

**ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA ALTURA DE QUITO
EN LA NORMA INEN 2204 PARA MOTORES N1**

**STUDY OF THE INCIDENCE OF THE HEIGHT OF QUITO
ON THE INEN 2204 STANDARD FOR N1 ENGINES**

Ing. Juan Carlos Rubio Terán MBA
jrubio@uide.edu.ec

Pila Simbaña Wilmer Mauricio
wipilasi@uide.edu.ec

Rodas Heredia Alex Mateo
alrodashe@uide.edu.ec

CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Yo, **Alex Mateo Rodas Heredia**, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

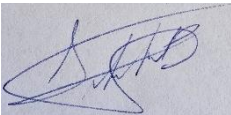
Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Firma

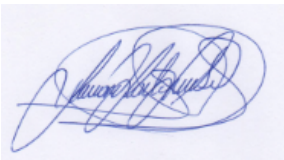
Yo, **Wilmer Mauricio Pila Simbaña**, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Firma

Yo, **Ing. Juan Carlos Rubio**, Certifico que conozco al autor de la presente investigación, siendo responsable exclusivo tanto en su originalidad, autenticidad, como en su contenido.



Firma

DEDICATORIA

Esta tesis, está dedicada a Dios, a mis padres y a mi hermano, quienes con su apoyo y sabios consejos en este largo camino han sido un pilar fundamental para alcanzar mi sueño anhelado.

Alex Mateo Rodas Heredia

DEDICATORIA

Esta tesis, esta dedicada con todo mi corazón a mi madre, pues sin ella no lo había logrado, tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía.

Mauricio Wilmer Pila Simbaña

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios, a mis padres a mi familia y a todos mis maestros quienes con sus valiosos conocimientos hicieron que cada día pueda crecer profesionalmente, así como también agradezco su apoyo y amistad, quiero agradecer también la Universidad Internacional del Ecuador que me ha permitido desarrollarme día a día como profesional.

Alex Mateo Rodas Heredia

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mi madre que siempre me apoyado incondicionalmente para poder llegar a esta instancia tan anhelada a pesar de las adversidades.

También a mi tutor por su dedicación y paciencia, gracias por sus consejos que los llevare en la memoria y futuro profesional.

A todos los docentes que han sido mi guía y formación profesional y personal durante todos estos años transmitiéndome todos sus conocimientos para poder cumplir esta meta en mi vida.

Mauricio Wilmer Pila Simbaña

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCION.....	7
2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	8
2.1.1 Pruebas Estáticas.....	10
2.1.2 Pruebas Dinámicas ciclo ASM	10
3. MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1 Motor Toyota 2.7 L Hilux.....	11
3.2 Motor Honda GX160H	11
3.3 Altímetro PCE-AM 85	11
3.4 Medidor de Gases Texa.....	12
3.5 Combustible Extra.	12
3.6 Normativa Inen 2204.....	13
3.7 Insumos de para la medición.....	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5. Conclusión.....	17
6. Bibliografía	18
7. Anexos	19

RESUMEN

La geografía terrestre contribuye de cierta manera a la generación de contaminantes a consecuencia de la combustión de combustibles fósiles, las irregularidades geográficas permiten un cambio en la presión atmosférica sobre la capa terrestre, este fenómeno geográfico incide en el número de partículas por unidad de volumen, a más altura menor particulado en el aire. En la actualidad los procesos térmico producto de la quema de combustibles son la fuente de la mayor carga de generación de energía, y los motores de combustión interna no son la excepción, en sus procesos de oxidación transforman una mezcla aire combustible en trabajo mecánico que es utilizado para poner el automotor en movimiento, esta mezcla trata de ser lo más estequiometría posible “Uno de los núcleos conceptuales de la química, la estequiometría, se ocupa de los aspectos cuantitativos de la reacción química, entendida como un proceso en el cual una sustancia o varias sustancias se forman a partir de otra u otras”, Educ. quím vol.27 no.3 Ciudad de México jul. 2016. El trabajo presenta una **Metodología**, experimental, comparativa y descriptiva donde se evidencia las alteraciones que sufren los motores de combustión interna por un método cuantitativo de la incidencia de la altura mediante pruebas de laboratorio en el campo que sustentan la parte experimental llevados de forma técnica, **Resultados**, la parte experimental demostró que al ir incrementado la altura el comportamiento del motor con respecto a las emisiones también aumenta, si bien este incremento no es directamente proporcional con la altura el análisis demuestra que se deben hacer correcciones en la norma aplicada, el trabajo deja la puerta abierta para poder profundizar el estudio y proponer un ajuste a la norma utilizada o desechar la misma por ser ya muy obsoleta. **Conclusión**, el estudio permite determinar que a la altura de la ciudad de Quito hay que hacer una corrección a la norma sobre los parámetros permisibles por cuestiones geográficas que inciden en la generación de mayor nivel de gases contaminantes, por ningún motivo se pretende que estudio de la puerta a una mayor contaminación, pero si se pretende que la norma se ajuste a condiciones geológicas naturales irreversibles que de una manera directa afecta a la polución ambiental y son parte la naturaleza.

Palabras claves: Atmosfera, contaminantes, combustión, altura, estequiometría, motores de combustión, norma, polución.

ABSTRACT

Land geography contributes to some extent to the generation of pollutants as a result of the combustion of fossil fuels, geographical irregularities allow a change in atmospheric pressure over the land layer, this geographical phenomenon affects the number of particles per unit volume, the higher the lower the particulates in the air. At present the thermal processes resulting from the combustion of fuels are the source of the greatest load of energy generation, and internal combustion engines are no exception, in their oxidation processes transform a mixture of combustible air into mechanical work that is used to set the motor vehicle in motion, this mixture tries to be as stoichiometry as possible “One of the conceptual nuclei of chemistry, stoichiometry, deals with the quantitative aspects of the chemical reaction, understood as a process in which a substance or several substances form from one or the other”, Educ. chem vol. 27 no. 3 Mexico City Jul. 2016. The paper presents a

methodology, experimental, comparative and descriptive, where it is evidenced the alterations suffered by internal combustion engines by a quantitative method of the incidence of height through laboratory tests in the field that support the experimental part carried out technically. Results, the experimental part showed that as the height increases the engine behavior with respect to emissions also increases, although this increase is not directly proportional to the height the analysis shows that corrections should be made in the applied standard, the work leaves the door open to be able to deepen the study and an adjustment to the standard used or discard it as it is already very obsolete. Conclusion, the study allows to determine that at the height of the city of Quito it is necessary to make a correction to the norm on permissible parameters due to geographical issues that affect the generation of higher levels of polluting gases, for no reason is it intended to study the door to greater pollution, but if it is intended that the norm conforms to irreversible natural geological conditions that directly affect environmental pollution and are part of nature.

Keywords: Atmosphere, pollutants, combustion, height, stoichiometry, combustion engines, standard, pollution.

1. INTRODUCCION.

“La unidad de todas las ciencias se encuentra en la geografía. La importancia de la geografía es que presenta la Tierra, como la sede permanente de las ocupaciones del hombre.” John Dewey. Unas de las preocupaciones del ser humano hoy en día es tratar de bajar el impacto que ha generado al medio ambiente, una de las importantes causas es la polución producida por la industria del parque automotor mundial y su incidencia en los cambios climáticos con consecuencias muy fuertes.

Por las condiciones geográficas irregulares terrestres tiene su afectación en la presión atmosférica y con ello su incidencia con la densidad del aire, la presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie terrestre y en medida que su altura se incrementa ésta va disminuyendo progresivamente, condición que impacta en el funcionamiento de los motores de combustión interna llamados atmosféricos, que en su gran mayoría utilizan la gasolina como combustible cotidiano, se dice “por cada mil metros de altitud el rendimiento del vehículo se ve afectado en un 10% menos de sus capacidades, en los vehículos se ven afectadas sus capacidades hasta en un 28.5% en comparación a su rendimiento que podría generar al nivel del mar”(Cevallos, 2015), en el caso de la ciudad de Quito que se encuentra a 2850 metros de altura su afectación es considerable por la pérdida del particulado, la cantidad de oxígeno presente en el aire de acuerdo a la zona en que se encuentra determina la mezcla entre

el carburante y el oxidante. En la naturaleza “Sus componentes principales son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, neón, helio, entre otros, El aire seco está compuesto por un 78 % de nitrógeno, un 21 % de oxígeno y un 1 % de argón. También contiene vapor de agua” que constituye entre el 0,1 % y el 4 % de la troposfera, Stephen Mynhardt, Irlanda (ImaginAIR). Todos ellos de gran importancia y necesarios para que los seres vivos realicen funciones vitales.

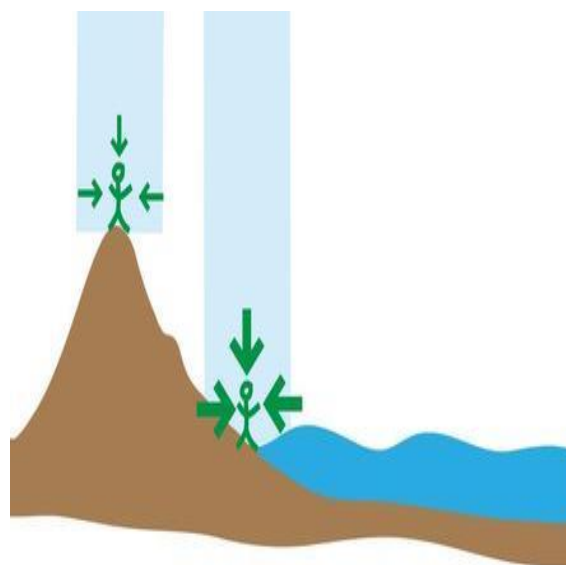


Figura 1: Incidencia de la altura en la presión atmosférica., Fuente (Belén Rodríguez, Taller virtual

“La contaminación del aire puede aumentar el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y cáncer de pulmón. Tanto la exposición a corto como a largo plazo a los contaminantes del aire se ha asociado con impactos adversos en la salud”. http://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/en/.

Todos los elementos alrededor de los efectos contaminantes hacen que se prendan las alarmas a nivel mundial,

muchos años atrás países trabajan en establecer normas regulatorias que permitan que este impacto se vaya reduciendo, en ellas podemos encontrar las EPA Tier. Euro, o las japonesas en sus variantes, “Teniendo esto en consideración es importante saber qué son las normas Tier y Euro. Básicamente ambas tienen el mismo objetivo que es parametrizar el número de emisiones particulares que emiten los motores. La Tier está regulada por la Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y la Euro corresponde a la Unión Europea. Ambas normativas nacen como respuesta al incremento de emisiones, siendo la industria automotriz una de sus grandes responsables. La elaboración de maquinaria pesada entró también en estas regulaciones que, en caso de estos equipos, se vienen presentando desde 1999” (Carrán 2022).

El Ecuador preocupados por los altos niveles de emisiones producidos por el parque automotor casa adentro y en especial del transporte de pasajeros y pesado, la ciudad de Quito toma la iniciativa con tarea de poder medir y controlar este fenómeno mundial, crea la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito, (Corpaire) en el año 2013, paralelamente se desprende la Revisión Técnica Vehicular (RTV) que serían las encargadas de la Calidad el aire de la ciudad y bajar la accidentalidad por medio de la (RTV), con la ayuda de varias normas Inen con la 2203, 2203, 2304, 11642 entre otras empiezan a la regularización de las emisiones de los vehículos con motores a combustión interna diésel y gasolina, si bien es cierto la implementación en su inicio llevo a que muchos autos salgan de la ciudad por incumplimiento de las

normas se la estableció de acuerdo a las regulaciones medidas a nivel de mar, o a cero altitud.

Todas las acciones que se tomen en busca de la mejora del medio ambiente son necesarias, pero adicional a ello tienen que ser muy técnicas y que busque el bienestar de la población en todo su contexto, la RTV ecuatoriana por la regulación de los niveles de contaminaste utilizan sistemas de medidas ya obsoletos en el resto del mundo, las pruebas que se realizan al parque automotor son estáticas cuando en la actualidad el mundo utiliza pruebas dinámicas.

2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.

Las investigaciones realizadas a cerca de la relación aire combustible se las ha realizado por mucho tiempo dando cuenta que si existiría combustión completa no se generaría desechos contaminantes, el proceso de convertir la energía térmica del combustible en trabajo mecánico se define como la combustión, “es un proceso físico – químico complejo; su surgimiento, desarrollo y plenitud quedan definidas por las particularidades y las velocidades de las reacciones químicas, por las condiciones de las transformaciones de calor y de masa en la zona de la llama, así como el traspaso del calor hacia las paredes” (Jovaj,1986). Al definir el proceso de combustión se tiene que identificar tres etapas dentro de este proceso, la generación del foco de calor encargado de encender la relación aire combustible en los motores de volumen constante la encargada es la chispa eléctrica producida por una bujía, en el

caso de motores a presión constante el foco de calor es generado por la presión y temperatura de la compresión del aire. La segunda etapa o frente de llama es el tiempo que le toma a la mezcla aire combustible en quemarse por completo, este tiempo depende de la cantidad de aire o presión atmosférica que se encuentre en el interior del cilindro, se lo conoce como tiempo base, es la cantidad de grados angulares que se permite antes de que el pistón corone al punto muerto superior (PMS), también se lo conoce como el adelanto al encendido encargado de generar un tiempo para que se realice la combustión, esta cantidad de grados depende de la altura a la que se encuentre el auto motor, si es en el mar por lo general son 8 grados angulares, que generan un aproximado de 0.003s, en la ciudad de Quito dependiendo de los motores está dentro de 12 a 13 grados angulares antes de PMS en su carrera de compresión para compensar la falta de oxígeno y que la cadena química en el proceso de combustión es más larga. La tercera etapa es la quema del gas residual que no es más que otra cosa que la mezcla aire combustible se quema pero que ya no aporta trabajo al pistón.

La combustión de hidrocarburos dicho de manera sencilla es una reacción química en la que un combustible reacciona con oxígeno para crear dióxido de carbono, agua y calor, con la finalidad de conocer la cantidad de energía entregada en relación a la cantidad combustible, generando de este proceso un trabajo mecánico aprovechado que se lo utiliza en un sinnúmero de aplicaciones mecánicas.

La cantidad de trabajo producido por el combustible al ser un proceso complejo e

incompleto deja una serie de residuos algunos nocivos para el medio ambiente y para los seres vivos, es por ello que por medio de la tecnología se trata de bajar el impacto generado por los motores de combustión interna, las normas son regulaciones para que los fabricantes de autos implemente en sus motores y cada vez se vayan bajando estos niveles de contaminación, las normas se van endureciendo a medida que los avances tecnológicos se desarrollan y pueden crear mejores métodos disminuir el impacto ambiental, mientras esto ocurre con los motores de combustión se avanza también en la mejora de los combustibles fósiles para coadyuvar con el propósito.

Las pruebas que a nivel mundial que se utiliza para la medición de gases también han sufrido cambios, por ejemplo, las normas EURO inició con Euro 1 y la actual vigente es la Euro 7, esto quiere decir por otro lado que las pruebas de medición también han sufrido cambios con los procesos tecnológicos desde la prueba estática obsoleta a las pruebas dinámicas actuales.

El estudio permite demostrar la afectación de la altura en el proceso de combustión, en otras palabras, la falta de oxígeno permite que la combustión sea más incompleta, generando un mayor número de elementos contaminantes, esta generación a causa de las condiciones geográficas naturales del globo terráqueo inciden a una norma 2204 que establece los parámetros permisibles de emisiones en motores a gasolina, esta norma está realizada a nivel de mar y con un límite de hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, los estudios demuestran que los cambios hasta 1500 msnm no son notorios,

pero a medida que la altura aumenta los cambios se empiezan hacer más evidentes, lo que se aporta es que la afectación de altura con respecto a los parámetros de la norma pueden generar que los motores no cumplan la norma por la falta de oxígeno y no por una mala calibración del sistema que es lo que se acusa como de primer orden. Hay vehículos que de fábrica con certificaciones Euro 4 y 5 que la ciudad de Quito no certifica los motores por gases emitidos, si bien es cierto una gran mayoría es por la mala calidad del combustible hay una gran parte que estando dentro de los parámetros de fabricación las condiciones geográficas inciden para que los resultados de emisiones no sea los correctos.

acuerdo a las características del trabajo, que exige una mayor demanda de combustible para generar el trabajo requerido, siendo pruebas que las puede vulnerar de muchas maneras por ser pruebas en vacío.

2.1.2 Pruebas Dinámicas ciclo ASM

“La prueba ASM (Modo de Aceleración Simulada) fue desarrollada por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente en los Estados Unidos (EPA) consiste en probar un vehículo en un dinamómetro con la colocación externa de carga al motor diferentes regímenes en las etapas ASM20/15 y ASM25/25 (Park, Heung-Sung, 2016). ASM50/15 es el ciclo de pruebas de un vehículo en dinamómetro al utilizar ASM, en donde una velocidad constante de 24 km/h se aplica una carga externa al motor equivalente al 50% de la potencia requerida. ASM25/25 es el ciclo de prueba de un vehículo en dinamómetro al aplicar ASM, en donde a una velocidad constante de 40 km/h se aplica una carga

2.1.1 Pruebas Estáticas

“La evaluación se realiza de acuerdo al procedimiento TSI (Two Speed Idle) OM 136, basado en la norma INEN 2203: “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape de Condiciones de Marcha mínima o ‘Ralentí’. Prueba Estática” (INEN, 2203, 1999; Rocha et al., 2018).

Las pruebas estáticas nos pueden entregar resultados de los motores sin carga, pero es la realidad el comportamiento con carga genera una mayor cantidad de contaminantes de

externa al motor equivalente al 25% de la potencia requerida. En estas condiciones se toma la concentración de contaminantes que genera el motor de combustión interna, el tiempo aproximado de la prueba es de 50 segundos (Castellazzi et al., 2017; Sagebiel et al., 1996).

Las pruebas dinámicas permiten tener una mejor percepción de las condiciones de funcionamiento normal del vehículo en condiciones reales, adicional a ello son más específicas que las estáticas donde se mide el particulado por distancia recorrida en condiciones de carga semejantes al funcionamiento cotidiano del motor.

El estudio acoge a la norma y se la aplica tal cual su creación a nivel de mar en la ciudad Quito, derivada de la Inen 2204 para motores de combustión interna a gasolina, la norma se rige por tener pruebas estáticas de funcionamiento, esta norma no hace una separación de parámetros que se vean afectados por la altura terrestre, en especial ciudades altas

como la de Quito que acuna a éste estudio donde la geografía natural incide en los gases contaminantes.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Motor Toyota 2.7 L Hilux

El trabajo de investigación toma como referencia para el estudio en primera parte un motor ciclo Otto a volumen constante montado en una camioneta Toyota Hilux 2017 de 2.7 litros, la camioneta es un vehículo que se posiciona en la cuarta casilla de venta de su segmento de acuerdo a la AEADE por las excelentes prestaciones de trabajo, utilizada como

Marca	Toyota
Modelo	Hilux
Motor	2,7 L 4 Cilindros 16 Válvulas DOHC, SEFI, VVT-i Dual y ETCS-i 166 HP @5200 rpm 180 Lb. -pie @ 4000 rpm Inyección Directa Toyota (TDI)

Tablas 1 Ficha Técnica

Fuente: Toyota Ficha técnica

3.2 Motor Honda GX160H

El segundo motor para el estudio es un contraste con el motor Toyota, mismo que carece de ayudas electrónicas y su funcionamiento es mecánico, por lo que permite ver un cambio generacional en la construcción de motores y sus sistemas de control para minimizar las emisiones contaminantes, sin la ayuda de catalizadores permite obtener datos enfocados en la afectación de la altura en el proceso de combustión y con ello la lectura respecto a las emisiones generadas.

vehículo de familia en forma cotidiana en la ciudad, la marca se ha posicionado en el mercado local ecuatoriano reconocida por su durabilidad, utiliza una tecnología de punta, al ser una camioneta no deja de lado el confort para sus ocupantes, una de las camionetas más cotosas dentro de su segmento en comparación a las más vendidas, talvez es una razón por lo que no ocupa los primeros sitios con un posicionamiento que la define como una de las mejores opciones de compra y recompra local. Las características técnicas del motor se las describen en la siguiente tabla, son un extracto que se toma de la ficha técnica de comercialización de vehículo.

Un motor de 163 cc que genera 505 HP de potencia generado por un único cilindro dispuesto a 25°, refrigerado por aire forzado con dos válvulas colocadas en el cabezo, datos obtenidos de la ficha técnica comercial de honda.



Figura 2: Motor Honda GX160H, Fuente Propia

3.3 Altímetro PCE-AM 85

El altímetro PCE-AM 85 un dispositivo compacto que integra la

medición de presión atmosférica para convertirla en altura en cualquier actividad que se lo requiera. El altímetro le indica la altitud en la que se encuentra en un rango de -2000 a 9000 m. El barómetro mide la presión atmosférica en hPa. Además de medir la altitud y la presión, el altímetro determina la velocidad del aire gracias al anemómetro integrado.



