plantas de proceso se pueden describir por un diagrama general de bloques, en el que se combinan, de manera más o menos compleja, varias funciones básicas.

A.31.1.- Preparad una *pequeña descripción* oral del análisis general de emisiones de una planta, siguiendo el itinerario de los contaminantes y fluidos portadores a lo largo de la planta. Debéis prestar atención a cada una de las *etapas*, indicando el *potencial de mejora* en cuanto reducción de emisiones.

A.31.2.- Centro de cálculo. Consultad la información necesaria para conocer el conjunto de medidas que se aplican a las instalaciones con elevado poder contaminante para prevenir y controlar de forma integrada todo tipo de contaminación. Estas medidas, así como las instalaciones que se someten a este régimen de actuación, se regulan en la **Ley 16/2002**, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación, que ha transpuesto al ordenamiento jurídico interno la Directiva 96/61/CE, más conocida por **Directiva IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control)**.

Analizad la información de la legislación, y si es necesario buscad información adicional, para realizar un informe que recoja la siguiente información:

- ¿Qué significa Prevención y el Control Integrados de la Contaminación?
- ¿Qué es la Autorización Ambiental Integrada, AAI? y ¿a qué actividades se aplica?

- ¿Qué es el registro EPRT- Registro de Emisiones y transferencia de contaminantes?
- Principales fuentes contaminantes a nivel de Europa, España y Euskadi de los contaminantes contemplados por el Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, con los que trabajamos en la actividad A16. Se os pide presentar los datos a nivel de Europa, España y Euskadi en formato gráfico para cada uno de los contaminantes contemplados por el Decreto 102/2011.
- ¿Qué son las Mejores Técnicas Disponibles (MTD)?

Para finalizar, debéis consultar el BREF: Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico. Haced un listado con la selección de técnicas para la reducción de emisiones en relación con el contaminante a eliminar que recoge este BREF. Llevadlo a la siguiente sesión.

32) Actividad 32. Selección de equipos de separación para reducción de emisiones atmosféricas.

¿QUÉ CONSIDERACIONES SON IMPORTANTES PARA HACER UNA ADECUADA SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL DE EMISIONES?

Presencial/No presencial
13ª SESION/Moodle

Tiempo estimado: 60/120 minutos
Individual/En grupos de tres personas

La actividad finaliza con una puesta en común.

Markel, debe decidir si es o no apropiado el equipo de control de emisiones que actualmente están utilizando varias empresas de Zumadio. Algunas tienen problemas con el nivel de emisión de partículas y otras con el nivel de emisión de COV, SO₂ o NO_x.

A.32.1.- Para poder realizar una apropiada selección del equipo de control de emisiones, hay que tener en cuenta cierto número de factores: ambientales, de ingeniería y económicos. Debatiremos los más importantes y para finalizar la tarea contestaremos entre todos a las siguientes preguntas:

- ¿Qué factor nos indicaría la eficacia que ha de tener nuestro sistema de depuración, bien sea por un solo equipo, o por varios trabajando en serie?
- ¿Cuál de ellos sirve para estimar el consumo energético que supone la presencia de nuestro equipo en el proceso global?

A.32.2.- Markel está preocupado especialmente con el nivel de PM₁₀ registrado en el aire ambiente de Zumadio, por eso quiere hacer unos cálculos con los datos de una empresa de la zona que dice tener una carga de polvo a la entrada del sistema de su sistema de depuración de 18 g m⁻³. Organizados en grupos de tres personas, tomando como base 1m³ de gas, vais a ayudarle a calcular los gramos emitidos y de ellos, el %

en peso de tamaño $<10 \mu\text{m}$ de diámetro. Además, representareis gráficamente los datos proporcionados por la empresa frente al tamaño de partícula.

Tamaño (μm)	Peso (%)	Eficacia (%)
< 1	10	20
1-5	15	40
5-10	35	80
10-30	20	90
30-80	10	95
>80	10	100

Tabla VI. Datos de distribución del tamaño de partículas y eficacia del sistema de depuración.

En el caso de equipos de depuración de partículas:

- 1) ¿Cuál es el dato que da más información, los gramos emitidos o el % en peso emitido menor de un tamaño concreto?
- 2) ¿Qué estáis calculando en cada uno de los casos?

Vais a seguir ayudando a Markel con los cálculos para otra empresa del entorno de Zumadio. En este caso se trata de un proceso de producción de hierro colado que emite a la atmósfera 10 t día^{-1} de partículas de densidad media 2300 kg m^{-3} , para el que se están contemplando dos tipos de sistemas de control. La distribución del tamaño de partículas y eficacia de depuración son:

Tamaño (μm)	0-10	10-20	20-44	> 44
Tamaño promedio(μm)	5	15	32	≈ 50
% peso partículas	20	35	30	15
Eficacia equipo 1	90	97	99.5	100
Eficacia equipo 2	55	78	90	99

Tabla VII. Datos de distribución del tamaño de partículas y eficacia de los dos equipos de depuración.