Figura 3, Altímetro
Fuete: Autores

3.4 Medidor de Gases Texa

Instrumento necesario utilizado para la toma de datos en los diferentes niveles de alturas, “GASBOX Autopower es un analizador de gases de escape para motores a Gasolina, GLP, GNC, Metanol y Etanol. Equipo fabricado por la empresa “TEXA” de Italia, la más grande de Europa en equipos de diagnóstico automotriz. Trabaja mediante conexión Bluetooth con cualquier PC, Laptop o Tablet con sistema operativo WINDOWS” (Texa, 2022)



Figura 4, Medidor de Gases Gasbox
Fuete: Autores

FICHA TÉCNICA

Dimensiones	460X200X250 mm
Peso	6,5 Kg
Alimentación	100 -240 V 50-60 Hz
Salida Serial	RS232 estándar
Salida Wireless	Bluetooth
Software	ETS o IDC5
Puesta a cero y calibración	Electrónica y automática
Tecnología	NDIR (infrarrojo no dispersivo)
Descarga de Condensación	Continua y automática
Tiempo de respuesta	10 Segundos
Tiempo de calentamiento	1 Minuto
Mide	HC, CO, CO ₂ , O ₂ y Lambda. Opcional Nox.

Tablas 2 Ficha Técnica
Fuente: Texa GASBOX

La metodología utilizada para el estudio es experimental, se realizan pruebas a diferentes alturas en la geografía del Ecuador, desde una altura nivel de mar y ascendiendo tomando datos cada 500 msnm hasta llegar a la altura de la ciudad de Quito a 2872 msnm, los datos obtenidos son utilizados para hacer una comparativa entre los datos de la norma Inen 2203 y determinar la diferencia que existe por la altura.

3.5 Combustible Extra.

El combustible de pruebas es una gasolina extra de 85.5 octanos ecuatoriana

que se la encuentra en cualquier despachador del territorio, para este insumo se utilizó un único lote para evitar inconvenientes de lecturas por la mezcla de lotos.

3.6 Normativa Inen 2204

En la ciudad de Quito las emisiones de gases del parte automotor que circulan por la misma está regula la RTV ente que bajo el apoyo de normas internacionales y bajo su criterio imponen parámetros que no pueden ser excedidos por los usuarios, en el caso de hacerlo tienen tres oportunidades por año para certificar y circular dentro del distrito metropolitano, en el caso no de no poder hacerlo el vehículo puede salir circulación del distrito, en caso excepcionales el usuario puede hacer una validación con la ayuda de la escuela politécnica y por medio de estudios, pruebas y ensayos de laboratorio pedir una recertificación o volver a presentarse para la aprobación, los parámetros para la certificación la tabla los parámetros que se establecen para la certificación y los distintos niveles permisibles para que los usuarios puedan tener la información de las características que sus vehículos deben cumplir.

La normativa Inen 2204 está relaciona con la gestión ambiental, en el caso específico lo concerniente al aire, direccionada a los automotores (vehículos) terrestres que utilizan gasolina como fuente de energía y a ellos es que se les coloca límites permisibles para que los motores emitan gases contaminantes al medio ambiente. Esta norma establece los parámetros permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) que emplean gasolina. (Norma Técnica Ecuatoriana Inen 2204, 2017-01)

RTV PARA LA CIUDAD DE QUITO

VEHÍCULOS GASOLINA (EXCEPTO MOTOS) RALENTI Y ALTAS RPM					
AÑO	HC en PPM	CO en %	O ₂ en %	TIPO FALTA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	$0 \leq X < 160$	$0 \leq X < 0,6$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$160 \leq X < 180$	$0,6 \leq X < 0,8$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$180 \leq X < 200$	$0,8 \leq X < 1$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 200$	$X \geq 1$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO
DE 1990 A 1999	$0 \leq X < 650$	$0 \leq X < 3,5$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$650 \leq X < 700$	$3,5 \leq X < 4$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$700 \leq X < 750$	$4 \leq X < 4,5$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 750$	$X \geq 4,5$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO
DE 1989 Y ANTERIORES	$0 \leq X < 950$	$0 \leq X < 6$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$950 \leq X < 1100$	$6 \leq X < 6,5$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$1100 \leq X < 1200$	$6,5 \leq X < 7$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 1200$	$X \geq 7$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO

VELOCIDAD DEL MOTOR	
RALENTI	RPM < 1100
ALTAS	RPM = 2500 (+/-50 RPM)

TIPO DE FALTA	0	CERO	VEHICULO SIN PROBLEMAS
	1	MODERADA	EL VEHICULO PASA
	2	GRAVE	EL VEHICULO PASA CONDICIONADO
	3	PELIGROSA	EL VEHICULO NO PASA

Tabla 3. Parámetros RTV para Quito, Fuente RTV

3.7 Insumos de para la medición.

La toma de lecturas se las realizó en los diferentes puntos geográficos establecidos para el estudio, se define en forma experimental que los parámetros de lectura se los realizaron desde el nivel del mar, ascendiendo a la ciudad de Quito colocada a 2750 msnm, las lecturas para el estudio se las tomadas tienen un intervalo de 500 msnm entra cada una hasta alcanzar la lectura final.

La toma de datos se las realizo en los dos motores de pruebas, obteniendo la información numérica y posicionamiento para el posterior análisis, cabe destacar que las condiciones constructivas de los dos motores no son las misma por lo que no se pueden comparar entre sí, el objetivo del estudio es identificar como la altura incide

en la combustión de los motores y su causa en las emisiones contaminantes, la descripción de las lecturas en los resultados describen los extremos (parámetros a nivel de mar y en la ciudad de Quito) para el análisis, los datos tomados en todas las alturas son una consecuencia de la incidencia de la presión atmosférica y la mayor o menor cantidad de oxígeno que se combustiona dentro de los motores y generan un resultado. En lo que respecta al clima en la toma de lecturas fueron días de similares características, donde la temperatura no paso de 23° con días despejados y no bajo de 18° en el escenario más bajo de temperatura, en la toma de datos no se presenta neblina que es una condición muy usual en algunas zonas del trayecto, la lluvia no es un factor que haya incidido, y como último dato la humedad no tuvo una incidencia gravitante por ser días bastante secos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Las lecturas tomadas a diferentes altitudes manteniendo la ruta pre establecida con la camioneta Toyota Hilux 2.7L, el vehículo para las pruebas es tal cual sale del fabricante con todos los elementos de control de emisiones como catalizadores y sistema electrónicos de control, los datos se reflejan en la tabla.

Altura en m	PRM	HC en PPM	CO en %	CO ₂ en %
0	100	11	0,05	1,28
	2500	15	0,10	0
500	100	12	0,04	1,2
	2500	16	0,08	0
1000	100	13	0,03	1,1
	2500	16	0,07	0
1500	100	13	0,03	1
	2500	17	0,07	0
2000	100	15	0,02	0,8
	2500	19	0,05	0
2850	100	15	0,01	0,6
	2500	19	0,03	0

Tabla 4 Lectura de las diferentes alturas, fuente propia

Los datos obtenidos en un motor de última generación demuestran algunas condiciones geográficas, y también hacer un análisis de cada elemento determinado en la norma, así los HC son la consecuencia del combustible que ingresa y de la relación directa que tiene con el oxígeno del medio ambiente que interactúa en el proceso de combustión, “La combustión de hidrocarburos se refiere a la reacción química en la que un hidrocarburo reacciona con oxígeno para crear dióxido de carbono, agua y calor. Los hidrocarburos son moléculas que constan de hidrógeno y carbono”, «https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php?title=Combustión_de_hidrocarburos&oldid=682» los resultados demuestran que la generación mayoritaria de hidrocarburos es por aceleración del motor, en las muestras tomada del motor Toyota gran parte de estos gases son neutralizados por el catalizador, a medida que se va ganando altura manteniendo las mismas condicionantes se ve que hay un ligero aumento de los HC a consecuencia del incremento de altura, las pruebas demuestran que se inicia a nivel de mar con una medida en ralenti de 11 ppm HC y a la altura de Quito a 2750 msnm llega a 13 ppm de HC, al parecer o hay mucha variación por ello que algunos estudio reflejan como un dato no determinado, pero si nos referimos en porcentaje con éste motor que tiene todas las condiciones actuales para suplir algunas condiciones geográficas y corregir muchas de las emisiones, existe un incremento porcentual del 15.38% que es un dato que debe ser considerable dentro de la normativa para una corrección de la misma.

Los resultados con el motor a 2500 rpm a nivel de mar dieron una medida de 15 ppm de HC, la prueba realizada a la altura de la ciudad de Quito arrojó una lectura de 19 ppm de HC, la diferencia de altura es de 2750 msnm generó un incremento del 21% de HC por diferencia exclusiva de altitud, un dato fuerte a considerar.

Los resultados con las lecturas de CO% y su mayor incidencia ocurre con el incremento en las revoluciones del motor, no es menos cierto que al tener mayor presencia de oxígeno a nivel de mar estas partículas evidenciarán su mayor presencia en las reacciones en las que se ve involucradas en el proceso de combustión, con respecto a la altura se evidencia que el motor al ganar altura la presencia del oxígeno bajas y el CO va disminuyendo en pequeñas cantidades lo que de alguna manera es favorable a la normativa. Los datos obtenidos a nivel de mar y en ralentí son de 0.100% CO, y en la ciudad de Quito presenta una lectura de 0.090% CO, esto significa que una diferencia está en un 10% CO de reducción entre las medidas por incidencia de la altura.

Las lecturas tomadas a 2500 RPM de acuerdo a la norma el valor obtenido a nivel de mar es de 0.450% CO de volumen y en la altura de la ciudad de Quito una medida de 0.380%, estos datos dan una incidencia de 20% CO en su disminución por efectos de la altura.

Para el parámetro de CO₂ es conocido que la incidencia de la altura afecta la lectura, mientras más alto se encuentra el motor se reducen los niveles de CO₂, debido a la baja de presencia del oxígeno en el aire, la lectura a nivel de mar da con el motor en ralentí es de 1.28% CO₂, la lectura tomada a 2500 msnm indica una medida de 1.15% de CO₂%,

generando una diferencia del 10.15% CO₂ por efectos de la altura

Con el motor a 2500 RPM a nivel del mar el resultado fue de 0.00% CO₂ luego de estabilizar la lectura, las condiciones en la altura de la ciudad de Quito no cambiaron es por ello que la lectura permanece en 0.00% CO₂ enseguida se estabiliza la lectura.

Elemento	Comparación		Consecuencia
	entre alturas	Diferencia	
HC	Ralentí	15,38%	Incremento
	2500RPM	21,00%	Incremento
CO	Ralentí	10,00%	Decremento
	2500RPM	20,00%	Decremento
CO ₂	Ralentí	10,15%	Decremento
	2500RPM	0,00%	Decremento

Tabla 5, Resultados de motor Toyota 2.7 L, Fuente propia

Con respecto a los datos obtenidos en el motor honda a carburados con las correcciones mecánicas que este motor implementa para su funcionamiento hay que destacar que la medida pese a ser un motor de generación anterior y no cumplir con certificaciones actuales, se lo tomo como insumo de prueba y determinar con mayor precisión las incidencias de la altura en la generación de emisiones contaminantes, este motor no tiene un catalizador para que pueda hacer correcciones, no tienen un medidor de oxígeno, y no está montado un sistema de inyección que corrija la cantidad de combustible a inyectar, los datos obtenidos se reflejan en la siguiente tabla.

Altura en m	PRM	HC en PPM	CO en %	CO ₂ en %
0	100	125	0,400	2,75
	2500	170	0,900	1,10
500	100	125	0,300	2,50
	2500	175	0,800	0,80
1000	100	130	0,300	2,40
	2500	179	0,800	0,80
1500	100	135	0,280	2,30
	2500	182	0,600	0,80
2000	100	137	0,270	2,30
	2500	158	0,580	0,70
2850	100	139	0,250	2,10
	2500	184	0,520	0,60

Tabla 6, Datos motor Honda GX160H a diferentes alturas, Fuente propia

Las medidas realizadas al motor Honda fueron tomadas y se realizaron cada 500 m de intervalos desde el nivel cero hasta 2750 msnm de la ciudad de Quito. Las lecturas obtenidas de los hidrocarburos a nivel de mar en ralentí son de 125 ppm HC, y las de mayor altura que es en la ciudad de Quito dieron como resultado 139 ppm, la diferencia en porcentaje de las dos medidas es de 10.07% en tren los límites de las lecturas medidas, el resultado está dentro de los rangos de parámetros de la RTV, es decir la RTV entre rangos tiene 160 - 180 ppm HC es un 11% y 180 -200 ppm HC un 10% con lo que vehículo o auto motor solo por efectos de la altura de Quito podría quedar fuera de rango.

Con el motor a 2500 RPM a nivel de mar genero datos de 170 ppm HC, y en las mismas condiciones, pero en la ciudad de Quito genero 184 ppm HC, esto nos da una diferencia entre datos extremos de lectura de un incremento del 7.6% ppm HC, siendo que la norma entre límites permisibles y límite TIPO 1 hay 11% de diferencia y de tipo uno TIPO 2 10%, sado este límite pasa a TIPO 3 fuera de rango, un porcentaje alto para el fallo esta por condiciones geográfica, por lo que debe tener en cuenta que a nivel de la ciudad de Quito hay una incidencia por la altitud en la generación de gases contaminantes, si se

suma la mala calidad de los combustibles que se expende y regulan desde el gobierno se debía pensar en reajustar la tabla, este estudio abre la puerta para la profundización del tema, donde se puedan construir estudio enfocados a las causas reales de aquellos automotores que no pasan la RTV y pese que muchos de ellos cumplen normas internacionales en el Ecuador no certifican una norma que para complementar es obsoleta en todo el mundo industrializado.

Los resultados con el CO% en el motor sin correcciones presenta una mayor variación en los parámetros de lectura, a nivel de mar en ralentí presenta una lectura de 0.400% CO dentro de la norma y certificación en los parámetros del año 2000 en adelante, cabe mencionar que el motor está dentro del parámetro de los años 1990 al 1999 por sus años de fabricación y con un parámetro permisible de 4.5% de CO para certificar con TIPO 2, lo parámetros medidos en la ciudad de Quito arrojan una medida de en ralentí de 250% CO que determina incidencia de 37.5% de variación, pero al bajar los CO por condiciones geográficas no genera importancia porque hay una reducción.

La lectura a nivel de mar a 2500 RPM genero 0.900% CO, como es normal el incremento del CO por el aumento de revoluciones, aun dentro de la certificación de la norma, en la ciudad de Quito los datos indican 0.520% CO, generando una reducción del 42%, sin que el incremento afecte a la norma, más bien la beneficia.

Los parámetros que tienen que ver con el CO₂ a nivel del mar en ralentí indican 2.75% CO₂ estando dentro de la norma que aplica para todos los años, para hacer la comparativa a la altura de Quito en las mismas condiciones de ralentí se mide 2.10% CO₂, Esto datos generen un

decremento de 23.63% entre medidas, al ser una disminución del CO₂ no implica problema.

Para las medidas tomadas a 2500RPM a nivel de mar presenta el siguiente resultado 1.10% de CO₂ los niveles bajan como es de esperarse, a la altura de Quito el resultado es de 0.600% CO₂, los dos datos están dentro de la norma existiendo una reducción de los niveles de 45.45% CO₂ mejorando los parámetros.

Elemento	Comparación		
	entre alturas	Diferencia	Consecuencia
HC	Ralentí	10.07%	Incremento
	2500RPM	7.60%	Incremento
CO	Ralentí	37.50%	Decremento
	2500RPM	42.00%	Decremento
CO ₂	Ralentí	23.63%	Decremento
	2500RPM	45.45%	Decremento

Tabla 7, Resultados motor Honda GX160H relaciona diferentes alturas en ralentí y a 2500RPM, Fuente propia

La investigación confirma que la altura tiene incidencia en la emisión de gases contaminantes generados por los automotores, la afectación en motores electrónicos o mecánicos no es la misma y así lo demuestran las lecturas, pero no quiere decir que esta afectación deba ser pasada por alto, la finalidad del estudio abre la puerta para otras investigaciones pueden determinar con una muestra representativa los valores que se deberían estandarizar para corregir la norma de acuerdo a la altura de Quito, los datos encontrados están dentro de los parámetros de la RTV que separa Tipo 1 de Tipo dos y por consiguiente la no certificación de la

norma por condiciones ajenas al auto motor.

EL estudio no pretende justificar la contaminación de los automotores o ampliar los rangos permisibles, pero si pretende que las normas se vayan ajustando a las condiciones geográficas naturales de las ciudades donde existen afectaciones por la altura fuera del alcance de los usuarios, una vez más se hace referencia que estas condiciones sumadas a la mala calidad del combustible dejan con mayor facilidad los vehículos fuera de normas.

5. Conclusión.

El estudio determina que las condiciones geográficas afectan a la combustión del motor, la altura es un factor determinante por la falta de oxígeno a medida que aumenta esta condición el particulado de oxígeno por unidad de volumen disminuye, es mucho más evidente cuando se sobrepasa los 1500msnm, este fenómeno produce un incremento de emisiones que va de acuerdo con la mayor altitud, el estudio evidencia un incremento muy significativo en las emisiones nocivas para el humano, por medio de un nuevo estudio que se pueda hacer un estándar y determinar un porcentaje de afectación por la altura de Quito y poder corregir la Norma INEN 2204, los datos tomados en el estudio se refleja la incidencia de la altura en las emisiones contaminantes y que es muy posible que muchos de los vehículos se vean afectados por los límites establecidos por la norma sin tomar dos parámetros obviados que son la altura y la calidad del combustible.

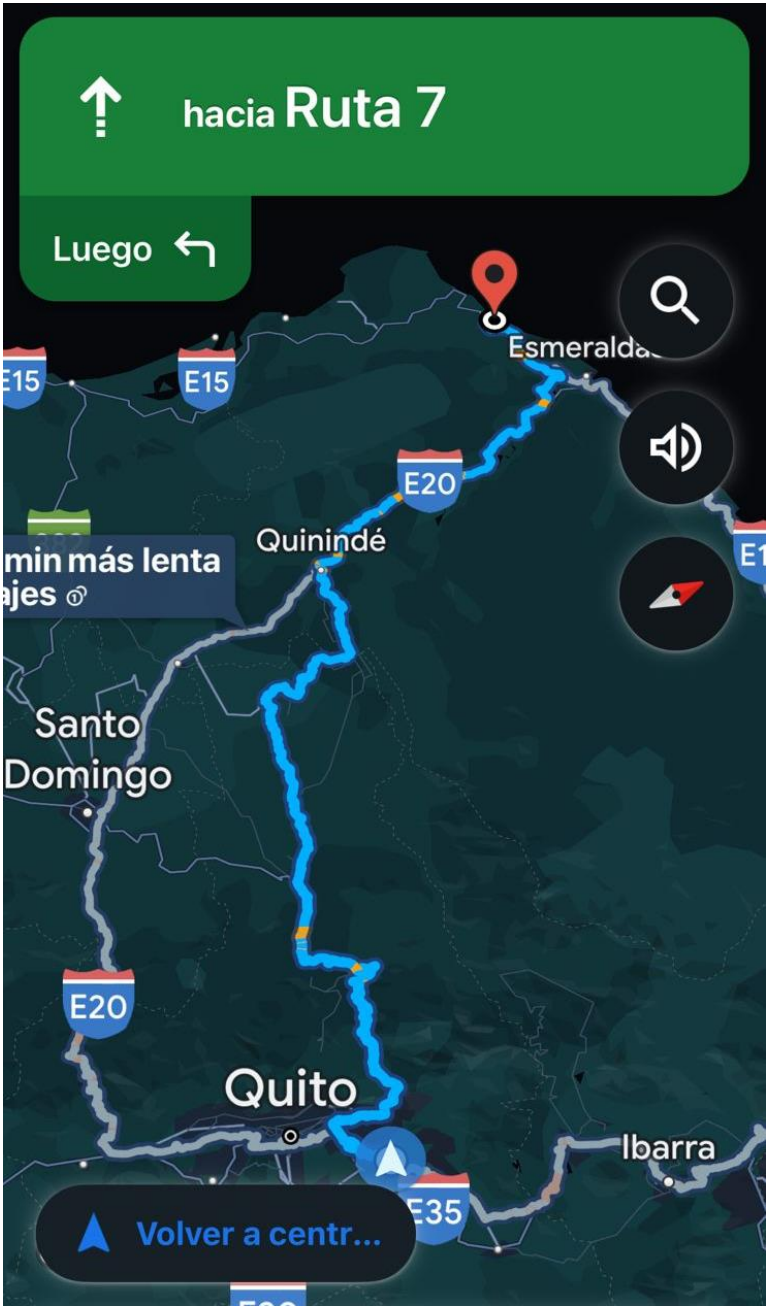
6. Bibliografía

- Aire. (2020, 28 de febrero). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:21, marzo 9, 2020 desde <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aire&oldid=123880423>.
- Atmósfera. (2018, 27 de agosto). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 05:35, agosto 28, 2018 desde <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Atm%C3%B3sfera&oldid=110216778>.
- Galileo Galilei. (2020, 7 de febrero). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:35, marzo 6, 2020 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Galileo_Galilei&oldid=123381456.
 - La atmosfera terrestre. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/la_atmosfera_terrestre/index.htm
 - La atmósfera terrestre. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/1esobiologia/1quincena5/1q5_index.htm
- Contaminación atmosférica. (2018, 26 de agosto). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 12:54, agosto 28, 2018 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica&oldid=110195850.
 - Mal de montaña - Wikipedia, la enciclopedia libre. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de https://es.wikipedia.org/wiki/Mal_de_monta%C3%B1a
 - Proyecto Biosfera. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/atmosfera/contenidos.htm>
 - (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//500/513/html/Unidad_03/pagina_1.html
 - Cevallos, I. (2015). ¿Por qué los carros en la altura pierden potencia? Recuperado de <https://www.seminuevos.com/blog/por-que-los-carros-en-la-altura-pierden-potencia/>
 - Human, D. M., Ullman, T.L. and Baines, T.M., Simulation of high altitude effects on heavyduty diesel emissions. SAE paper 900883. (1990).
 - Rakopoulos, T. (2016). Solidarity: the egalitarian tensions of a bridge-concept. *Social Anthropology*, 24(2), 142-151. doi: 10.1111/1469-8676.12298
 - Chaffin, C.A. and Ullman, T.L., Effects of increased altitude on heavy-duty diesel engine emissions. SAE Paper 940669. (1994).
 - Desantes, J.M., Lapuerta, M and Salavert, J.M., Study on independent effects of diesel engine operating conditions on nitric oxide formation and emissions through schematical combustion simulation. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 210. D02894. pp 71-80. (1996). Fenollosa, C. Aportación a la descripción

7. Anexos







RTV PARA LA CIUDAD DE QUITO

VEHÍCULOS GASOLINA (EXCEPTO MOTOS) RALENTI Y ALTAS RPM					
AÑO	HC en PPM	CO en %	O ₂ en %	TIPO FALTA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	$0 \leq X < 160$	$0 \leq X < 0,6$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$160 \leq X < 180$	$0,6 \leq X < 0,8$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$180 \leq X < 200$	$0,8 \leq X < 1$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 200$	$X \geq 1$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO
DE 1990 A 1999	$0 \leq X < 650$	$0 \leq X < 3,5$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$650 \leq X < 700$	$3,5 \leq X < 4$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$700 \leq X < 750$	$4 \leq X < 4,5$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 750$	$X \geq 4,5$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO
DE 1989 Y ANTERIORES	$0 \leq X < 950$	$0 \leq X < 6$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$950 \leq X < 1100$	$6 \leq X < 6,5$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$1100 \leq X < 1200$	$6,5 \leq X < 7$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 1200$	$X \geq 7$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO

VELOCIDAD DEL MOTOR	
RALENTI	RPM < 1100
ALTAS	RPM = 2500 (+/-50 RPM)

TIPO DE FALTA	0	CERO	VEHICULO SIN PROBLEMAS
	1	MODERADA	EL VEHICULO PASA
	2	GRAVE	EL VEHICULO PASA CONDICIONADO
	3	PELIGROSA	EL VEHICULO NO PASA

Propiedades del aire.

Según la altitud, la temperatura y la composición del aire, la atmósfera terrestre se divide en cuatro capas: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera. A mayor altitud disminuyen la presión y el peso del aire.

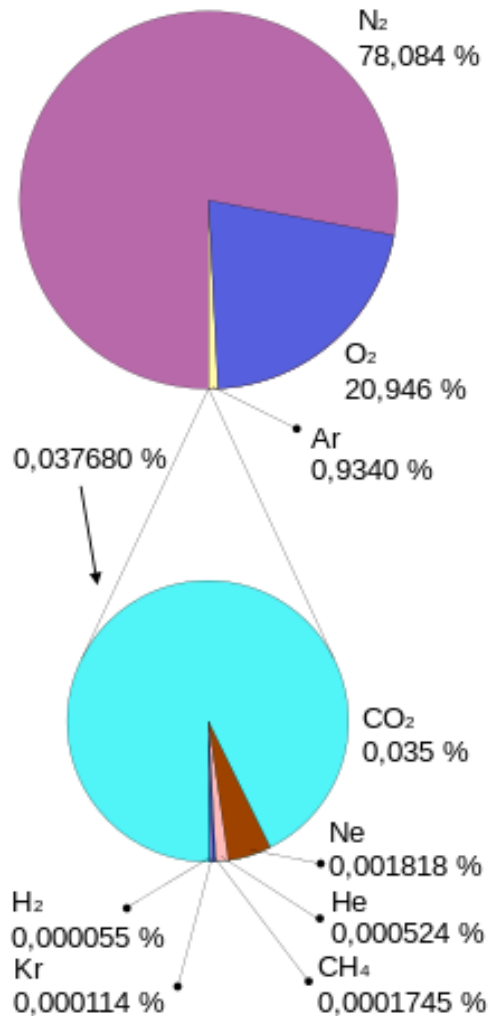
Las porciones más importantes para el análisis de la contaminación atmosférica son las dos capas cercanas a la Tierra: la troposfera y la estratosfera. El aire de la troposfera interviene en la respiración. Por volumen está compuesto, aproximadamente, por 78.08 % de nitrógeno (N₂), 20.94 % de oxígeno (O₂), 0.093 % de Argón (Ar), 0.035 % de dióxido de carbono (CO₂) y 0.003 % de gases inertes, como el neón.

En esta capa, de 7 km de altura en los polos y 16 km en los trópicos, se encuentran las nubes y casi todo el vapor de agua. En ella se generan todos los fenómenos atmosféricos que originan el clima. Más arriba, aproximadamente a 25 km de altura, en la estratosfera, se encuentra la capa de ozono, que protege a la Tierra de los rayos ultravioleta (UV).

En relación con esto vale la pena recordar que, en términos generales, un contaminante es una sustancia que está «fuera de lugar», y que un buen ejemplo de ello puede ser el caso del ozono (O₃).

Cuando este gas se encuentra en el aire que se respira, es decir bajo los 25 kilómetros de altura habituales, es contaminante y constituye un poderoso antiséptico que ejerce un efecto dañino para la salud, por lo cual en esas circunstancias se le conoce como *ozono troposférico* u *ozono malo*.

Sin embargo, el mismo gas, cuando está en la estratosfera, forma la capa que protege de los rayos ultravioleta del Sol a todos los seres vivientes (vida) de la Tierra, por lo cual se le identifica como *ozono bueno*.



Mitología

Los romanos adoraban al aire, ya bajo el nombre de Júpiter a quien tomaban por el aire más puro o por el éter, ya bajo el nombre de Juno a la cual consideraban como el aire más denso que nos rodea, ya con el de Minerva además de otras veces que solían hacer del aire una deidad particular a la que le daban por esposa la luna y por hija el rocío.

En la *Efigenia* de Eurípides Menelao toma por testigo al aire de las palabras de Agamenón, y Aristófanes cita este pasaje como un crimen cometido por Eurípides. Se le suponía educado por las estaciones para indicar las diferentes temperaturas del aire en estas cuatro épocas del año. Los modernos han representado al aire bajo la figura de una mujer sentada sobre una nube. Sus cabellos esparcidos y su ropaje ondeante anuncian que está en el imperio de los vientos. Con una mano acaricia un pavo real, ave consagrada a Juno, y con la otra sostiene un camaleón, porque suponen algunos que saca toda la subsistencia de este elemento. Vuelan alrededor de esta matrona aves de todas clases, desde el águila hasta el mosquito.

Se le da también un ropaje formado de los despojos de un águila y con frecuencia se le simboliza por medio de Iris con su velo, Juno con su pavo real o el Zéfiro con sus alas pequeñas. La estatua que representa el aire en la casa de moneda de París, es caracterizada por un pelícano puesto a sus pies, ave que se dice nacida de este fluido y que los poetas y los artistas han adoptado por su emblema alegórico. La figura dirige los ojos hacia el cielo y tiene el pie izquierdo levantado en actitud de arrojar a la región de la atmósfera. En un cuadro de Brueghel de Velours en el museo de Milán, el aire está poblado de mil pájaros, mariposas, escarabajos, insectos, etc. a los cuales observa un niño con su antejo hasta que unas nubes ligeras los ocultan a su vista.

Propiedades físicas

Temperatura [°C]	Densidad [kg/m ³]	Viscosidad absoluta [Pa s]	Viscosidad cinemática [m ² /s]	Constante particular [J/kg K]	Calor específico a presión constante [J/kg K]	Calor específico a volumen constante [J/kg K]	Coefficiente de dilatación adiabática
0	1.29	1.71×10^{-5}	1.33×10^{-5}	287	1000	716	1.40
50	1.09	1.95×10^{-5}	1.79×10^{-5}	287	-	-	-
100	0.946	2.17×10^{-5}	2.30×10^{-5}	287	1010	723	1.40
150	0.835	2.38×10^{-5}	2.85×10^{-5}	287	-	-	-
200	0.746	2.57×10^{-5}	3.45×10^{-5}	287	1020	737	1.39
250	0.675	2.75×10^{-5}	4.08×10^{-5}	287	-	-	-
300	0.616	2.93×10^{-5}	4.75×10^{-5}	287	1040	758	1.38
400	0.525	3.25×10^{-5}	6.20×10^{-5}	287	1070	781	1.37
500	0.457	3.55×10^{-5}	7.77×10^{-5}	287	1090	805	1.36

Composición del aire

El aire está compuesto principalmente por nitrógeno, oxígeno y argón. El resto de los componentes, entre los cuales se encuentran los gases de efecto invernadero, son vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono, entre otros. En pequeñas cantidades pueden existir sustancias de otro tipo: polvo, polen, esporas y ceniza volcánica. También son detectables gases vertidos a la atmósfera en calidad de contaminantes, como cloro y sus compuestos, flúor, mercurio y compuestos de azufre.

Porcentaje por volumen	
Gas	Volumen (%)
Nitrógeno (N ₂)	78,084
Oxígeno (O ₂)	20,946
Argón (Ar)	0,9340
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,035
Neón (Ne)	0,001818
Helio (He)	0,000524
Metano (CH ₄)	0,000179
Kriptón (Kr)	0,000114
Hidrógeno (H ₂)	0,000055
Óxido nitroso (N ₂ O)	0,00003
Monóxido de carbono (CO)	0,00001
Xenón (Xe)	0,000009
Ozono (O ₃)	0 a 7×10 ⁻⁶
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0,000002
Yodo (I ₂)	0,000001
Amoníaco (NH ₃)	0,0003
No incluido en aire seco:	
Vapor de agua (H ₂ O)	~0,40 % en capas altas de la atmósfera; normalmente 1 a 4 % en la superficie.

Atmosfera terrestre

La altura de la atmósfera de la Tierra alcanza los 10 000 km, aunque más de la mitad de su masa se concentra en los primeros 6 km y el 75 % en los primeros 11 km de altura desde la superficie planetaria. La masa de la atmósfera es de $5,1 \times 10^{18}$ kg.

La **atmósfera terrestre** protege la vida de la Tierra, absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta, y reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche, y actuando como escudo protector contra los meteoritos.

La composición de la atmósfera

Casi la totalidad del aire (un 95 %) se encuentra a menos de 30 km de altura, encontrándose más del 75 % en la tropósfera. El aire forma en la troposfera una mezcla de gases bastante homogénea, hasta el punto de que su comportamiento es el equivalente al que tendría si estuviera compuesto por un solo gas.

- Nitrógeno: constituye el 78 % del volumen del aire. Está formado por moléculas que tienen dos átomos de nitrógeno, de manera que su fórmula es N₂. Es un gas inerte, es decir, que no suele reaccionar con otras sustancias.

- Oxígeno: representa el 21 % del volumen del aire. Está formado por moléculas de dos átomos de oxígeno y su fórmula es O_2 . Es un gas muy reactivo y la mayoría de los seres vivos lo necesita para vivir.
- Argón: contribuye en 0,9 % al volumen del aire. Es un gas noble que no reacciona con ninguna sustancia.
- Dióxido de carbono: está constituido por moléculas de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, de modo que su fórmula es CO_2 . Representa el 0,03 % del volumen del aire y participa en procesos biológicos y climatológicos muy importantes. Las plantas lo necesitan para realizar la fotosíntesis, y es el residuo de la respiración y de las reacciones de combustión que se dan por ejemplo en un incendio forestal o en el motor de un auto. Este gas ayuda a retener mayormente el calor proveniente de radiación terrestre y atmosférica, por lo que es el principal causante del efecto invernadero.
- Ozono: es un gas minoritario que se encuentra en la estratosfera. Su fórmula es O_3 , pues sus moléculas tienen tres átomos de oxígeno. Es de gran importancia para la vida en nuestro planeta, ya que su producción a partir del oxígeno atmosférico absorbe la mayor parte de los rayos ultravioleta procedentes del Sol.
- Vapor de agua: se encuentra en cantidad muy variable y participa en la formación de nubes o la niebla. Es uno de los gases causantes del efecto invernadero.
- Partículas sólidas y líquidas: en el aire se encuentran muchas partículas sólidas en suspensión, como por ejemplo, el polvo que levanta el viento o el polen. Estos materiales tienen una distribución muy variable, dependiendo de los vientos y de la actividad humana. Entre los líquidos, la sustancia más importante es el agua en suspensión que se encuentra en las nubes.





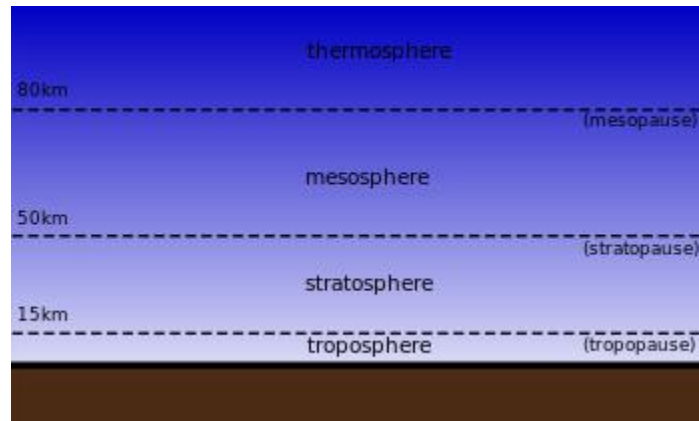
Composición química

Nitrógeno	78.08% (N ₂) ¹
Oxígeno	20.95% (O ₂)
Argón	0.93 % v/v
CO ₂	400 ppmv
Neón	18.2 ppmv
Hidrógeno	5.5 ppmv
Helio	5.24 ppmv
Metano	1.72 ppmv
Kriptón	1 ppmv
Óxido nitroso	0.31 ppmv
Xenón	0.08 ppmv
CO	0.05 ppmv
Ozono	0.03 – 0.02 ppmv (variable)
CFC	0.3-0.2 ppbv (variable)
Vapor de agua	1 % (variable) No computable para el aire seco.

Capas de la atmósfera de la Tierra

Troposfera

Está situada a unos 10 o 12 km de la superficie terrestre. Es la capa en la que se producen los movimientos horizontales y verticales del aire que son provocados por los vientos y otros fenómenos atmosféricos como las nubes, lluvias, cambios de temperatura -70°C etc.



Estratosfera

Es la capa que se encuentra entre los 10 km y los 50 km de altura. Los gases se encuentran separados formando capas o estratos de acuerdo a su peso. Una de ellas es la capa de ozono que protege a la Tierra del exceso de rayos ultravioleta provenientes del Sol. Las cantidades de oxígeno y dióxido de carbono son casi nulas y aumenta la proporción de hidrógeno. Actúa como regulador de la temperatura, siendo en su parte inferior cercana a los -60°C y aumentando con la altura hasta los 10 o 17°C . Su límite superior es la estratopausa.



Mesosfera

En esta capa la temperatura disminuye hasta los $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ conforme aumenta su altitud. Se extiende desde la estratopausa (zona de contacto entre la estratosfera y la mesosfera) hasta una altura de unos 80 km, donde la temperatura vuelve a descender hasta unos $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Su límite superior es la mesopausa.

Termosfera o Ionosfera

Es la capa que se encuentra entre los 90 y los 400 kilómetros de altura. En ella existen capas formadas por átomos cargados eléctricamente, llamados iones. Al ser una capa conductora de electricidad es la que posibilita las transmisiones de radio y televisión por su propiedad de reflejar las ondas electromagnéticas. El gas predominante es el nitrógeno. Allí se produce la destrucción de los meteoritos que llegan a la Tierra. Su temperatura aumenta desde los $-76\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta llegar a $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Su límite superior es la termopausa o ionopausa.

Exosfera

Es la capa en la que los gases poco a poco se dispersan hasta que la composición es similar a la del espacio exterior. Es la última capa de la atmósfera, se localiza por encima de la termosfera, aproximadamente a unos 580 km de altitud, en contacto con el espacio exterior, donde existe prácticamente el vacío. Es la región atmosférica más distante de la superficie terrestre. En esta capa la temperatura no varía y el aire pierde sus cualidades.

Su límite con el espacio llega en promedio a los 10 000 km, por lo que la exosfera está contenida en la magnetosfera (500-60 000 km), que representa el campo magnético de la Tierra. En esa región, hay un alto contenido de polvo cósmico que cae sobre la Tierra y que hace aumentar su peso en unas 20 000 toneladas. Es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio interplanetario y en ella se localizan los satélites artificiales de órbita polar. En la exosfera, el concepto popular de temperatura desaparece, ya que la densidad del aire es casi despreciable; además contiene un flujo o bien llamado plasma, que es el que desde el exterior se le ve como los Cinturones de Van Allen. Aquí es el único lugar donde los gases pueden escapar ya que la influencia de la fuerza de la gravedad no es tan grande. En ella la ionización de las moléculas determina que la atracción del campo magnético terrestre sea mayor que la del gravitatorio (de ahí que también se la denomina magnetosfera). Por lo tanto, las moléculas de los gases más ligeros poseen una velocidad media que les permite escapar hacia el espacio interplanetario sin que la fuerza gravitatoria de la Tierra sea suficiente para retenerlas. Los gases que así se difunden en el vacío representan una pequeñísima parte de la atmósfera terrestre.

Los principales gases dentro de la exosfera son los gases más ligeros:

- Hidrógeno
- Helio
- Dióxido de carbono
- Oxígeno atómico

Características y propiedades

Composición

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra.

Está formada por aire y partículas en suspensión. El aire es una mezcla gaseosa en distinta **proporción**, los más importantes son: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y otros gases en menor proporción.

En la atmósfera también flotan diversas cantidades de partículas diminutas como polen, arena fina, cenizas volcánicas, bacterias...

Todas ellas componen el polvo atmosférico.

Densidad

La **densidad** de la atmósfera disminuye conforme ascendemos en altura.

Cuando subimos a la cima de una montaña, o a un punto de una ladera muy elevada, decimos que el aire está "enrarecido" porque la mayor parte de la masa del aire está en las zonas bajas atraído por la gravedad de la Tierra y está como "aplastado" por su propio peso y cuanto más ascendemos más liviano, tenue y ligero es el aire.

Color

Durante el día y desde la superficie terrestre, el color de la atmósfera se ve azul.

Esto se debe a que la luz del Sol, que se compone de varios **colores**, es dispersada por las moléculas de aire, de manera que a nuestros ojos llega principalmente el azul.

Al atardecer o en el amanecer los rayos inciden de forma oblicua en la Tierra, realizan un mayor recorrido hasta alcanzar la superficie terrestre. Durante este camino se absorben todos los colores y sólo llegan los rojizos.

2. Capas de la atmósfera

La atmósfera es la capa de gases que rodea la **geosfera** del planeta. Como hemos visto en el apartado anterior, la atmósfera es rica en gases pero éstos no se distribuyen de forma homogénea sino que se distribuyen en capas. La atmósfera terrestre se divide en las siguientes capas:

- **Troposfera**

- **Estratosfera**
- **Mesosfera**
- **Termosfera o ionosfera**
- **Exosfera**

Las divisiones entre una capa y otra se denominan respectivamente tropopausa, estratopausa, mesopausa y termopausa.

La atmósfera es la responsable de la formación de los **fenómenos atmosféricos**, filtra las radiaciones solares e impide la pérdida excesiva de calor.

Troposfera

La **troposfera** es la capa de la atmósfera que está en contacto con la superficie de la Tierra, en esta capa ocurren todos los fenómenos meteorológicos que influyen en los seres vivos, como los vientos, la lluvia y los huracanes.

En la troposfera, el aire alcanza su máxima densidad ya que aquí se concentra la mayor parte del oxígeno y del vapor de agua. En particular este último actúa como un regulador térmico del planeta; sin él, las diferencias térmicas entre el día y la noche serían tan grandes que no podríamos sobrevivir.

La **temperatura** disminuye con la altitud. Por cada kilómetro que se asciende, disminuye en 6,5 °C aproximadamente.