- Calcular la eficacia másica global del equipo 1 y del equipo 2.
- Calcular la masa y el número de partículas PM10 que se emitirían a la atmósfera, en el caso de utilizar cada uno de los dos sistemas.

A.32.3.-Para finalizar la esta actividad, vamos a trabajar con el listado para la selección de técnicas para la reducción de emisiones de gases residuales en relación con el contaminante a eliminar, que realizasteis en la actividad A31. Organizados en grupos de tres personas, preparad una lista con las técnicas que creáis más convenientes para:

- Recuperación y eliminación para partículas, diferenciando vía seca y vía húmeda
- Recuperación y eliminación para contaminantes gaseosos.

ACTIVIDAD OPTATIVA

Para finalizar, cada grupo compuesto por tres personas, elegirá una técnica de reducción de emisiones industriales, y preparará fuera del aula un informe con un máximo de 4 páginas, en el que al menos aparezcan los siguientes puntos, siguiendo el mismo esquema que seguía el BREF con el que trabajasteis en la actividad A31:

- Descripción
- Aplicación
- Ventajas/Desventajas
- Niveles de emisión / índices de eficacia alcanzables

En las aplicaciones, deberéis incluir la Autorización Ambiental Integrada AAI de una empresa de la CAPV que utilice esta técnica de depuración, buscando en el enlace con el que trabajasteis en la actividad A31.

Para finalizar la tarea debéis grabar la voz, en una presentación en power point que colgareis en Moodle:

- La presentación tendrá un máximo de 8 transparencias que incluya los principales puntos del informe escrito y la explicación a dos gráficos que os proporcionará la profesora, en función de la técnica elegida.
- La presentación tendrá una duración máxima de 8 minutos

Indicareis claramente la **eficacia** y la **pérdida de carga** que supone la presencia de vuestro equipo, y las ventajas frente a otras técnicas de reducción del mismo grupo (partículas o contaminantes gaseosos).

Trabajareis fuera del aula y subiréis el informe y la presentación a Moodle. En los enlaces de los recursos, disponéis de cursos de formación abiertos, con autoevaluación que os pueden ser muy útiles para preparar los informes: APTI Virtual Classroom.

33) Actividad 33. Equipos de separación de contaminantes en fase particulada.

¿SE ESTÁN ADOPTANDO LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES EN FASE PARTICULADA?

Presencial/No presencial

14ª SESION/Moodle

La tarea A33.1 será evaluable.

La tarea A33.2 finaliza con una puesta en común.

Tiempo estimado: 60/45 minutos

Individual/En grupos de tres personas

Markel se ha dado cuenta de que entre las técnicas más sencillas para la reducción de emisiones de partículas por vía seca, además de las cámaras de sedimentación, están los ciclones. Vamos a profundizar en esta técnica.

A.33.1.- Exposición del principio de operación y el diseño básico de los ciclones convencionales. Tomad las anotaciones necesarias para ser capaz de:

- Describir el principio de funcionamiento de un ciclón convencional y explicar los factores que mejoran el rendimiento del ciclón.
- Explicar el dimensionado básico de un ciclón convencional, a partir del diámetro del cuerpo del ciclón.
- Estimar su eficacia fraccional por diferentes métodos.

Además, debéis ser capaces de resolver el problema que se plantea a continuación, de manera individual.

1) *Determinar la eficacia de un ciclón estándar a partir de la curva de Lapple, para partículas de $10\mu\text{m}$ de diámetro y 1600 kg m^{-3} de densidad, siendo: el diámetro de la parte cilíndrica $D_c=1\text{m}$, caudal de gas a tratar $7200\text{ m}^3\text{h}^{-1}$, temperatura del gas 25°C .*

Dato: la viscosidad del aire a 25°C es $18,5\ \mu\text{Pa s}$

A.33.2.- En el tiempo que queda, reunidos en grupos de 3 personas, debéis preparar una estrategia de resolución de los dos problemas que se plantean a continuación. Aunque no los resolveremos numéricamente, se pedirá a tres alumnos seleccionados que expliquen oralmente la estrategia de resolución propuesta por su grupo.