Contaminación atmosférica

🌐 89 idiomas ▾

Artículo [Discusión](#)

[Leer](#) [Editar](#) [Ver historial](#) [Herramientas](#) ▾

Esta es una [versión antigua](#) de esta página, editada a las 03:04 26 ago 2018 por [181.141.1.76](#) ([discusión](#)). La dirección URL es un [enlace permanente](#) a esta versión, que puede ser diferente de la [versión actual](#).

(difs.) ← [Revisión anterior](#) · [Ver revisión actual](#) (difs.) · [Revisión siguiente](#) → (difs.)

Se entiende por *contaminación atmosférica* a la presencia en el [aire](#) de [materias](#) o formas de [energía](#) que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza,¹ así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

Desde que la Revolución Industrial que inició, en la segunda mitad del siglo XVIII, los procesos de producción en las fábricas, el desarrollo del transporte y el uso de los combustibles han incrementado la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera y otros gases que son muy perjudiciales para la salud, como los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno.

La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o global, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores.



Esta planta generadora de Nuevo México libera [dióxido de azufre](#) y otros contaminantes del aire. 🔍

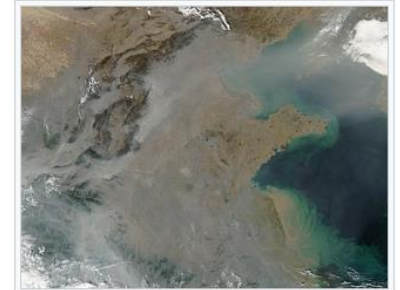
Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios

Los **contaminantes primarios** son los que se emiten directamente a la atmósfera² como el **dióxido de azufre** SO₂, que daña directamente la **vegetación** y es irritante para los **pulmones**.

Los **contaminantes secundarios** son aquellos que se forman mediante **procesos químicos** atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera.² Son importantes contaminantes secundarios el **ácido sulfúrico**, H₂SO₄, que se forma por la **oxidación** del SO₃, el **dióxido de nitrógeno** NO₂, que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el **ozono**, O₃, que se forma a partir del **oxígeno** O₂.

Ambos contaminantes, primarios y secundarios pueden depositarse en la superficie de la tierra por precipitación, deposición seca o húmeda e impactar en determinados receptores, como personas, animales, **ecosistemas acuáticos**, bosques, cosechas y materiales. En todos los países existen unos límites impuestos a determinados contaminantes que pueden incidir sobre la **salud** de la población y su bienestar.

En España, existen funcionando en la actualidad diversas **redes de vigilancia de la contaminación atmosférica**, instaladas en las diferentes **Comunidades Autónomas** y que efectúan medidas de una variada gama de contaminantes que abarcan desde los óxidos de azufre y nitrógeno hasta **hidrocarburos**, con sistemas de captación de partículas, monóxido de carbono, ozono, **metales pesados**, etc.³

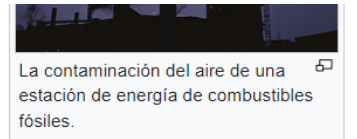


Contaminación atmosférica severa en China.



Principales tipos de contaminantes del aire

- **Contaminantes gaseosos**: en ambientes exteriores e interiores los vapores y contaminantes gaseosos aparecen en diferentes concentraciones. Los contaminantes gaseosos más comunes son el **dióxido de carbono**, el **monóxido de carbono**, los **hidrocarburos**, los **óxidos de nitrógeno**, los óxidos de azufre y el **ozono**. Diferentes fuentes producen estos compuestos químicos pero la principal fuente artificial es la quema de **combustible** fósil. La contaminación del aire interior es producida por el consumo de **tabaco**, el uso de ciertos materiales de construcción, productos de limpieza y muebles del hogar. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de **volcanes**, e **industrias**. El tipo más comúnmente reconocido de contaminación del aire es la niebla tóxica (**smog**). La niebla tóxica generalmente se refiere a una condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores, fábricas, edificios, casas, etc.
- Los aerosoles: un **aerosol** es una **mezcla heterogénea** de **partículas sólidas** o **líquidas** suspendidas en un **gas** como el aire de la atmósfera.² Algunas partículas son lo suficientemente grandes y oscuras para verse en forma de hollín o humo. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse con un **microscopio electrónico**. Cuando se respira el polvo, ésta puede irritar y dañar los **pulmones** con lo cual se producen problemas respiratorios. Aerosoles de carbono negro tienen la capacidad de absorber compuestos cancerígenos en su superficie.⁴ Las partículas finas se inhalan de manera fácil profundamente dentro de los pulmones donde se pueden absorber en el torrente sanguíneo o permanecer arraigadas por períodos prolongados de tiempo.



La contaminación del aire de una estación de energía de combustibles fósiles.

Gases contaminantes de la atmósfera

CFC y similares

Artículo principal: [CFC](#)

Desde los años 1960, se ha demostrado que los clorofluorocarburos tienen efectos potencialmente negativos: contribuyen de manera muy importante a la destrucción de la [capa de ozono](#) en la [estratosfera](#), así como a incrementar el [efecto invernadero](#). El [protocolo de Montreal](#) puso fin a la producción de la gran mayoría de estos productos.

- Utilizados en los sistemas de refrigeración y de climatización por su fuerte poder conductor, son liberados a la [atmósfera](#) en el momento de la destrucción de los aparatos viejos.
- Utilizados como aerosol, una parte se libera en cada utilización. Los aerosoles utilizan de ahora en adelante otros gases sustitutos, como el CO₂.

Monóxido de carbono

Artículo principal: [Monóxido de carbono](#)

Es uno de los productos de la [combustión](#) incompleta. Es peligroso para las personas y los animales, puesto que se fija en la [hemoglobina](#) de la [sangre](#), impidiendo el transporte de [oxígeno](#) en el organismo. Además, es inodoro, y a la hora de sentir un ligero dolor de cabeza ya es demasiado tarde. Se diluye muy fácilmente en el aire ambiental, pero en un medio cerrado, su concentración lo hace muy tóxico, incluso mortal. Cada año, aparecen varios casos de intoxicación mortal, a causa de aparatos de combustión puestos en funcionamiento en una habitación mal ventilada.

Los motores de combustión interna de los automóviles emiten monóxido de carbono a la atmósfera por lo que en las áreas muy urbanizadas tiende a haber una concentración excesiva de este gas hasta llegar a concentraciones de 50-100 ppm,² tasas que son peligrosas para la salud de las personas.

Dióxido de carbono

Artículo principal: [Dióxido de carbono](#)

La concentración de CO₂ en la atmósfera está aumentando de forma constante debido al uso de carburantes fósiles como fuente de energía² y es teóricamente posible demostrar que este hecho es el causante de producir un incremento de la temperatura de la Tierra –[efecto invernadero](#)–² La amplitud con que este efecto puede cambiar el clima mundial depende de los datos empleados en un modelo teórico, de manera que hay modelos que predicen cambios rápidos y desastrosos del clima y otros que señalan efectos climáticos limitados.² La reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera permitiría que el [ciclo total del carbono](#) alcanzara el equilibrio a través de los grandes [sumideros de carbono](#) como son el [océano](#) profundo y los [sedimentos](#), que está formado por una molécula lineal de un átomo de carbono ligado a dos átomos de oxígeno de forma $O=C=O$

Monóxido de nitrógeno

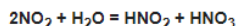
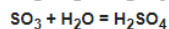
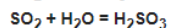
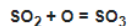
Artículo principal: [Óxido de nitrógeno \(II\)](#)

También llamado [óxido de nitrógeno \(II\)](#) es un gas incoloro y poco soluble en agua que se produce por la quema de [combustibles fósiles](#) en el transporte y la industria. Se oxida muy rápidamente convirtiéndose en [dióxido de nitrógeno](#), NO₂, y posteriormente en [ácido nítrico](#), HNO₃, produciendo así [lluvia ácida](#) o efecto invernadero

Dióxido de azufre

Artículo principal: [Dióxido de azufre](#)

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión del carbón que contiene azufre. El SO₂ resultante de la combustión del azufre, que se oxida y forma **ácido sulfúrico**, H₂SO₄ un componente de la llamada lluvia ácida que es nocivo para las plantas, provocando manchas allí donde las gotitas del ácido han contactado con las hojas.²



La **lluvia ácida** se forma cuando la **humedad** en el **aire** se combina con el **óxido de nitrógeno** o el **dióxido de azufre** emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman **carbón** o **aceite**. Esta combinación química de **gases** con el **vapor de agua** forma el **ácido sulfúrico** y los **ácidos nítricos**, sustancias que caen en el suelo en forma de precipitación o lluvia ácida. Los contaminantes que pueden formar la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con el **rocío**, la **llovizna**, o **lluvia**, el **granizo**, la **nieve** o la **niebla** normales del lugar, que se vuelven **ácidos** al combinarse con dichos gases residuales.

El SO₂ también ataca a los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales **carbonatados**, como la piedra **caliza** o el **mármol**, formando sustancias solubles en el agua y afectando a la integridad y la vida de los edificios o esculturas.

Metano

Artículo principal: [Metano](#)

El metano, CH₄, es un gas que se forma cuando la **materia orgánica** se descompone en condiciones en que hay escasez de oxígeno; esto es lo que ocurre en las ciénagas, en los pantanos y en los arrozales de los países húmedos tropicales. También se produce en los procesos de la **digestión** y **defecación** de los **animales herbívoros**.

El metano es un **gas de efecto invernadero** del planeta Tierra ya que aumenta la capacidad de retención del calor por la atmósfera.

Ozono

Artículo principal: [Ozono](#)

El ozono O₃ es un constituyente natural de la atmósfera y es considerado un contaminante cuando se encuentra en las capas más bajas de ella (**troposfera**).

Su concentración a nivel del mar, puede oscilar alrededor de 0,01 mg kg⁻¹. Cuando la contaminación debida a los gases de escape de los automóviles es elevada y la radiación solar es intensa, el nivel de ozono aumenta y puede llegar hasta 0,1 mg kg⁻¹.

Las plantas pueden ser afectadas en su desarrollo por concentraciones pequeñas de ozono. El hombre también resulta afectado por el ozono a concentraciones entre 0,05 y 0,1 mg kg⁻¹, causándole irritación de las fosas nasales y garganta, así como sequedad de las mucosas de las vías respiratorias superiores.⁵

Efectos de los gases de la atmósfera en el clima

- El efecto **invernadero** evita que una parte del calor recibido desde el sol deje la **atmósfera** y vuelva al espacio. Esto calienta la superficie de la Tierra. Existe una cierta cantidad de gases de efecto de **invernadero** en la atmósfera que son absolutamente necesarios para calentar la Tierra, pero en la debida proporción. Actividades como la quema de **combustibles** derivados del carbono aumentan esa proporción y el efecto invernadero aumenta. Muchos científicos consideran que como consecuencia se está produciendo el **calentamiento global**. Otros gases que contribuyen al problema incluyen los **clorofluorocarbonos** (CFC), el **metano**, los **óxidos nitrosos** y el **ozono**.
- Daño a la **capa de ozono**: el ozono es una forma de **oxígeno** O_3 que se encuentra en la atmósfera superior de la tierra. El daño a la capa de ozono se produce principalmente por el uso de **clorofluorocarbonos** (CFC). La capa fina de moléculas de ozono en la atmósfera absorbe algunos de los **rayos ultravioletas** (UV) antes de que lleguen a la superficie de la tierra, con lo cual se hace posible la vida en la tierra. El agotamiento del ozono produce niveles más altos de radiación UV en la tierra, con lo cual se pone en peligro tanto a plantas como a animales.



Sustancias que provienen de fuentes naturales

Algunas sustancias que se encuentran en la atmósfera tienen un origen natural, por lo que no son contaminantes en un sentido estricto:

- Los **incendios forestales** emiten partículas, gases y sustancias que se dispersan en la **atmósfera**. El penacho de humo asociado a un incendio forestal puede llegar a alcanzar los 10 km de altura y penetrar en la **estratosfera**.
- Partículas de polvo creadas por la **erosión** del suelo cuando el agua y el clima sueltan capas del suelo, aumentan los niveles de partículas en suspensión en la atmósfera.
- **Aerosoles** de pequeño tamaño generados por la oxidación de **COVs** de origen biológico.
- Los volcanes arrojan **dióxido de azufre** y cantidades importantes de roca de **lava** pulverizada conocida como cenizas volcánicas.
- El **metano** se forma en los procesos de pudrición de **materia orgánica** y daña la capa de ozono. Puede acumularse en el subsuelo en altas concentraciones o mezclado con otros **hidrocarburos** formando como bolsas de **gas natural**.

Efectos nocivos para la salud

Muchos estudios han demostrado enlaces entre la contaminación y los efectos para la salud.⁶

Los aumentos en la contaminación del aire se han ligado a quebranto en la función pulmonar y aumentos en los **ataques cardíacos**. "Niveles altos de contaminación atmosférica según el Índice de Calidad del Aire de la **Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos** (EPA, por sus siglas en inglés) perjudican directamente a personas que padecen **asma** y otros tipos de enfermedad pulmonar o cardíaca". La calidad general del aire ha mejorado en los últimos 20 años pero las zonas urbanas son aún motivo de preocupación. Los ancianos y los niños son especialmente vulnerables a los efectos de la contaminación del aire. Un estudio⁷ publicado en la revista *Environment International* cifra en 6 085 las personas muertas prematura y evitablemente al año en España (un país de aire no excesivamente contaminado y 47,0 millones de habitantes en 2010) por exceso de dióxidos de nitrógeno en la atmósfera, 499 por ozono troposférico y 2 683 por partículas, todo durante el período 2000-2009.

Efectos nocivos para la salud

Muchos estudios han demostrado enlaces entre la contaminación y los efectos para la salud.⁶

Los aumentos en la contaminación del aire se han ligado a quebranto en la función pulmonar y aumentos en los **ataques cardíacos**. "Niveles altos de contaminación atmosférica según el Índice de Calidad del Aire de la **Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos** (EPA, por sus siglas en inglés) perjudican directamente a personas que padecen **asma** y otros tipos de enfermedad pulmonar o cardíaca". La calidad general del aire ha mejorado en los últimos 20 años pero las zonas urbanas son aún motivo de preocupación. Los ancianos y los niños son especialmente vulnerables a los efectos de la contaminación del aire. Un estudio⁷ publicado en la revista *Environment International* cifra en 6 085 las personas muertas prematura y evitablemente al año en España (un país de aire no excesivamente contaminado y 47,0 millones de habitantes en 2010) por exceso de dióxidos de nitrógeno en la atmósfera, 499 por ozono troposférico y 2 683 por partículas, todo durante el período 2000-2009.

El nivel de riesgo depende de varios factores:

- La cantidad de contaminación en el aire.
- La cantidad de aire que respiramos en un momento dado.
- La salud general.

Otras maneras menos directas en que las personas están expuestas a los contaminantes del aire son:

- El consumo de productos alimenticios contaminados con sustancias tóxicas del aire que se han depositado donde crecen,
- Consumo de agua contaminada con sustancias del aire,
- Contacto con suelo, polvo o agua contaminados

Unos de los síntomas más comunes que se presentan en la salud humana a causa de la contaminación atmosférica son:

- Mareos fuertes e intensos dolores de cabeza.
- Si el aire contaminado se inhala en gran cantidad puede ocasionar la muerte.

Dispositivos de control

Los siguientes instrumentos son utilizados comúnmente como dispositivos de control de contaminación en la industria o en vehículos. Pueden transformar contaminantes o eliminarlos de una corriente de salida antes de ser emitidos a la atmósfera.

- **Precipitadores electrostáticos, y filtros de aire**
- **Carbón activado**
- **Condensadores**
- **Convertidores catalíticos**
- **Recirculación de gases de escape**
- **Desulfuración de gas de flujo y otros gas scrubbers**
- **Columnas incineradoras**

1990-04-01

Simulation of High Altitude Effects on Heavy-Duty Diesel Emissions 900883

Exhaust emissions from heavy-duty diesel engines operating at high altitude are of concern. EPA and Colorado Department of Health sponsored this project to characterize regulated and selected unregulated emissions from a naturally-aspirated Caterpillar 3208 and a turbocharged Cummins NTCC-350 diesel engine at both low altitude and simulated high altitude conditions (\approx 6000 ft). Emissions testing was performed over cold- and hot-start transient Heavy-Duty-Federal Test Procedure (HD-FTP) cycles as well as selected steady-state modes. In addition, the turbocharged engine was operated with mechanically variable and (fixed) retarded fuel injection timing to represent "normal" and "malfunction" conditions, respectively.

High altitude operation generally reduced NO_x emissions about 10 percent for both engines. Average composite HD-FTP emissions of HC, CO, particulate matter, and aldehydes measured at high altitude for the naturally-aspirated engine were 2 to 4 times the levels noted for low altitude conditions. The same emission constituents from the turbocharged engine at high altitude with "normal" timing were 1.2 to 2 times the low altitude levels, but were 2 to 4 times the low altitude levels with "malfunction" timing.

Solidarity: The egalitarian tensions of a bridge-concept

Introduction to The other side of the crisis: Solidarity networks in Greece

In this themed section, we aim to un-wrap the bundle of *solidarity*, a term ascribed to a variety of practices and actions borne out of current moments of 'crisis' associated with the disastrous politics of austerity. For a concept so resonant in current events, and with conceptual cognates with a long history in anthropology (such as reciprocity), solidarity has not received the attention it deserves from ethnographers (see Gill and Kasmir 2008). The ethnographic site of our urgent, yet long-engaged, attention is Greece.

The section establishes solidarity as a concept that bridges—that is, captures loosely and yet in tension—diverse modes of practice, forms of sociality, and mechanisms of

envisioning future prospects for people's lives. It links diverse networks of people and sometimes contradictory meanings in the context of anti-austerity mobilisation. The idea of solidarity as a conceptual bridge in people's actions and understandings of selfhood in crisis links our common inquiry and lodges it within broader discussions of crisis.

The three essays present ethnographic insights into how people respond to crisis and austerity, focusing on research interlocutors' engagement in 'solidarity networks, or 'solidarity economies', to use the native term. The section does not claim to provide definitive final words on solidarity, in a rapidly changing reality. It is instead an opening gesture, indicating possible future research routes, but also examining, practices of sharing that involve aid to the other and social connectedness in their making.

Solidarity histories

Solidarity is not an exogenous analytical concept, but an idea inspiring people in contexts of everyday life in crisis. In an array of activities that include social clinics, social pharmacies, anti-middleman food markets, and soup kitchens, the grassroots solidarity economy of a country threatened by rapid pauperisation has borne a vivid reality that emerged during (and perhaps partly because of) the 'crisis'. These voluntary associations have exploded across Greece since the deepening of austerity-driven structural adjustment in mid-2011. They are providing local services of care and support to citizens and non-citizens, including immigrants and refugees, cutting out market brokers and provisionally substituting for state welfare (Rakopoulos 2015a).

Many dominant approaches see crisis as a liminal stage of uncertainty between periods of normality (for instance, Xafa 2015). In particular, the idea of crisis as a rupture in the normative order in Greece permeates the public sphere and also holds some currency among serious anthropological interpretations (see Knight 2015: 3). However, Greece's crisis is not an 'exceptional' condition (see Rakopoulos 2014a: 191-194); it is in fact organic to capitalist processes of debt 'management' (Bear 2015). Similarly, solidarity itself, the 'other side of crisis' (Cabot this issue), while novel in many ways, is not radically new. The quotidian practices that comprise solidarity are, in fact, vested in existing value systems that shape the composition of everyday life (Faubion 1993; Papataxiarchis 2006), bringing to the fore dormant practices of reciprocity.

These forms of innovation and adaptation in austerity Greece offer a valuable epistemological vantage point. We are urged to rethink the crisis as political cosmogony, in which conceptual and practical reshufflings are taking place. In the crisis' unsettling configurations, temporary bridges are built over rising gaps between state and society, as services collapse; seemingly firm, though perhaps temporary, modalities of sociality come to the fore; and bond structures based on 'traditional' idioms are both resuscitated and reconfigured.

Practices of resource pooling and women's empowerment for instance (du Boulay 1991; Dubisch 1984) have long operated within and alongside the "segmentary" relations chronicled by many ethnographers, since the times of Campbell's model of a mountainous inner Greece (1964). Claims to solidarity creatively refashion this pre-existing repertoire. What is more, solidarity and "segmentary" logics may not necessarily be antithetical, but

often operate in tandem (see Theodossopoulos this issue). Solidarity has not parachuted into the current Greek predicament but rather has, at least in part, sprung organically from structures of mutuality. I thus propose solidarity as a bridge, which situates persons in relation and inter-dependence, and ties the contingencies of the political present to existing (even “deep”) practices of survival and sociality.

I became interested in this bridging element while exploring the anti-middleman markets of food distribution in Thessaloniki and (to a lesser extent) Athens (2015a), which emerged in often impromptu ways to tackle the deteriorating livelihood conditions of many residents. Working with solidarity economy activists, I noted especially how solidarity interacts with or reconfigures longstanding social ties, frameworks of belonging, and institutional venues that may, at first, seem to be in tension. Solidarity claims underscore the involvement of activists as a form of political education that brings ‘movementality’ (*kinimatikotita*) forward, as a stake that faces up to the conditions of austerity (Rakopoulos 2015b). At the same time solidarity participants draw on ideas of forming a *horio* (a village), an egalitarian idiom where a community of equals is imagined and wherein mutual aid emerges as at once a material concern and a cosmological bond, however brief. Mutual aid, *allilovoithia*, has been central to the Greek-speaking village world (Loizos 1975).

In this respect, solidarity practices are at once specific to crisis and austerity *and* an issue with a sociocultural history of its own. These practices emerged in rural contexts and are extrapolated to the three main urban centres of the country: Athens, Thessaloniki, and Patras. The re-contextualisation of village-hood is thus crucial to solidarity. The structural formation of Greek urbanisation should also be taken into account, as ‘urban and rural life are so intertwined that the one cannot be understood without reference to the other’ (Just

2000: 28). Cityfolk partake in memories and rituals they have brought from the villages from which they migrated (Panourgia 1995), which imbue even left-inspired urban solidarity. Such practices of bonding through social service work in neoliberal welfare times (Fassin 2005) are wider and more inclusive than kinship ties. In bringing together urban and rural domains through mutual aid, solidarity networks thus give rise to new visions of belonging that, unlike the nation, are not grounded on the entrenched “metaphor” of blood relatedness and shared descent (see Herzfeld 2007).

Solidarity bridges: sociality

The section views solidarity practices as contexts in which selves-in-relationality are forged, in ways that are indeed distinctive and reflect the current conditions of crisis and austerity. In my fieldwork on the food solidarity movement, I found that people bridged broader problematics in the Greek polity with their grassroots everyday struggles. Interlocutors involved in Thessaloniki’s food solidarity economy often shared mixed feelings of hope and suspicion towards what seemed like “a culture” imposed on them by EU technocratic jargon (much akin to what Herzfeld notes in 2016: 11). The constellation of groups these people partake in has experienced a series of transmogrifications between 2012 and 2016, often responding to state activity. For instance, the groups have undergone penalisation for their ‘illicit’ conduct, including squatting on public squares without a license, while engaging farmers more steadily has been a challenge that led to disappointments and disengagements. During the development of the food solidarity movement, participants often correlated their hopes with the rise of a left government in

the form of SYRIZAⁱ and the prospect of more official cooperativisation (Rakopoulos 2015b: 166-169), with often very ambiguous results (Rakopoulos 2016).

Aspects of struggle ambivalence, agonism, and *othering* persist in and through solidarity economy's inclusionary practices. Solidarity's greatest *other* is, however, the austerity-driven crisis; as an informant told me, it can be seen as 'the other side of the crisis', while Cabot recalls an informant talking of the 'two-faced crisis,' where misery is juxtaposed to solidarityⁱⁱ. The ethnographic currency here shows how "solidarians"ⁱⁱⁱ constitute their practice as an antidote to the crisis.

This raises a point whose scope extends well beyond conventional taxonomies of volunteer commitment, and into the entrenched practicalities of urgent everyday-life matters within crisis (Redfield 2013). Specifically, solidarity cannot be conceived outside the backdrop that austerity has carved, as it arises as an alternative horizon for people's lifeworlds, while dictating immediate action. It develops in antithesis to the broader conceptual framework that the normativity of Eurocracy has brought about in Greece.

This relationship between solidarity and austerity highlights two issues: first, how solidarity practices and paradigms overlap with and diverge from other support frameworks, such as philanthropy, in contested dialogues with the politics of the Left; and second, how many interlocutors frame solidarity as providing an antidote to the alienation and atomisation incited by both neoliberalism and the indifference of state bureaucratic culture (Herzfeld 1992). The sociality these networks elicit, aside from services, forges new forms of social engagement and potentially also mutual understanding. These include the immediacy of livable livelihood by way of food (Theodossopoulos, this section), new access to health provisions (Cabot) and the negotiation of refugee accommodations (Rozakou).

The 'bridge-concept' solidarity thus arises out of present contradictions, images of the future, and an enduring engagement in anti-austerity activist sentiment. It also operates as the vector of inter-domestic informal links among temporary forms of relatedness (Rakopoulos 2015a). The social lives pertaining to the formation of these groups, as well as the social lives developing within them, inform our approach to *sociality*.

Although (or because) sociality has a long-standing resonance in anthropology, it is often in need of a working definition. It is widely understood to refer to the social life arising from people's association with others and formulation of social groups, however short-lived. I see sociality as a processual notion, allowing us to explore how social life changes in crisis, taking up new or reconfiguring erstwhile idioms and directions along the way (Long and Moore 2014). Here, its political undertones dictate a strong link to citizenship and a re-humanising of 'the other', especially in the context of refugee arrivals to Greek shores, and from there to 'Europe'.

Sociality has been crucial in analyses of hospitality, so central to the current refugee arrivals to Greece, Europe's gateway (Cabot 2013, 2014; also Papataxiarchis 2014) – an inclusive concept that rests on vested understandings of a social value that can entail the 'triumph of identity over alterity' (Papataxiarchis 2006: 7). The work of solidarity (as in Rozakou's paper), stands in stark contrast with current discourses portraying refugee persons as 'rivers', 'waves', or 'flows' - aquatic metaphors that seem to tolerate (if not indeed suggest) a dehumanising, macabre merging of liquidated personhood (water into water). This rehumanising sociality takes place through materials (pharmaceuticals and

food) and establishes informal formations of social groups operating within the solidarity economy.

The essays stress such connectedness, looking at the configurations of activities laying politicised claims to solidarity. They consider solidarity in terms of the production of the political through the everyday relatedness of sociality. After all, the anti-austerity indignation (Theodossopoulos 2014) is not just a transient *cri de coeur* but a consequence of a global ideological debate that contrasts basic values for the livelihoods of Greeks. The dialectics and tensions between informal and official speech in Greece (Herzfeld 1997) here inform solidarity's social life, where informality and politics are not a "feature" but, rather, the very defining drive in "solidarian" agency. As groups provide horizontal social service provision, and support austerity-ridden communities, they constitute themselves as informal networks and draw on existing or newly-founded bonds. Rather than reinforcing a unitary or explicit conceptualisation of the "political," the specific understandings and reflections of people involved in such activity, driven by both political stances and feelings of inclusiveness and participation (Rozakou 2012: 517; cf Gara and Rozakou 2013), are most important here.

Research participants articulate their experiences of informal sociality as outcomes of the crisis' hardships and the strategies deployed to overcome it, while being suspicious of formalisation and officialisation. Spontaneity is an organisational characteristic of emergent urban solidarity spaces, articulated around horizontal formations and informal activist networks (Arampatzi 2016). Entangled in a number of localized relationships, solidary activities express informal economy configured across dependencies that include friendship (Rozakou), humanitarian affect (Theodossopoulos) and bodily becomings as the embodiment of change (Cabot).

The oft suspicion of solidarity participants towards officialdom articulates with the socialising premises of the Greek solidarity economy. Despite the many inclusionary aspects apparent in the term, it also has a perplexing and often polemic nature, antagonistic to other forms of welfare provision. Research participants frequently emphasize how solidarity networks are distinct from the NGO and Non-profit sectors (as is evident in the critiques of 'charity', see Theodossopoulos). This emic process of differentiating solidarity from other humanitarian forms of praxis can be traced to solidarity's political origins in social struggles against austerity. Yet these distinctions are themselves deeply contested, and there are crucial blurrings between solidarity and humanitarian aid discourses, due to the "humanising" attributes of solidarity. Processes of distinction are thus often subject to internal critiques within solidarity networks, which are currently expanding to include initiatives previously identified as charity^{iv}.

Solidarity as the other side of crisis: From Koselleck to Polanyi

Solidarity often acts as a conceptual bridge between imagined siblings: 'fraternity' was the original conception of political modernity (as per the French revolution) before 'solidarity' took its place, suggesting a move away from family and the immediate *Gemeinschaft* towards the broader political community of *Anthropos*. This wider humanistic sense allowed the imagining and encompassing of remote relations in a polity whose scope transcended immediate, face-to-face allegiances. Resistance to austerity through solidarity can offer a diagnostic of broader visions of the neoliberal crisis and its relationship to knowledge, citizenship's articulations with post-kinship idioms, and indeed with democracy.

The term 'solidarity economy' has implications for how we conceive the relationship between economy and democracy, as well as civil society (Laville 2010; Hart 2015). Rethinking the term's genealogies, we are reminded that solidarity has been a foundational concept for modern democracy – an ambiguous one when linked to actors' specific political affiliations – and a concept too slippery to be universally intelligible. Democracy is crucially understood by the Left as equity in the accessibility of material resources (Bobbio 1997) and the solidarity economy disseminates and ameliorates precisely that accessibility –acting as a material bridge in an immediate way.

This point needs attention. Economists suggest trade-offs between solidarity at the crisis' micro and inequality at the macro levels (Giannitsis and Zografakis 2015: 113). But as 'response to crisis' is less an explanation than a description, establishing solidarity as a bridge-concept can help. It saves us from viewing the solidarity economy as simply filling in the gaps left by the welfare state's collapse, and allows thinking beyond simplistic Polanyian teleologies in the postulation of societal responses, in analyses that perceive society's double-movement akin to an automaton (Polanyi 2001; Burawoy 2010: 301-301). Seeing the solidarity economy as a mechanistic reaction to the hardships people encounter due to austerity misses out on the connectedness that solidarity constructs. Instead, the Polanyian double movement here poses an intriguing dialectic: solidarity networks are at once an offspring of the crisis and a means to contain some of its most dreadful results. This reflects the apparent oxymoron in the rising ethics of caring in neoliberal times, at once bolstered by precarity and raised against it (Muehlebach 2012).

The argument on connectedness resonates with the almost viral, ‘contagious’ spread of welfare services within the crisis (Cabot). This perplexing and even contradictory configuration should be understood bearing in mind the conceptual history of crisis itself, as well as the forms in which austerity prompts people to reshuffle their temporal consciousness. Reinhart Koselleck’s argument that crises make contradictions become visible everywhere in society (2002: 243; 2006) is a starting point.

Koselleck provides further background to crisis’ ambiguities and contradictions , noting how the Greek word *κρίσις* implies both catastrophe but also judgment (2006). Crisis is thus a term more complex than its economistic reductions. The solidarity networks that emerged across and against such declines and conflicts, and their fluctuations in 6 years of crisis, bear witness to that rich complexity. Anthropologists following Koselleck (cf Rakopoulos 2015a: 89; Knight and Stewart 2016: 11), have also noted the continuing political potential of the crisis term. They acknowledge how it can nurture a “public sphere of solidarity” (Kirmayer 1996: 189) and can include active “routine contentions” of dissent (Goddard 2006: 268).

Such is the dynamic potential of solidarity, claimed as an antidote to the crisis. Similarly, the situational approach of these papers brings forward a Gluckmanian grasp of ‘a total context of crisis’, where crisis is understood as a ‘particular tension or turning, a point of potentiality and of multiple possibility’ (Kapferer 2005: 89). Max Gluckman’s crisis as an opening of possibilities and as turning point suggests how solidarity operates as the opposite of austerity within an overall condition of crisis.

It is in that respect that I understand solidarity as interpretable as one of the crisis' ambivalent fluctuations and not simply as a factor outside or against them – nurturing ambivalence in dissent towards the crisis (Rakopoulos 2014a; Theodossopoulos 2014; Cabot, this section). Solidarity is continuously taking shape in relation to the austerity-ridden lifeworlds of Greece's residents today – and as a remedy to the deleterious effects of individualisation that austerity brings forward as a TINA^v life-narrative. Solidarity's bridges among people, the re-establishment of sociality connections, are in part a product of the critical engagements that these people have undertaken in trying to refashion their lifeworlds.

Egalitarian tensions: ethnographies of solidarity

The papers discuss contexts that operate within, and solidify further, assemblages of social relations in a modality of active sociality, elucidating the textures and valences of these practices. This constitutes the other face of the 'Janus-like crisis', according to one of Cabot's research participants—and cuts across the contributions as a view people share in differently contextualized solidarity initiatives.

These socialities bring together persons who might, according to other frameworks of belonging and service distribution, be seen as separate, unequal, or "other." The solidarity expressed and enacted by volunteers and patients in social clinics/pharmacies (Cabot) cannot be reduced to an ideological plateau of universal recognition. Instead, it is inextricable from the banalities and contradictions of everyday life among people committed to health service redistribution. In the clinics, solidarity takes place within the sphere of a precarious shared experience. Solidarity participants articulate their work as providing alternatives to

neoliberalism, bridging somatic needs and material struggles in communities aimed to influence (via a positive “contagion”) the broader health of the ‘body economic’ (Stuckler and Basu 2013). Simultaneously, solidarity workers engage ambivalently with the meaning of solidarity, recognising it not just as a response to, but also as an effect of, austerity and crisis.

The liminality and precariousness that forms new social bonds takes on an, albeit different, egalitarian character in Rozakou’s contribution as well. The piece tackles the timely issue of Greeks working in solidarity with refugees, in the midst of an unprecedented refugee predicament. This is the enactment of solidarity in a ‘humanitarian crisis’ within and through the financial crisis. The contested notion of ‘equality’ with disaffected others here takes a different format than cross-Mediterranean relatedness (Ben-Yehoyada 2014). These visions of egalitarian relatedness stand in stark contrast to the biopolitics (Rozakou 2012) and intersubjective gaps (Cabot 2013) that humanitarian outreach NGOs and other organisations have been shown to instil. The visions of research participants here establish a key solidarity bridge that operates as a provisional link between different, even contradictory, subjective and social worlds: violent experiences of flight, transit, and arrival; aspects of exclusion in terms of cultural “difference”; and the marginalized positions of those seeking to receive and support refugees in a fraught European border zone.

The egalitarian sociality deployed in solidarity action is taken further in the case of Theodossopoulos’ Patras material. The contradictions at play (implicit in Rozakou’s paper) between notions of solidarity and other forms of relatedness emerge in sharp relief, as Theodossopoulos situates current solidarity initiatives in long debates within the Greek Left.

Humanitarian solidarity, when seen through lens inspired by the communist party, carries the risk of perpetuating class-related inequities; but *Patrinoi* juxtapose this overlook to the condition of being 'mobilised' and 'connected to their community'. Some solidarity workers denote informality and particular understandings of equality as 'genuine solidarity' and critique institutionalized 'charity' approaches. And yet, persons engaged in such 'charitable' work give voice to visions of solidarity that often coincide – perhaps surprisingly – with those of their critics. Here, the solidarity concept, like most bridges, is a link but also a site of tension, not fully accessible to all as a claimed space. People cross the concept-bridge with caution as they feel ambiguities in its usage. Theodossopoulos stresses two points working in a conceptual 'simultaneity': solidarity's empowering potential and its shortcomings in ameliorating the crisis' social inequality.

Within the broader contradictions of neoliberal crisis' ambiguous reformation of selfhood and community, I think solidarity becomes a means of understanding the social tensions of egalitarianism. It at once provisionally surpasses them *and* underscores their historical making, as, for instance, the difference (Rozakou) and the similarity (Cabot) between recipients and givers of provision. The overall tendency, including claims to the *horio* temporarily tackles difference, and suggests similarity or assimilation.

The 'giving' aspect of solidarity is thus registered in different degrees of reciprocation. In Rozakou's paper, we are facing asymmetrical reciprocity premised on a vast difference between solidarity participants and refugees – which makes gift-giving taboo. This marks a divergence from earlier work (Rakopoulos 2014b) and indeed from how Cabot and, to an extent, Theodossopoulos, are here describing solidarity between people

whose class positionality in the social stratification of Greece points to more similarities than differences. Class difference, in particular, can be seen as the marking feature of philanthropy *rather than* solidarity (as per the case of the Red Cross women in Theodossopoulos' piece). This implicitly underscores the transformative, but also maybe self-perpetuating qualities of solidarity-related activity, as contributors address how people feel self-exonerated by solidaritarian reciprocity. Solidarity rises as a dynamic, a 'shifter' concept (Cabot), even contributing to the eventual collapse of the gift taboo (Rozakou).

In my view, this 'shift' and collapse underscore an egalitarian paradox: a vision of sociality that operates as a mask obfuscating inequality-ridden difference is now dropped, in favor of a gift-giving that takes us beyond charity/solidarity dichotomies. Exploring solidarity ethnographically reveals bridges of the self, of personhood-building based on partaking in affirmed social relationality. This is a selfhood-as-reaching-for-the-other, an intersubjective constitution of the solidarity participants' subjectivities. This section addresses this inter-personal political subjectification in the crisis' solidarity initiatives. Solidarity makes the threads of invisible reciprocation more lucid and paints them with political, collective understandings. In this respect, it is dialectically linked to sociality: it cannot operate outside sociable frameworks and it also intensifies the sociality existing among solidarity participants. It is a bridge-concept in both the anthropological reckoning and in the words of our research participants engaged in solidary activity, reshaping their lifeworlds in the dire context of the enduring crisis in Greece.

Acknowledgments

Some of the insights shared in this piece come from fieldwork funded by the Wenner-Gren Foundation (grant 8856), to which I am indebted. I would also like to thank S. Green, M. Herzfeld, E. Papataxiarchi as well as the colleagues I worked with in this special issue, and *Social Anthropology's* two anonymous reviewers, for sharing useful thoughts about this introduction.

Works cited

Arampatzi, A. 2016. The Spatiality of Counter-austerity Politics in Athens, Greece: Emerging 'Urban Solidarity Spaces'. *Urban Studies* 53 (4): 1-16.

Ben-Yehoyada, N. 2014. Transnational Political Cosmology: A Central Mediterranean Example. *Comparative Studies in Society and History*, 56(4):870 – 901.

Bear, L. 2015. *Navigating Austerity: Currents of debt along a South Asian river*. Stanford university press.

Bobbio, N. 1997. *Left and Right: the Significance of a Political Distinction*. Chicago: The University of Chicago Press.

Burawoy, M. 2010. From Polanyi to Pollyanna: The false optimism of global labor studies, *Global Labour Journal*, 1(2): 301-313.

du Boulay, J. 1991. Strangers and gifts: Hostility and hospitality in rural Greece. *Journal of Mediterranean Studies*, 1: 27-53.

Cabot, H. 2013. The social aesthetics of eligibility: NGO aid and indeterminacy in the Greek asylum process. *American Ethnologist*, 40(3): 452–466.

Cabot, H. 2014. *On the doorstep of Europe: Asylum and citizenship in Greece*. University of Pennsylvania Press.

Campbell, J. 1964. *Honour, family, and patronage: A study of institutions and moral values in a Greek mountain community*. Oxford: Clarendon Press.

Dubisch, Jill, ed. 1986. *Gender and Power in Rural Greece*. Princeton: Princeton University Press.

Faubion, J. 1993. *Modern Greek Lessons: A Primer in Historical Constructivism*. Princeton university press.

Fassin, D. 2005. Compassion and repression: The moral economy of immigration policies in France. *Cultural Anthropology* 20:362-387.

Gara, E. and K. Rozakou (eds.). 2013. *Greek Paradoxes: Patronage, Civil Society and Violence*, Alexandria: Athens.

Giannitsis, T., and S. Zografakis. 2015. Greece: Solidarity and adjustment in times of crisis. *Institute fur Makroökonomie und Konjunkturforschung*. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.

Gill, L. and S. Kasmir. 2008. Forum: Solidarity. *Dialectical Anthropology* 32: 175.

Goddard, V. 2006. "This is History": Nation and experience in times of crisis, Argentina 2001. *History and Anthropology* 17(3): 267-286.

Just, R. 2000. *A Greek Island Cosmos: Kinship and Identity on Meganisi*. James Currey: SAR.

Hart, K. 2015. Introduction in: Economy for and Against Democracy, Berghahn: London and New York.

Herzfeld, M. 1992. *The social production of indifference: Exploring the symbolic roots of Western bureaucracy*. Chicago: University of Chicago Press.

Herzfeld, M. 1997. *Cultural intimacy: Social poetics in the nation-state*. London: Routledge.

Herzfeld, M. 2007. Global Kinship: Anthropology and the Politics of Knowing. *Anthropological Quarterly*, 80(2): 313-323.

Herzfeld, M. 2016. The hypocrisy of European moralism: Greece and the politics of cultural aggression – part 1. *Anthropology Today*, 32: 10-12nzs.

Kapferer, B. 2005. Situations, crisis, and the Anthropology of the concrete: The Contribution of Max Gluckman. *Social Analysis*, 49(3): 85-122.

Kirmayer, L. J. 1996. "Landscapes of Memory: Trauma, Narrative, and Dissociation." in *Tense Past: Cultural Essays in Trauma and Memory*, ed. Paul Antze and Michael Lambek. New York and London: Routledge, pp. 173-98.

Knight, D. 2015. History, time and economic crisis in Central Greece. London: Palgrave MacMillan.

Knight, D. M and Stewart, C. 2016. Ethnographies of Austerity: Temporality, Crisis and Affect in Southern Europe, *History and Anthropology*, 27:1, 1-18.