2) *Un ciclón convencional con las proporciones correspondientes a rendimiento medio, tiene un diámetro de 1 m. El caudal de aire es de $120\text{ m}^3\text{ min}^{-1}$ a 350 K y 1 atm y contiene partículas con una densidad de 1600 kg m^{-3} y una distribución de tamaños como la que se indica en la tabla. Se pide calcular:*

- El diámetro de corte del 50% de eficacia (diámetro de la partícula que se retiene en el ciclón con una eficacia del 50%)*
- La eficacia global del ciclón ($\eta = \sum \eta_i m_i$)*

Rango (μm)	% de la masa en el rango	Rango (μm)	% de la masa en el rango
0-2	1,0	10-18	30,0
2-4	9,0	18-20	14,0
4-6	10,0	30-50	5,0
6-10	30,0	50-100	1,0

Tabla VIII. Datos de distribución del tamaño de partículas y eficacia del ciclón.

Datos:

μ aire a $350\text{ K} = 0,075\text{ kg m}^{-1}\text{ h}^{-1}$

ρ aire a $350\text{ K} = 1,01\text{ kg m}^{-3}$

3) Una corriente de $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de un gas residual industrial contiene una concentración de partículas de $1,6 \text{ g m}^{-3}$ (CN) y un diámetro medio de partícula de $12,5 \mu\text{m}$. Como la emisión máxima permitida es de 50 mg m^{-3} (CN) se están contemplando dos opciones de sistema de depuración: instalar un ciclón de eficiencia media de $1,5 \text{ m}$ de diámetro o bien dos ciclones, de 1 m de diámetro, en serie, del mismo tipo que el anterior.

Calcular cuál es la opción más conveniente y, para ella calcular la concentración de partículas a la salida y la masa de polvo captada diariamente.

DATOS: Viscosidad del gas a la temperatura de emisión = $1,82 \cdot 10^{-5} \text{ N s m}^{-2} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$; densidad de las partículas = 1900 kg m^{-3}

34) Actividad 34. Equipos de separación de contaminantes en fase gas.

¿SE ESTÁN ADOPTANDO LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES GASEOSOS?

Presencial
15ª SESION

Tiempo estimado: 120 minutos
En grupos de tres personas

La actividad finalizada será evaluada.

En esta última sesión utilizaremos las presentaciones que han preparado de forma opcional todos o alguno de los miembros de cada grupo y que están subidas en Moodle, para ayudar a Markel a evaluar las diferentes alternativas para el control de las emisiones en Zumadio, analizando y evaluando las tecnologías disponibles para el tratamiento del problema del que se trate.

A.34.1.- Comenzaremos evaluando las diferentes alternativas para el control de emisión de partículas vía seca y vía húmeda.

La dinámica que seguiremos será la siguiente:

- Se proyectará la presentación preparada en la actividad A31 y colgada en Moodle, realizada por uno o todos los componentes del grupo (ya que es opcional) y correspondiente a una de las técnicas.
- La profesora realizará al menos dos preguntas que podrá responder cualquiera de los miembros del grupo que hayan participado en esta actividad opcional, y se aclararán las dudas que pudieran surgir tras la presentación.
- A continuación se realizará una evaluación entre compañeros, es decir, todos los alumnos a excepción de los que han realizado la presentación, decidirá la

evaluación de la presentación y la respuesta dada a las preguntas. Para evaluar el trabajo se seguirán los criterios de corrección en forma rúbrica que pondrá a vuestra disposición la profesora y serán recogidos.

A.34.2.- Para finalizar la actividad, evaluaremos las diferentes alternativas para el control de COV, NOx y SO₂.

La dinámica que seguiremos será similar a la realizada en la tarea anterior:

- Se proyectará la presentación preparada en la actividad A31 y colgada en Moodle, realizada por uno o todos los componentes del grupo (ya que es opcional) y correspondiente a una de las técnicas.
- La profesora realizará al menos dos preguntas que podrá responder cualquiera de los miembros del grupo que hayan participado en esta actividad opcional, y se aclararán las dudas que pudieran surgir tras la presentación.
- A continuación se realizará una evaluación entre compañeros, es decir, todos los alumnos a excepción de los que han realizado la presentación, decidirá la evaluación de la presentación y la respuesta dada a las preguntas. Para evaluar el trabajo se seguirán los criterios de corrección en forma rúbrica que pondrá a vuestra disposición la profesora y serán recogidos.