Koselleck, R. 2006. Crisis. *Journal of the History of Ideas*, 67(2): 357-400.

Koselleck, R. 2002. *The Practice of Conceptual History: Timing History, Spacing Concepts*. Stanford, California: Stanford University Press.

Laville, J-L. 2010. The Solidarity Economy: An International Movement. *RCCS Annual Review* 2. Available at: <https://rccsar.revues.org/202>. Accessed on 17.12.15.

Loizos, P. 1975. *The Greek Gift: Politics in a Cypriot Village*. Oxford, Basil Blackwell.

Long, N., and H. Moore (eds). 2014. *Sociality: New directions*. London and New York: Berghahn.

Muehlebach, A. 2012. *The moral neoliberal: Welfare and citizenship in Italy*. The University of Chicago Press.

Panourgia, N. 1995. *Fragments of Death, Fables of Identity. An Athenian Anthropography*. University of Wisconsin press.

Papataxiarchis, E. 2006. "The charges of alterity". In E. Papataxiarchis (ed.), *Adventures of Alterity: The Production of Cultural Difference in Contemporary Greece*, 1-85. Athens: Alexandria.

Papataxiarchis, E. 2014. The inconceivable racism: The politicisation of 'hospitality' in the era of crisis. *Synchrone Themata*. 127: 67-74. (In Greek).

Rakopoulos, T. 2014a. The Crisis Seen from Below, Within and Against: From Solidarity Economy to Food Distribution Cooperatives in Greece. *Dialectical Anthropology* 38: 189-207.

Rakopoulos, T. 2014b. Resonance of Solidarity: Anti-Middleman Food Distribution in Austerity Greece. *Journal of Modern Greek Studies* 32(2): 95-119.

Rakopoulos, T. 2015a. Tensions That Matter: Informality and Sociality in the Greek Crisis' Solidarity Economy. *Social Analysis* 59(2): 85-104.

Rakopoulos, T. 2015b. The Solidarity economy in the Greek crisis: Movementality, economic democracy and social reproduction. In '*Economy for and against Democracy*'. Edited by Hart, K. London and New York: Berghahn.

Redfield, P. 2013. *Life in crisis: The ethical journey of doctors without borders*. Berkeley: University of California Press.

Roitman, J L. 2014. *Anti-Crisis*. Durham: Duke University Press.

Rozakou, K. 2012. The biopolitics of hospitality in Greece: Humanitarianism and the management of refugees. *American Ethnologist*, 39(3): 562-577.

Stuckler, D. and S. Basu 2013. *The Body Economic: Why Austerity Kills. Recession, Budget Battles, and the Politics of Life and Death*. Basic Books: New York.

Theodossopoulos, D. 2013. Infuriated with the infuriated? Blaming tactics and discontent about the Greek financial crisis. *Current Anthropology* 54 (2): 200-221.

Theodossopoulos, D. 2014. The Ambivalence of Anti-Austerity Indignation in Greece: Resistance, Hegemony and Complicity, *History and Anthropology*, 25(4):488-506.

Xafa, Miranda. 2015. Life after Debt: The Greek PSI and its aftermath. *World Economics*, 14 (1): 81-102.

ⁱ SYRIZA, the Coalition of the Radical Left, governs Greece since January 2015, in coalition with the populist right ANEL party. Both parties originally expressed political dissent to austerity, to eventually embrace it, in an interesting double-bind, while in power.

ⁱⁱ To engage with a discussion of what is ‘the anti-crisis’ (as in Roitman 2014) might be an aim for future investigation for anthropological theory. Crisis for Roitman (2014) is a ‘blind spot’ concept – providing the context for discussing what happens ‘in crisis,’ suggesting that we have to take the existence of the concept for granted in order to depict the world in its terms.

ⁱⁱⁱ This is a term used among many, but not necessarily most, solidarity economy initiatives. It carries connotations in connection with 1980-90s anarchist movements, and the radicalisation of solidarity with immigrants/refugees initiatives' in the late 2000s, as described by Rozakou.

^{iv} While it is important to distinguish between ambivalent local and theoretical uses, where the terms relate to different political visions, we should also be aware of the collapse of detachments between the philanthropy and solidarity self-identification of many. At the local level, even philanthropists have dropped the charity-vocabulary and now use solidarity as a catch term.

TINA, a cul-de-sac political cosmology of neoliberalism, stands for There Is No Alternative.

1994-03-01

Effects of Increased Altitude on Heavy-Duty Diesel Engine Emissions 940669

Concern over emissions from heavy-duty diesel engines at high altitudes prompted an investigation into the effects of increasing altitude on gaseous and particulate emissions. On behalf of the Engine Manufacturers Association, emissions from a Detroit Diesel Corporation Series 60 at local test conditions (barometer 98.9 kPa), and two simulated altitudes, Denver (82.6 kPa) and Mexico City (77.9 kPa) were examined using a special altitude simulation CVS.

Transient torque output and full load steady-state torque, for this turbocharged aftercooled engine, decreased slightly with increasing altitude. Although, the DDC Series 60 compensates for variation in barometer, transient composite emissions of HC, CO, CO₂, smoke, and particulate matter generally increased with increasing altitude for both transient and steady-state operation. No significant change in transient composite NO_x emissions with altitude was noted during transient testing, but NO_x emissions slightly decreased with increasing altitude for steady-state operation. Peak smoke opacity determined in the snap-smoke test procedure increased approximately 80 percent when apparent barometric pressure was decreased from 98.9 kPa to 77.9 kPa.

HEAVY-DUTY DIESEL engines contribute to ambient air pollution at high altitude locations such as Denver and Mexico City. The Engine Manufacturer's Association (EMA) sponsored this study in an effort to examine the effects of altitude on emissions. The program involved the characterization of high and low altitude heavy-duty diesel engine emissions using a special altitude simulation constant volume sampler (CVS) at "SwRI (98.9 kPa)," "Denver (82.6 kPa)," and "Mexico City (77.9 kPa) apparent barometric pressures. Regulated gaseous and particulate emissions were measured over cold- and hot-start transient tests, as well as steady-state operation. (1,2)* Smoke emissions were measured over both the FTP for smoke and the snap-smoke test procedure. (3)

This paper describes the high altitude simulation CVS, the engine, test procedures, and the emission results.

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ALTITUD SOBRE EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE MOTORES DIESEL

Magin Lapuerta⁽¹⁾, Octavio Armas⁽¹⁾, John R. Agudelo⁽²⁾, Andrés F. Agudelo⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos. ETSII.
Universidad de Castilla-La Mancha. Camilo José Cela s/n 13071 Ciudad Real-España

⁽²⁾ Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia

Tfno.: 34-926-295431, Fax: 34-926-295361

e-mail: Magin.Lapuerta@uclm.es

RESUMEN

Como continuación de un trabajo previo en el que se estudia el efecto de la altitud sobre las prestaciones de un motor de combustión interna, se plantea en este nuevo trabajo un análisis del efecto que las variaciones de presión, temperatura y composición del aire ejercen sobre las condiciones locales de mezcla, combustión y formación de contaminantes en motores diesel en función de su grado de sobrealimentación. Se parte para ello del supuesto de que los sistemas correctores de la presión de admisión de los motores sobrealimentados tienen como objetivo evitar cualquier pérdida de potencia, como es típico en motores de automoción.

Palabras clave: Altitud, condiciones atmosféricas, combustión, motores diesel, turboalimentación

STUDY OF ALTITUDE EFFECT ON DIESEL ENGINE COMBUSTION PROCESS

ABSTRACT

As a continuation of a previous work in which altitude effect on internal combustion engine performance is studied, this new work presents an analysis of the effect of pressure, temperature and air composition variations on local conditions of mixture, combustion and pollutant emissions formation in diesel engines as a function of their turbocharging level. It is assumed that inlet pressure correction systems in turbocharged engines avoid any power loss, as it is typical in automotive engines.

Key words: Altitude, atmospheric conditions, combustion, diesel engines, turbocharging

INTRODUCCIÓN

La disminución de la presión y la temperatura atmosférica afecta la densidad del aire y su composición. Las variaciones de la densidad afectan a las prestaciones de los motores de combustión interna alternativos, ya que estos tienen sistemas de alimentación volumétricos, provocando una disminución de la presión en el cilindro a lo largo de todo el ciclo termodinámico y por tanto del rendimiento indicado. Este efecto es mayor en motores de aspiración natural que en turboalimentados, tal como se revisa en Lapuerta, M., *et al.* (2005). Además la densidad y concentración de oxígeno afectan a los fenómenos locales que intervienen en la combustión y en la formación de contaminantes.

Los procesos de formación del chorro (atomización, penetración y ángulo de apertura) y de englobamiento de aire en el frente de llama se ven igualmente afectados y por tanto también lo estará el proceso de combustión. Según Hiroyasu *et al.* (1989) y Arrègle (1997) a mayor densidad del gas en el cilindro corresponde un mayor tamaño medio de gotas en la atomización secundaria, a pesar del aumento de las fuerzas aerodinámicas. Esto se debe a que se produce una pérdida en la penetración del chorro que implica que éste sea más denso y por tanto, más sujeto a la coalescencia (choque entre diferentes gotas que dan lugar a la formación de gotas más grandes). El ángulo de apertura del chorro aumenta con el incremento de densidad del gas en el cilindro (Abramovich, 1963; Arrègle, 1997; Correas, 1998).

El tiempo de retraso, definido como el tiempo que transcurre desde que se inicia la inyección hasta que se inicia la combustión, incrementa con la altitud para motores de aspiración natural, mientras que para los turboalimentados apenas varía. Según Lizhong *et al.*, 1995, en los primeros, el inicio de la inyección ocurre en un medio con menor presión y temperatura, provocando retrasos más largos y en consecuencia mayores

cargas mecánicas debido al elevado el pico de combustión rápida, mientras que en los turboalimentados no se ve afectado el retraso debido a que la menor contrapresión de escape favorece el incremento del régimen de giro de la turbina compensando en parte la disminución de la presión en el compresor.

Tanto la longitud característica de la llama (FL), definida como la distancia media al inyector en la que se desarrolla la llama (Turns, 1996), como el tiempo aparente de combustión (ACT), definido como el intervalo de tiempo requerido para preparar el combustible desde que es inyectado hasta que se quema a lo largo de todo el ciclo termodinámico (Fenolosa, 2003; Arrègle, 2003), se hacen más grandes a medida que disminuye la densidad del aire.

El *lift-off* es la distancia entre el inyector y el inicio de la llama en el chorro de combustible (Dec, 1997). Dicha distancia establece la frontera entre la parte inerte, en la que el aire es englobado hacia el interior del chorro, y la parte reactiva, en la que el aire no puede atravesar hacia el interior por consumirse en la propia llama. Al disminuir la densidad del aire se produce un aumento del *lift-off*, que permite una mayor cantidad de entrada de aire al chorro, contribuyendo a una menor formación inicial de hollín. No obstante, este efecto se ve ampliamente contrarrestado por la disminución de la tasa de oxidación de hollín que provoca la menor densidad del aire (García, 2004).

Las emisiones contaminantes se ven afectadas con la altitud. El *Southwest Research Institute* realizó una serie de mediciones a principios de los años noventa con el fin de cuantificar las emisiones de motores diesel de trabajo pesado empleando un simulador de altitud de muestreo a volumen constante (CVS). Human *et al.*, (1990), encontraron que para una altura simulada en el CVS de 1850 msnm, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) se reducían en torno a un 10% respecto a 245 msnm, mientras que las de CO, HC, material particulado y aldehídos incrementaban en

promedio entre 2 y 4 veces para un motor *Caterpillar* 3208 de aspiración natural y entre 1.2 y 2 veces para un motor *Cummins* NTCC-350 turboalimentado. Las emisiones del motor turboalimentado se hacían iguales a las del naturalmente aspirado cuando dejaban fijo el inicio de la inyección. Chaffin y Ullman (1994), obtuvieron una disminución en el par, tanto transitorio como estacionario a plena carga, cercano al 6.5% para una altura simulada en el CVS de 2160 msnm (Ciudad de México) respecto a 245 msnm, en un motor *Detroit* DDC serie 60 turboalimentado equipado con *intercooler* y compensador para variaciones de presión barométrica. Comparando entre estas dos altitudes, las emisiones de NOx no variaron en la prueba en transitorio y disminuyeron en torno al 2% en el ensayo estacionario a 1500 rpm. Las emisiones de HC incrementaron un 35% en la prueba transitoria y se mantuvieron invariables en las pruebas estacionarias. Las emisiones de CO incrementaron un 37% en transitorio y un 30% en estacionario. Las emisiones de partículas incrementaron en torno a un 30% en la prueba transitoria. Sin embargo, la actuación del sistema electrónico de corrección por presión barométrica (DDEC II) que equipa este motor permitió que la emisión de partículas no variara con la altura en la prueba a plena carga en régimen estacionario.

Graboski y McCormick (1996) obtuvieron las mismas tendencias (incremento del material particulado, CO, HC y ninguna variación en los NOx) sobre un motor *Detroit* DDC serie 60 turboalimentado, ensayado a 1600 msnm bajo el ciclo transitorio para motores de trabajo pesado recomendado por la EPA (*Environmental Pollution Agency*). El material particulado incrementó en un rango de 50-75% respecto a nivel del mar. Sin embargo, detectaron una ligera disminución de la SOF¹ (20-35% a 0 msnm contra 10-15% a 1600 msnm), lo que sugiere que el incremento del material particulado está afectado por el incremento de las emisiones de hollín.

¹ Fracción orgánica soluble

Chemich et al., (1991) reportaron un incremento promedio de un 30% en la opacidad de humos en la prueba de aceleración en vacío de 170 camiones seleccionados de manera aleatoria, al pasar de 0 a 1850 msnm. En motores que incluían control electrónico, el incremento fue inferior (en torno a 20%), mientras que Chaffin y Ullman (1994) reportaron aumentos en torno al 80% al pasar de 245 msnm a 2160 msnm.

Existen muchas variables que afectan a la formación y emisión de óxidos de nitrógeno en los motores diesel. Desantes et al., (1996) propusieron un método para distinguir el efecto independiente de cada variable de operación de un motor diesel sobre la formación y emisión de NOx. Encontraron que los parámetros que más influían en la formación del óxido nítrico (NO), con diferencia el más importante de los NOx, eran la disponibilidad de oxígeno en la llama y su temperatura. Ambos parámetros se ven afectados con la altitud, por lo que la variación en las emisiones de NOx puede explicarse a partir de las tendencias de estos dos parámetros.

En vista de lo anterior, los fabricantes han desarrollado diversos métodos para compensar el efecto de la altitud sobre sus motores, tales como la implementación de la turboalimentación controlada mediante *wastegate* (compuerta de descarga) o geometrías variables, o el uso de sensores barométricos que retroalimentan a la unidad de control electrónico para que actúe ajustando los parámetros de la inyección de combustible. Asimismo, se han implementado algunos métodos de corrección por presión barométrica que no requieren el uso de sensores adicionales. Éstos utilizan algoritmos de cálculo basados en las ecuaciones de flujo compresible a través de una obstrucción. Las entradas al algoritmo se obtienen de los sensores existentes en el motor (Olin y Maloney, 1999).

Aunque no analizó el efecto de la variación de la presión atmosférica, Rakopoulos (1991) estudió el efecto de la temperatura y la

humedad ambiental sobre las prestaciones y emisiones de un motor diesel monocilíndrico de inyección directa y aspiración natural manteniendo constante la masa de combustible inyectado. Al incrementar la temperatura ambiente en 15°C (de 22 a 37°C) se producía un aumento en la concentración de NO cercana a 100 ppm, y un incremento en el dosado en torno al 5%. El incremento en la humedad relativa disminuía la concentración de NO, aunque en menor proporción que la temperatura. La opacidad del humo incrementó simultáneamente con el aumento de la temperatura y la humedad absoluta, siendo este efecto más pronunciado para valores de alto dosado. Este trabajo también mostró que las mejores prestaciones del motor se alcanzaban en ambientes fríos y secos y las peores, en ambientes cálidos y húmedos.

En el presente trabajo se cuantifican algunos de estos efectos y se hace una estimación del efecto de la altitud sobre parámetros característicos del proceso de combustión en motores diesel de aspiración natural y turboalimentados.

PLANTEAMIENTO

La altitud sobre el nivel del mar, z , tiene un efecto importante sobre las condiciones en las que se encuentra el aire y sobre su composición. Además de las variaciones de temperatura propias de las distintas capas de la atmósfera, la presión atmosférica disminuye a medida que aumenta la altitud del punto de medida, debido a la reducción del peso de la columna que soporta por encima, reducción que se debe tanto a la menor altura de la columna como a la menor densidad, ρ , del aire que la ocupa. En un trabajo reciente (Lapuerta et al., 2005b), se estima el efecto de la variación de la altitud sobre las prestaciones de motores de combustión interna alternativos, encontrando que la suposición de columna triangular es más apropiada que la de columna isoterma.

En la Figura 1 se presentan los resultados de presión atmosférica, fracción molar de oxígeno en el aire y concentración de oxígeno en el aire respecto al nivel del mar (subíndice 0), obtenidos con la hipótesis de columna triangular para valores de altitud en el rango habitable. Los valores de la columna triangular corresponden a una temperatura de 20°C a cota cero con vértice en -55°C a cota 11000 m.

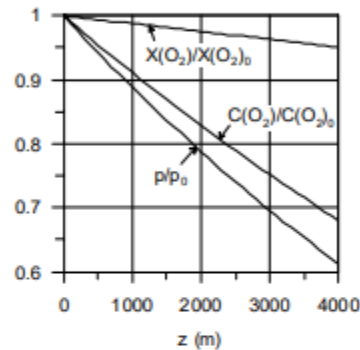


Fig. 1: Efecto de la altitud sobre la presión atmosférica (p), fracción molar de oxígeno (X) y concentración de oxígeno (C), normalizados respecto al nivel del mar. $p_0 = 101.325$ kPa, $X(O_2)_0 = 0.20946$ y $C(O_2)_0 = 0.2787$ kg/m³

En cualquier caso, de los dos efectos que contribuyen a la disminución de la concentración de oxígeno con la altitud, el más importante es, con diferencia, el efecto de la presión. A pesar que los cambios en la fracción molar (consecuencia de un proceso de difusión molecular) pueden llegar a ser inapreciables con la altura debido a la preponderancia de los movimientos convectivos macroscópicos que desplazan los gases verticalmente (Wayne, 2000), en este trabajo sí se han considerado ya que el estudio de la altitud no se refiere tanto a la dirección vertical en la atmósfera, como a la distancia vertical del terreno respecto del nivel del mar.

En el presente trabajo se estudian los efectos de la altitud sobre distintos parámetros de

demostrada importancia a la hora de analizar los procesos de mezcla y combustión y los procesos de formación de contaminantes, en el caso de los motores turboalimentados, bajo el supuesto de que disponen de los sistemas de control de la presión de admisión (*wastegate*, turbinas de geometría variable, etc.) necesarios para una recuperación completa de la potencia, tal y como se describe en Lapuerta et al. (2005).

EFFECTO DE LA ALTITUD SOBRE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN DIESEL

Relación combustible-aire

La reducción de la fracción molar de oxígeno con la altitud tiene como consecuencia una modificación de la relación másica estequiométrica entre aire y combustible en la combustión lo que provoca, cuando se someten a altas cotas, desajustes en la dosificación de los motores. La Figura 2 muestra dicho efecto, para un gasóleo (C_nH_m) de composición típica $C_{15}H_{29}$ para la hipótesis de columna triangular. El dosado o relación combustible/aire de referencia resulta $F_{st,0} = (m_f/m_a)_{st,0} = 1/14.73$. En función de la altitud:

$$F_{st} = \left(\frac{m_f}{m_a} \right)_{st} = \frac{X_{O_2}}{n + m/4} \frac{12n + m}{PM_a} \quad (1)$$

$$\frac{F_{st}}{F_{st,0}} = \frac{X_{O_2}}{X_{O_2,0}} \quad (2)$$

Donde PM_a es el peso molecular del aire.

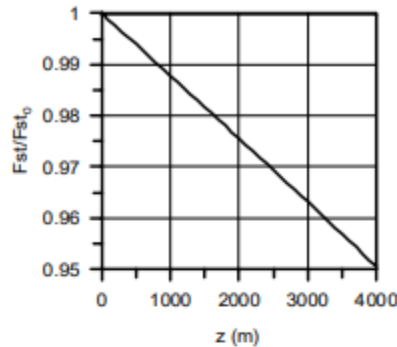


Fig. 2: Efecto de la altitud sobre la relación másica estequiométrica combustible/aire

Temperatura adiabática y oxígeno disponible en la llama

La formación de NOx durante el proceso de combustión depende en gran medida de la temperatura y la masa de oxígeno disponible en la llama. Al ser tan rápida la combustión, apenas hay tiempo para pérdidas de energía, lo que permite que la temperatura de combustión se aproxime a la de llama adiabática. En la Figura 3 se muestra el efecto de la altitud sobre la temperatura adiabática de llama a presión constante para el mismo gasóleo del apartado anterior, calculada con un modelo de equilibrio químico que considera 35 especies y que está basado en el método de las constantes de equilibrio, desarrollado en el grupo de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Castilla-La Mancha (Lapuerta, 2001), para un motor de aspiración natural y diversos motores turboalimentados, con diferentes grados de turboalimentación a nivel del mar, pero todos ellos manteniendo invariable la potencia con la altitud.

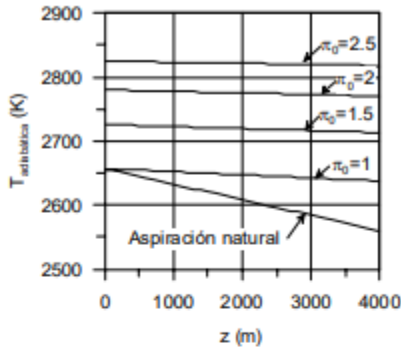


Fig. 3: Efecto de la altitud sobre la temperatura adiabática de llama a presión constante para un motor de aspiración natural y uno turboalimentado

Las condiciones locales de combustión también se ven afectadas por la altitud. En los motores diesel turboalimentados actuales, la mayor parte del proceso de combustión (salvo a condiciones de cargas muy bajas) es por difusión, situación bajo la cual la llama se desarrolla en condiciones aproximadamente estequiométricas (Dec, 1997). Al aumentar la altitud, la concentración de oxígeno en dichas llamas estequiométricas disminuye, al igual que la temperatura adiabática de llama, pudiendo afectar la formación de óxidos de nitrógeno (NOx) y otros contaminantes. En la Figura 4 se observa el efecto de la altitud sobre la disponibilidad de oxígeno de una llama estequiométrica, calculado a partir de la siguiente expresión:

$$Y_{O_2, llama} = \frac{m_{O_2}}{m_a + m_f} = \frac{m_a \cdot Y_{O_2, a}}{m_a + m_f} = \frac{Y_{O_2, a}}{1 + \left(\frac{m_f}{m_a}\right)_st} = \frac{PM_{O_2} \cdot X_{O_2}}{1 + F_{st}} \quad (3)$$

Normalizando con las condiciones al nivel del mar, y combinando con la ecuación (2):

$$\frac{Y_{O_2, llama}}{Y_{O_2, llama, 0}} = \frac{\frac{X_{O_2}}{1 + F_{st}}}{\frac{X_{O_2, 0}}{1 + F_{st, 0}}} = \frac{\frac{1}{F_{st, 0}} + 1}{\frac{1}{F_{st, 0}} \frac{X_{O_2, 0}}{X_{O_2}} + 1} \quad (4)$$

Donde m es masa, y los subíndices indican: a : aire, f : combustible.

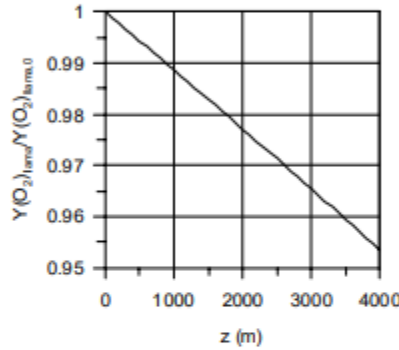


Fig. 4: Efecto de la altitud sobre la fracción másica de oxígeno disponible en la llama estequiométrica. $Y_{(O_2)_{lama, 0}} = 0.21673$

Las tendencias que se muestran en las Figuras 3 y 4 permiten explicar los resultados de emisiones contaminantes reportados en la literatura revisada. Los combustibles oxigenados, tales como el biodiesel, pueden cumplir un papel importante de sustitución de las carencias de oxígeno aéreo y modificar las condiciones de estequiometría del proceso, y por tanto las de la mezcla.

Tiempo de retraso

El tiempo de retraso se ha calculado usando la correlación (5), sugerida por Woffler (Heywood, 1988), debido a que ésta fue determinada empleando un sistema de inyección similar al de los motores diesel, y a que el combustible usado tenía un número de cetano similar al empleado para determinar el

efecto de la relación combustible-aire y las presiones y temperaturas en el momento de la inyección fueron similares a las calculadas en este trabajo (proceso de compresión politrópico con $n = 1.35$ y relación de compresión volumétrica de un motor típico de 17:1).

$$t_{ret} = A \cdot p^{-n} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

Donde los valores de las constantes son: $A = 0.44$, $n = 1.19$ y $E_a/R = 4650$ (Heywood, 1988), y donde la presión y temperatura se refieren a las condiciones de compresión, identificadas a continuación con el subíndice *comp*. Normalizando la ecuación (5) respecto al nivel del mar se obtiene la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{t_{ret}}{t_{ret,0}} &= \left(\frac{P_{comp}}{P_{comp,0}}\right)^{-n} \cdot \frac{\exp\left(\frac{E_a}{RT_{comp}}\right)}{\exp\left(\frac{E_a}{RT_{comp,0}}\right)} \\ &= \left(\frac{P_{comp}}{P_{comp,0}}\right)^{-n} \cdot \exp\left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{comp}} - \frac{1}{T_{comp,0}}\right)\right] \end{aligned} \quad (6)$$

Tal y como muestra la Figura 5, el tiempo de retraso del motor de aspiración natural aumenta con la altitud, mientras que en el motor turboalimentado, que mantiene invariable la potencia con la altitud, tiende a disminuir, cualquiera que sea la relación de compresión del turbocompresor a nivel del mar, debido a que mantiene aproximadamente constante la presión y la temperatura en el momento de la inyección.

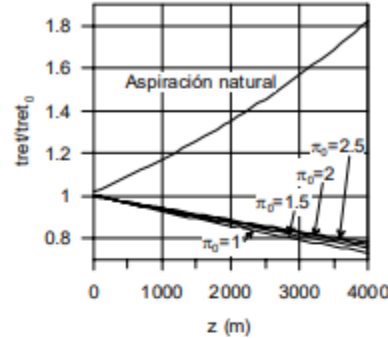


Fig. 5: Efecto de la altitud sobre el tiempo de retraso

Tiempo aparente de combustión y longitud de llama

El tiempo aparente de combustión (ACT) se ha calculado a partir de la expresión obtenida por Arrègle (2003):

$$ACT_i = k \left[\rho^{0.5} \cdot u_0 \cdot Y_{O_2}^{0.5} \cdot \phi_0^{-1} \right]_{POI \rightarrow POC}^{-1} \quad (7)$$

Donde k es una constante de proporcionalidad, ρ es la densidad del gas en la cámara, u_0 es la velocidad del chorro a la salida del inyector y ϕ_0 el diámetro del inyector. Los subíndices indican: *POI*: punto de inyección, *POC*: punto de combustión. Si se dejan constantes los parámetros de inyección u_0 y ϕ_0 y se normaliza el tiempo de combustión aparente respecto al nivel del mar, se obtiene la siguiente expresión (despreciando la variación del peso molecular del aire con la altitud):

$$\begin{aligned} \frac{ACT}{ACT_0} &= \left(\left(\frac{P_{comp,0}}{P_{comp}} \right) \cdot \left(\frac{T_{comp}}{T_{comp,0}} \right) \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{X_{O_2}}{X_{O_2,0}} \right)^{0.5} \\ &= \left(\left(\frac{P_{adn,0}}{P_{adn}} \right) \cdot \left(\frac{T_{adn}}{T_{adn,0}} \right) \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{X_{O_2}}{X_{O_2,0}} \right)^{0.5} \end{aligned} \quad (8)$$

En la Figura 6 se muestra el efecto de la altitud sobre el ACT, observándose un incremento más pronunciado en los motores de aspiración natural que en los turboalimentados (en esta ocasión independientemente del grado de turboalimentación).

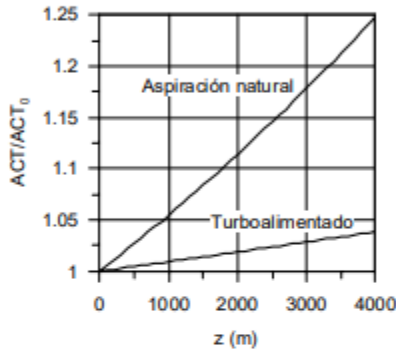


Fig. 6: Efecto de la altitud sobre el tiempo de combustión aparente (ACT)

La longitud de llama se ha calculado usando la ecuación (9) sugerida por Fenolosa (2003):

$$FL = k \cdot \left(\frac{m_a}{m_f} \right)_{st} \cdot \left(\frac{Y_{O_2, adm}}{Y_{O_2}} \right) \cdot \phi_b \cdot \left(\frac{\rho_f}{\rho} \right)^{0.5} \quad (9)$$

Donde k es una constante de proporcionalidad, m es masa, Y_{O_2} es la fracción másica de oxígeno en el gas de la cámara (que puede ser inferior a la del aire admitido $Y_{O_2, adm}$ en el caso de existir recirculación de gases de escape, EGR), ρ_f la densidad del combustible líquido, y ϕ_b el diámetro del inyector. Si se dejan constantes los parámetros ρ_f y ϕ_b y se normaliza el tiempo de combustión aparente respecto al nivel del mar, se obtiene la siguiente expresión, que sería válida incluso ante la presencia de EGR

ya que el cociente de fracciones másicas de oxígeno no se modificaría con la altitud:

$$\begin{aligned} \frac{FL}{FL_0} &= \left(\left(\frac{P_{comp,0}}{P_{comp}} \right) \cdot \left(\frac{T_{comp}}{T_{comp,0}} \right) \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{F_{st,0}}{F_{st}} \right)^{0.5} \\ &= \left(\left(\frac{P_{adm,0}}{P_{adm}} \right) \cdot \left(\frac{T_{adm}}{T_{adm,0}} \right) \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{F_{st,0}}{F_{st}} \right)^{0.5} \end{aligned} \quad (10)$$

En la Figura 7 se muestra el efecto de la altitud sobre este parámetro. Se observa que mientras que en los motores de aspiración natural la llama tiende a aumentar su longitud, en los motores turboalimentados disminuye ligeramente.

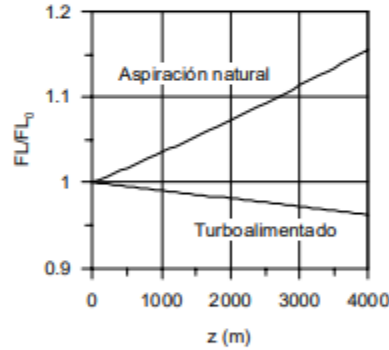


Fig. 7: Efecto de la altitud sobre la longitud de llama

Lift-off

La longitud del *lift-off* se ha calculado a partir de la expresión sugerida por García (2004):

$$LOL = k \cdot T^{-3.103} \cdot \rho^{-1.378} \quad (11)$$

Donde k es una constante de proporcionalidad, y T y ρ son la temperatura y densidad de los gases en el cilindro en el

momento de la inyección. Normalizando la ecuación (11) respecto al nivel del mar, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{LOL}{LOL_0} = \left(\frac{P_{comp}}{P_{comp,0}} \right)^{-1.378} \cdot \left(\frac{T_{comp}}{T_{comp,0}} \right)^{-1.725} \quad (12)$$

$$= \left(\frac{P_{adn}}{P_{adn,0}} \right)^{-1.378} \cdot \left(\frac{T_{adn}}{T_{adn,0}} \right)^{-1.725}$$

En la Figura 8 se muestra el efecto de la altitud sobre la longitud del *lift-off*, observándose un incremento más pronunciado en los motores de aspiración natural que en los turboalimentados.

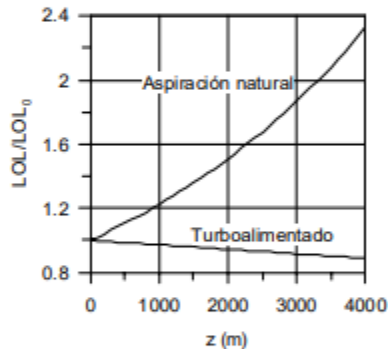


Fig. 8: Efecto de la altitud sobre el *lift-off*

Efecto sobre las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)

Como se justificó arriba, tanto la temperatura adiabática de llama como la disponibilidad de oxígeno estequiométrico en la llama, ambas función de la altitud, pueden afectar la formación de NOx. La dependencia de las emisiones de NOx con la temperatura adiabática de llama ha sido estudiada por muchos autores (Ahmad y Plee, 1983; Iida y Watanabe, 1990; Desantes et al., 1996), quienes sugieren una expresión del tipo Arrhenius:

$$NOx = A \cdot e^{-\frac{B}{T_{adn}}} \quad (13)$$

Donde A es una constante, B es la relación entre la energía de activación y la constante universal de los gases y T_{adn} , es la temperatura adiabática de llama. Normalizando esta última ecuación respecto al nivel del mar, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{NOx}{NOx_0} = e^{\frac{B}{T_{adn,0}} - \frac{B}{T_{adn}}} \quad (14)$$

Ahmad y Plee (1983) han encontrado valores de $B=285000$ J/mol, mientras que Iida y Watanabe (1990) sugieren $B=586000$ J/mol y Desantes et al. (1996) han encontrado que B puede variar entre 144000 y 403000 J/mol según se varíe la temperatura o la presión inicial. En la Figura 9 se muestra la variación de los NOx con la altitud calculados a partir de la ecuación (14), tomando $B=144000$ J/mol. Los resultados coinciden con los obtenidos experimentalmente por Human et al. (1990), Chaffin y Ullman (1994) y Graboski y McCormick (1996), según los cuales en motores de aspiración natural se obtienen disminuciones en las emisiones de NOx en torno al 11% para alturas de 1850 msnm, mientras que para motores turboalimentados las máximas reducciones estaban en torno a 2% para alturas de 1600 y 2160 msnm.

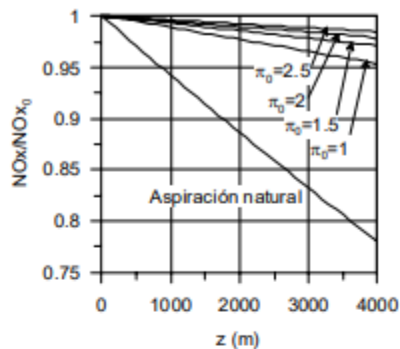


Fig. 9: Efecto de la altitud sobre las emisiones de NOx

De los resultados obtenidos en la Figura 9 se comprueba que con diferencia el efecto más importante en la emisión de NOx con la altitud es la temperatura adiabática de llama, ya que ésta permite explicar por sí sola los resultados experimentales encontrados en la bibliografía.

CONCLUSIONES

Para estudiar el efecto de la altitud sobre los procesos de combustión y de formación de contaminantes en un motor diesel, no basta con tener en cuenta las variaciones de la presión y de la temperatura ambiental, sino también las variaciones de la composición del aire.

La composición del aire afecta a la relación estequiométrica combustible/aire, y como consecuencia, a las condiciones de la mezcla en la cámara de combustión necesarias para la combustión por difusión, dominante en motores diesel. Estas condiciones de mezcla pueden observarse a través de parámetros como la longitud de la llama, la concentración de oxígeno en la llama o la duración de la combustión.

Las variaciones estimadas sobre el desarrollo de la combustión al variar la altitud son casi inapreciables en el caso de motores turboalimentados. Además, las ligeras

reducciones del tiempo de retraso se compensan con los tiempos algo más largos de duración de la combustión.

La reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno con la altitud se debe principalmente a la disminución de la temperatura adiabática de llama, y en menor medida a la presencia de oxígeno en la llama. Las estimaciones realizadas de ambas variables, y de su efecto sobre la emisión de NOx demuestran que la variación de la temperatura justifica por sí sola las reducciones observadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) por su financiación de una Red Temática entre universidades españolas y colombianas, y al Ministerio de Educación, Cultura y Deportes de España por la financiación de la estancia posdoctoral de John R. Agudelo en la Universidad de Castilla-La Mancha.

NOMENCLATURA

ACT	Tiempo aparente de combustión
E_a	Energía de activación
F	Relación másica combustible/aire
FL	Longitud característica de llama
k	Constante de proporcionalidad
LOL	Longitud de <i>lift-off</i>
p	Presión
PM	Peso molecular
POC	Punto de finalización de la combustión
POI	Punto de inicio de la inyección
R	Constante universal de los gases
T	Temperatura
t_{ret}	Tiempo de retraso
u_0	Velocidad del chorro a la salida del inyector
X_{O_2}	Fracción molar de oxígeno en el aire
Y_{O_2}	Fracción másica de oxígeno en el aire
z	Altitud sobre el nivel del mar

ϕ_0	Diámetro de la tobera del inyector
ρ	Densidad
π	Relación de compresión del tubo

Subíndices

<i>a</i>	Aire
<i>adm</i>	Admisión
<i>comp</i>	Compresión
<i>f</i>	Combustible
<i>st</i>	Estequiométrico
<i>0</i>	A nivel del mar

REFERENCIAS

- Abramovich, G.N., *The theory of turbulent jets*. MIT Press, (1963).
- Ahmad, T and Plee, S.L. SAE Paper 831734, (1983).
- Arrègle, J. *Análisis de la estructura y dinámica interna de chorros diesel*. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia SPUPV 98.2140. (1998).
- Arrègle, J., López, J.J., García, J.M. y Fenollosa, C., *Development of a zero-dimensional diesel combustion model. Part 1: Analysis of the quasi-steady diffusion combustion phase*. Applied thermal engineering. No. 23. pp 1301-1317, (2003).
- Correas, D., *Estudio teórico-experimental del chorro libre diesel isoterma*. Tesis doctoral. Departamento de máquinas y motores térmicos. Universidad Politécnica de Valencia. (1998).
- Chaffin, C.A. and Ullman, T.L., *Effects of increased altitude on heavy-duty diesel engine emissions*. SAE Paper 940669. (1994).
- Chernich, D.J., Jacobs, P.E. and Kowalski, J.D., *A comparison of heavy-duty diesel truck engine smoke opacities at high altitude and at sea level*. SAE Paper 911671. (1991).
- Dec, J. E., *Conceptual model of DI Diesel combustion based on laser-sheet imaging*. SAE Paper 970873. (1997).
- Desantes, J.M., Lapuerta, M and Salavert, J.M., *Study on independent effects of diesel engine operating conditions on nitric oxide formation and emissions through schematical combustion simulation*. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 210. D02894. pp 71-80. (1996).
- Fenollosa, C. *Aportación a la descripción fenomenológica del proceso de combustión por difusión diesel*. Tesis Doctoral. Departamento de máquinas y motores térmicos. Universidad Politécnica de Valencia. (2003).
- García, J.M., *Aportaciones al estudio del proceso de combustión turbulenta de chorros en motores diesel de inyección directa*. Tesis Doctoral. Departamento de máquinas y motores térmicos. Universidad Politécnica de Valencia. (2004).
- Graboski, M.S. and McCormick, R.L., *Effect of diesel fuel chemistry on regulated emissions at high altitude*. SAE Paper 961947. (1996).
- Heywood, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill, Nueva York. (1988).
- Hiroyasu, H., Arai, M. y Tabata, M., *Empirical equations for the Sauter mean diameter of a Diesel spray*. SAE Paper 890464. (1989).
- Human, D. M., Ullman, T.L. and Baines, T.M., *Simulation of high altitude effects on heavy-duty diesel emissions*. SAE paper 900883. (1990).
- Iida, N. and Watanabe, J. *Surrounding gas condition effect on NOx and particulate. Diagnosis and modelling of combustion in internal combustion engines*, COMODIA 90. Kyoto, Japan. (1990).
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J.R. y Sánchez, C.A. *Estudio del efecto de la altitud sobre las prestaciones de motores de*

combustión interna. Información Tecnológica (en revisión). (2005)

Lapuerta, M., Armas, O. y Agudelo, J.R... *Estudio del efecto de la altitud sobre las prestaciones de motores de combustión interna*. Memorias del IV congreso nacional de ingeniería termodinámica. La Rioja (España). (2005b)

Lapuerta, M., Hernández, J.J., Tinaut, F. y Horrillo, A., *Composición en equilibrio y propiedades termodinámicas de los productos de combustión de un hidrocarburo oxigenado y nitrosulfurado*. Información tecnológica. Vol. 12, No. 3. pp 43-52. (2001).

Lizhong, S., Yungang, S., Wensheng, Y. and Junding, X., *Combustion process of diesel engines at regions with different altitudes*. SAE Paper 950857. (1995).

Olin, P.M. and Maloney, P.J., *Barometric pressure estimator for production engine*

control and diagnostics. SAE Paper 1999-01-0206. (1999).

Rakopoulos, C.D., *Influence of ambient temperature and humidity on the performance and emissions of nitric oxide and smoke of high speed diesel engines in the Athens/Greece region*. Energy Conversion and Management, Vol. 31, No. 5, pp. 447-458. (1991).

Turns, S.R. *An introduction to combustion. Concepts and applications*. McGraw-Hill, Nueva York. (1996).

Varela, E. *Motores Alternativos 1. Sección de publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos*. Universidad Politécnica de Madrid. (2001).