Finalizadas las presentaciones, evaluaremos entre todos las diferentes alternativas para el control de emisión gaseosas en una incineradora de residuos urbanos, partiendo de su AAI y de las MTD que actualmente está utilizando. Debatiremos durante unos 15 minutos las ventajas e inconvenientes, y cada grupo escribirá un pequeño informe con sus conclusiones, que entregará al finalizar la clase.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS GENERALES

- ◆ DAVIES, M.L. Y MASTEN, S. J. *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Mc Graw-Hill (2005).
- ◆ KIELY G. *Ingeniería Ambiental*. Ed. Mc Graw Hill (1999). MASTERS G.M. AND ELA W.P. *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Pearson Prentice Hall. (2008).
- ◆ MIHELICIC, J.R. *Fundamentos de Ingeniería Ambiental*. Limusa Wiley (2001).
- ◆ SPIRO, T.G. y STIGLIANI, W.M. *Química medioambiental* (2a. ed.) Pearson (2003).
- ◆ SEINFELD J. H. AND PANDIS S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, INC. (2006).
- ◆ SEINFELD, J.H. AND PANDIS, S.N. *Atmospheric Chemistry and Physics. From air pollution to Climate change*. John Wiley & Sons, Inc (1998).
- ◆ VALLERO D. *Fundamentals of Air Pollution*. Elsevier (2008).
- ◆ WALLACE J. M. AND HOBBS P. V. *ATMOSPHERIC SCIENCE. An Introductory Survey*. Second Edition. Elsevier (2006).

ENLACES Y DOCUMENTOS ON-LINE DE INTERÉS

- ◆ Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
- ◆ Air Pollution Training Institute (APTI) Virtual Classroom.
<http://yosemite.epa.gov/oaqps/EOGtrain.nsf/HomeForm?OpenForm>
- ◆ Atmospheric Science. The Earth and its Atmosphere.
http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter1/vert_temp_all.html
- ◆ Basic Air Pollution Meteorology.
http://yosemite.epa.gov/oaqps/eogtrain.nsf/DisplayView/SI_409_0-5?OpenDocument
- ◆ Cambio climático. INFOGRAFIA MULTIMEDIA
<http://www.eitb.com/infografia-multimedia/cambio-climatico/definicion.html>
- ◆ Ciclo de conferencias sobre contaminación atmosférica. Universidad Miguel Hernández.

<http://www.tucamon.es/contenido/ciclo-contaminacion-atmosfericadioxido-nitrogeno-indicador-contaminacion-urbana>

- ◆ Contaminantes tóxicos atmosféricos. Agencia de Protección del Medio Ambiente americana USEPA. <http://www.epa.gov/ttn/atw/188polls.html>
- ◆ Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Gobierno Vasco. Medio Ambiente. Legislación. http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3614/es/contenidos/normativa/legislacion_atmosfera/es_leg/indice.html
- ◆ Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS). http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
- ◆ GUIDELINES FOR DEVELOPING AN AIR QUALITY (OZONE AND PM2.5) FORECASTING PROGRAM U.S. Environmental Protection Agency AIRNow Program. <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=2000F0ZT.txt>
- ◆ IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Working Group I: The Scientific Basis. <http://ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/139.htm>.
- ◆ Modelo gaussiano de dispersión de contaminantes. Universidad Politécnica de Valencia. <http://riunet.upv.es/handle/10251/13591>
- ◆ Nociones de meteorología. http://www.euskalmet.euskadi.net/s07-5853x/es/contenidos/informacion/com_escala_meso/es_7756/es_escala.html
- ◆ Sistema Español de Inventario. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Calidad y evaluación ambiental.* <http://www.magrama.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/>
- ◆ Technology Transfer Network Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling. USEPA. http://www.epa.gov/scram001/dispersion_alt.htm#isc3

ANEXO I. VALORACIÓN DEL TRABAJO EN GRUPO

VALORACIÓN DEL TRABAJO EN GRUPO N°	
<p>Mediante este cuestionario se calculará el término variable de la nota de las tareas realizadas en grupo</p> <p>Es importante que contestes a este cuestionario con sinceridad, ya que de ello depende la calificación asignada a los miembros de tu grupo.</p>	
<p>Distribuye entre tus compañeros de grupo, INCLUIDO TU MISMO, el 100% del trabajo realizado, asignando a cada uno un porcentaje en función del trabajo realizado (a mayor porcentaje, más trabajo).</p> <p>Para ello, podéis tener en cuenta los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Asiste puntualmente a todas las reuniones programadas o Ha propiciado un clima de equipo agradable (de tolerancia, respeto, buen trato) o Propone ideas para el desarrollo del trabajo o Ha compartido conocimientos con los demás o Cumple a tiempo con su parte del trabajo en los plazos estipulados o Ha participado continuamente en todas las actividades o Ha revisado la tarea con todos los miembros del grupo antes de entregarla a entregar 	
COMPONENTES (POR ORDEN ALFABÉTICO)	% DEL TRABAJO
C1-.....
C2-.....
C3-.....

Adaptado de Erica Macho (Ref.11)

$$\text{Nota final tarea en grupo} = \text{Nota trabajo en grupo} (0,5 + 0,5 (PT/100))$$

Donde PT es la puntuación de cada componente que se obtiene sumando los porcentajes obtenidos en los tres cuestionarios.