Wayne, R. *Chemistry of Atmospheres*. Oxford University Press, Tercera edición, (2000).

Gestión ambiental del componente aire

Establecimiento de una red de monitoreo ambiental

La gestión ambiental en el componente aire parte por realizar un modelamiento atmosférico del sector de estudio. Para ello se establecen estaciones de monitoreo de la calidad del Aire ubicando estaciones con representatividad poblacional EMRP, estas deben estar ubicadas dentro de un área urbana mínima de 2 km de diámetro para que sea representativa.

La red de monitoreo debe estar mínimamente sustentada por un equipo tripartito de Aseguramiento de la Calidad, una unidad de Control de Calidad y una unidad de distribución de la información.

El Aseguramiento de la Calidad tiene por misión soportar la unidad de monitoreo con recursos, la unidad de Control tiene por misión la trazabilidad, la calibración y el cruzamiento de resultados entre sus equipos y otros de referencia. Se debe detectar los corrimientos del valor cero, la saturación de los monitores, fuentes de emisión imprevistas no-comunes y focalizadas, cortes de energía eléctrica y aquellos valores escapados que induzcan a un mal pronóstico de **Emergencia Ambiental**.

La unidad informativa tiene por misión dar disponibilidad y análisis de la información confeccionando modelos informativos de contaminación del componente aire.

Modelamiento atmosférico-climático y confección de un modelo de contaminación atmosférico

Para seleccionar los lugares más apropiados con los objetivos propuestos del monitoreo, es necesario manejar información que incluya, entre otros factores:

- Ubicación de fuentes emisoras en [coordenadas geográficas](#) denotadas en un sistema [SIG](#).
- Variabilidad geográfica o distribución espacial de las concentraciones del contaminante, ciclos horarios del contaminante, transporte, procesos formativos del contaminante.
- Condiciones meteorológicas y climáticas, régimen de vientos, modelamiento climático y atmosférico, pluviometría, temperaturas diarias, estacionales y/o con influencia de fenómenos climáticos, radiación solar, humedad relativa, topografía.
- [Densidad de la población](#) y a la ubicación, extensión y composición de los recursos que se desea preservar. Adicionalmente [biotopos](#) a preservar, [catastro de la fauna y flora](#) exótica y [endémica](#).
- Inventario de las fuentes de emisión fijas y móviles.
- Identificación de zonas latentes y saturadas
- Quemadas de pastizales autorizadas o ilegales.

Estos puntos conducen a establecer modelos de contaminación atmosféricos y evaluación de la calidad del aire.

Europa

La Directiva 2001/81/ CE, del [Parlamento Europeo](#) y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, *sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos, tiene como objeto limitar las emisiones de contaminantes para reforzar la protección del medio ambiente y de la salud humana y avanzar hacia el objetivo de no superar los niveles críticos de contaminantes y de proteger de forma eficaz a toda la población frente a los riesgos para la salud que se derivan de la contaminación atmosférica mediante la fijación de techos nacionales de emisión.*

El programa *Aire puro para Europa* es una estrategia temática coherente de lucha contra la contaminación atmosférica y sus efectos. Este programa ha sido elaborado por el Sexto programa de Acción en Materia de Medio Ambiente recientemente aprobada por la Comisión (COM (2001) 31 de 24.01.2001). Esta estrategia consiste en evaluar la aplicación de las directivas relativas a la calidad del aire y la eficacia de los programas sobre calidad del aire en los Estados miembros. Además pretende mejorar el control de la calidad del aire y la divulgación de la información al público mediante la utilización de indicadores. Finalmente se establecerán prioridades para la adopción de nuevas medidas, examinando y actualizando los umbrales de calidad del aire y los límites máximos nacionales de emisión.

Recoge múltiples y variados objetivos con el fin de mejorar la calidad de vida de las poblaciones de Europa. Prevenir las [enfermedades](#) y proteger el medio que nos rodean serán algunos de los objetivos prioritarios que se desarrollarán a lo largo de la estrategia planteada. Sin embargo debemos también mencionar algunos objetivos más específicos que mejoraran la labor de análisis técnico, para mejorar así la política sobre la calidad del aire.

Como medida para instar al cumplimiento de los techos, la directiva obliga a los Estados miembros a elaborar unos programas nacionales de reducción progresiva de las emisiones. España ha elaborado mediante Acuerdo de [Consejo de Ministros](#) de 7 de diciembre el *II Programa Nacional de Reducción de Emisiones* (Resolución de 14 de enero de 2008, de la Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el [Cambio Climático](#). BOE n.º 25, 29.01.08).

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. ORDEN MAM/1444/2006, de 9 de mayo.

Establece las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.

El objetivo general de dicha ley es desarrollar una política estratégica integrada a largo plazo para proteger la salud humana y el [medio ambiente](#) de los efectos de la contaminación atmosférica. De acuerdo con el tratado, esta política tendrá por objetivo garantizar un elevado nivel de protección del medio ambiente sobre la base del principio de cautela, tomando los mejores datos científicos y técnicos disponibles y las ventajas y cargas que puedan resultar de la acción o de la falta de acción

- La Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental incorpora a nuestro ordenamiento jurídico un régimen administrativo de responsabilidad ambiental de carácter objetivo e ilimitado basado en los principios de prevención y de que «quien contamina paga».⁸ y si no quieren pagar las consecuencias podrían ser carzel unos meses talvez o más será cuestión de la decisión que tome el juez

OBJETIVOS

En esta unidad aprenderás a:

- Conocer las distintas capas de la atmosfera y sus características.
- Conocer cómo se produce el viento y la lluvia
- Saber para qué sirven los distintos aparatos meteorológicos
- Saber la diferencia entre clima y tiempo atmosférico.
- Conocer la importancia de la atmósfera.
- Conocer los efectos de la contaminación atmosférica.
- Saber qué es la presión atmosférica.

COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra. Está formada por aire y partículas en suspensión.

El aire es una mezcla gaseosa en distinta proporción, los más importantes son:

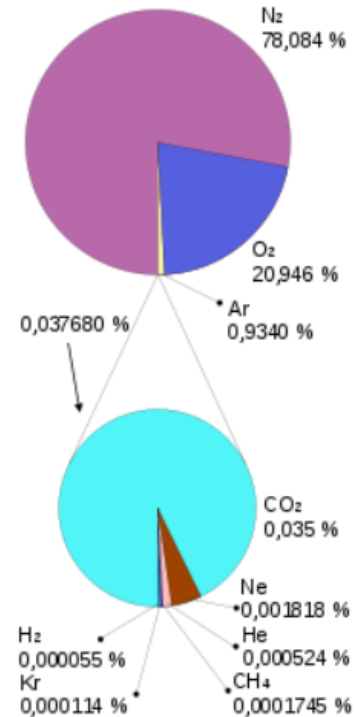
- **Nitrógeno (N₂):** 78% total del aire. Es un gas que no reacciona con casi ninguna otra sustancia (inerte) y apenas se disuelve en agua.
- **Oxígeno (O₂):** 21 % del total. Es un gas muy reactivo, se combina con otras sustancias oxidándolas. Permite que los combustibles ardan y se disuelve en agua.
- **Dióxido de carbono (CO₂):** 0,033% del total. Producido por la combustión de los combustibles fósiles y la respiración de las plantas. Es soluble en agua.
- **Vapor de agua (H₂O):** Hasta un 4%. Su proporción depende de la zona de la superficie terrestre y de la temperatura de la atmósfera.

Otros gases presentes son:

- **Gases Nobles**

Argón (Ar) 0,93%
Kriptón (Kr) 0,000114%
Neón (Ne) 0,00182%
Helio (He) 0,000524%

- **Hidrógeno**
- **Metano**



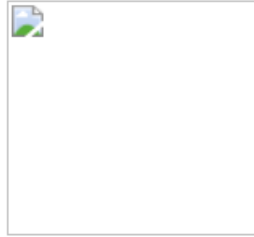
Partículas en suspensión

En la atmósfera también flotan diversas cantidades de partículas diminutas como polen, arena fina, cenizas volcánicas, bacterias...Todas ellas componen el **polvo atmosférico**.

ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE

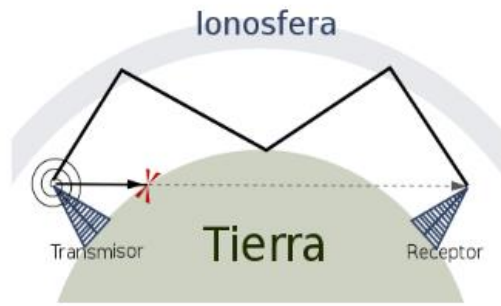
La atmósfera terrestre se divide en las siguientes capas: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera. Las divisiones entre una capa y otra se denominan respectivamente tropopausa, estratopausa, mesopausa y termopausa.

La exosfera es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio. En esta capa de la atmósfera los gases van perdiendo sus propiedades físico-químicas y poco a poco se dispersan hasta que la composición es similar a la del espacio. En esta región se encuentran los satélites artificiales y hay un alto contenido de polvo cósmico.

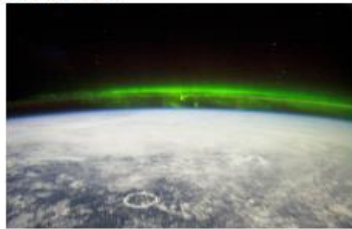


La termosfera o ionosfera es la capa de la atmósfera terrestre que se encuentra entre la mesosfera y la exosfera. Dentro de esta capa, la radiación ultravioleta, pero sobre todo los rayos gamma y los rayos X provenientes del Sol, provocan la ionización de átomos y moléculas. En dicho proceso los gases que la componen elevan su temperatura varios cientos de grados. En esta capa la temperatura se eleva continuamente hasta más allá de los 1000 °C. Entre las propiedades de la ionosfera, encontramos que esta capa contribuye esencialmente a la reflexión de las ondas de radio emitidas desde la superficie terrestre, lo que posibilita que éstas puedan viajar grandes distancias sobre la Tierra.






Además, en esta capa se desintegran la mayoría de los meteoritos debido al rozamiento con el aire. En las regiones polares las partículas cargadas portadas por el viento solar son atrapadas por el campo magnético terrestre dando lugar a la formación de auroras.



Es la capa de la atmósfera en la que operan los transbordadores espaciales.

En la mesosfera la temperatura disminuye a medida que se aumenta la altura, hasta llegar a unos -80°C e incluso -90°C , es la zona más fría de la atmósfera. La baja densidad del aire en la mesosfera determina la formación de turbulencias, en esta región las naves espaciales que vuelven a la Tierra empiezan a notar los vientos y el rozamiento con la atmósfera. En esta capa se observan las estrellas fugaces que son meteoroides que se han desintegrado en la termosfera.

Termosfera	 Transbordador espacial
Mesosfera	 Aurora 100 km (Línea de Kármán)
Mesosfera	85 km  Meteoros

La estratosfera, debe su nombre a que está dispuesta en capas más o menos horizontales o estratos. A medida que se sube, la temperatura aumenta. Este aumento se debe a que los rayos ultravioleta transforman el oxígeno en ozono. La **ozonosfera** es la capa, que se extiende aproximadamente de los 15 km a los 40 km de altitud y reúne el 90% del ozono presente en la atmósfera. El ozono actúa como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas que llegan a la Tierra dejando pasar sólo las que permiten la vida en el planeta.



La troposfera es la capa de la atmósfera que está en contacto con la superficie de la Tierra. La temperatura disminuye con la altitud (oscila entre los 6°C - 0°C), en ella ocurren todos los fenómenos meteorológicos que influyen en los seres vivos, como los vientos, la lluvia... Además, concentra la mayor parte del oxígeno y del vapor de agua. En particular este último actúa como un regulador térmico del planeta; sin él, las diferencias térmicas entre el día y la noche serían tan grandes que no podríamos sobrevivir.

EL VIENTO

El viento es la circulación del aire en la **troposfera**. Estas corrientes de aire se deben fundamentalmente a variaciones de la temperatura y densidad del aire de unos lugares a otros.



Ya no se admite Adobe Flash Player

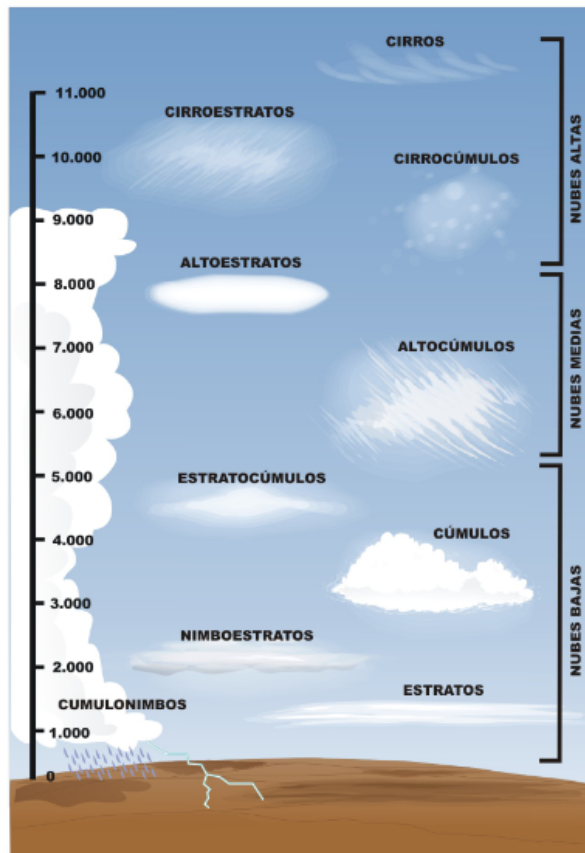
EL AGUA

El aire caliente que asciende hasta las capas más altas de la atmósfera, se enfría a medida que asciende provocando la condensación del vapor de agua en gotitas microscópicas que forman las nubes.

Estas se reúnen unas con otras formando gotas cada vez mayores que se sostienen en el aire gracias al viento.

Cuando se hacen muy pesadas estas nubes, el agua cae por gravedad y da lugar a lluvias. La nieve se produce cuando la temperatura del aire es inferior a 0° C.

El granizo se origina cuando el viento es fuerte y las temperaturas muy bajas, los fuertes vientos llevan entonces grandes gotas de agua que al congelarse dan granizo o pedrisco que puede alcanzar hasta varios centímetros de diámetro.



METEOROLOGÍA

La **meteorología** es la ciencia que estudia el tiempo atmosférico, es decir el estado de la atmósfera en un momento dado y en una zona determinada.

Los **meteorólogos** son los científicos que estudian el tiempo atmosférico para ello utilizan numerosos instrumentos:

El Anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para medir la velocidad del viento. Se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, especie de diminuto molino cuyas tres aspas se hallan constituidas por cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento; el número de vueltas puede ser leído directamente en un contador o registrado sobre una banda de papel (anemograma), en cuyo caso el aparato se denomina anemógrafo. Aunque también los hay de tipo electrónicos.



La Veleta es un dispositivo giratorio que consta de una placa plana vertical que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales. Se ubica generalmente en lugares elevados y su diseño puede ser muy variado (figuras de animales, antropomorfas, etc).



METEOROLOGÍA

La **meteorología** es la ciencia que estudia el tiempo atmosférico, es decir el estado de la atmósfera en un momento dado y en una zona determinada.

Los **meteorólogos** son los científicos que estudian el tiempo atmosférico para ello utilizan numerosos instrumentos:

El Anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para medir la velocidad del viento. Se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, especie de diminuto molino cuyas tres aspas se hallan constituidas por cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento; el número de vueltas puede ser leído directamente en un contador o registrado sobre una banda de papel (anemograma), en cuyo caso el aparato se denomina anemógrafo. Aunque también los hay de tipo electrónicos.



La Veleta es un dispositivo giratorio que consta de una placa plana vertical que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales. Se ubica generalmente en lugares elevados y su diseño puede ser muy variado (figuras de animales, antropomorfas, etc).

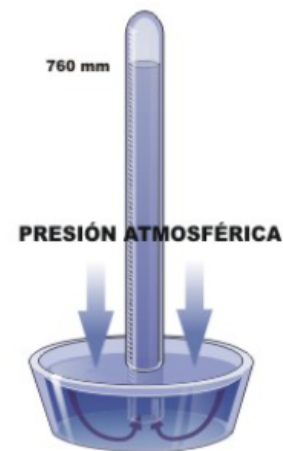


Un barómetro es un instrumento que mide la presión atmosférica. (peso del aire por unidad de superficie).

Los primeros barómetros fueron construidos por el físico y matemático italiano Evangelista Torricelli en el siglo XVII. Estaban formados por una columna de mercurio encerrada en un tubo cuya parte superior está cerrada. El peso de la columna de mercurio compensa exactamente el peso de la atmósfera. La presión atmosférica a nivel del mar en un día despejado es de aproximadamente unos 760 mm.

Los barómetros son instrumentos fundamentales para medir el estado de la atmósfera y realizar predicciones meteorológicas.

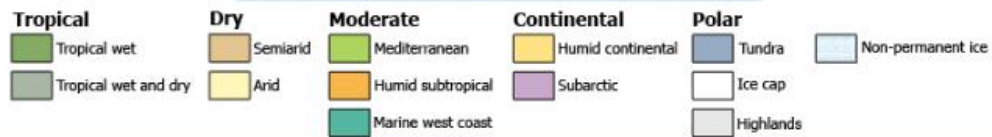
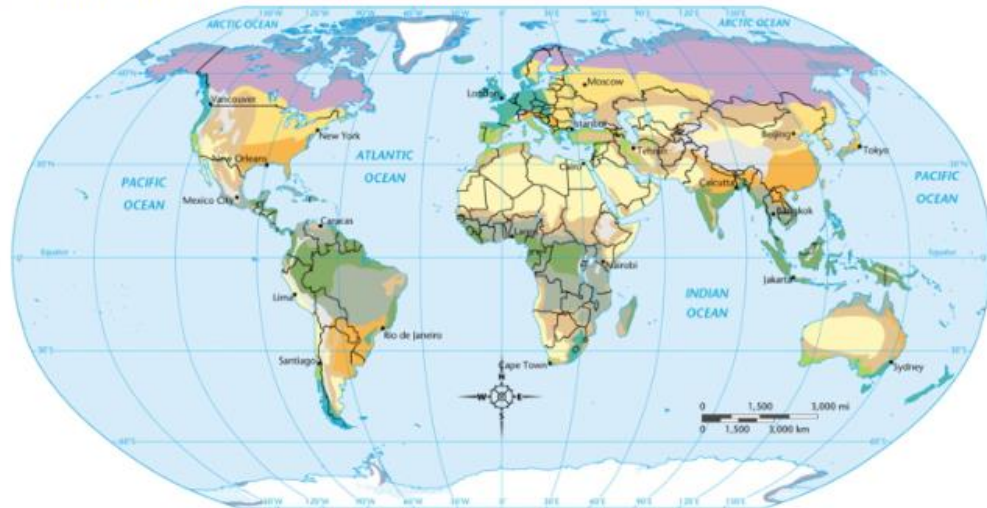
Las altas presiones se corresponden con regiones sin precipitaciones, mientras que las bajas presiones son indicadores de regiones de tormentas y borrascas.



EL CLIMA

El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos (temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones) que caracterizan una zona.

Para determinar el clima de una zona debemos recoger de forma sistemática toda la información meteorológica posible durante 30 años o más.



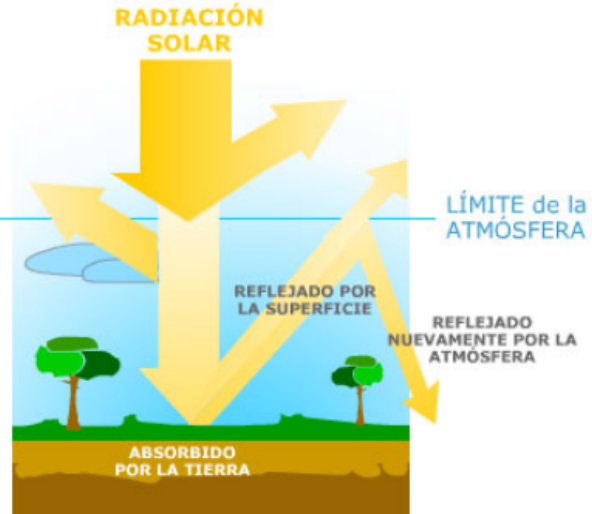
EFFECTO INVERNADERO

Durante el día la superficie de la Tierra se calienta cuando recibe la luz del Sol. Una vez que el terreno se ha calentado devuelve este calor en forma de **radiación infrarroja** (radiación invisible que captamos en forma de calor).

Si no existiera la atmósfera, todo ese calor escaparía al espacio y la Tierra se enfriaría rápidamente durante la noche.

Sin la atmósfera la temperatura media de la superficie terrestre sería de -32°C cuando en realidad es de 15°C .

La atmósfera regula el calor de la superficie terrestre al comportarse como los cristales o los plásticos de un invernadero.



La atmósfera deja pasar las radiaciones solares que calientan la superficie terrestre, pero impide la salida de gran parte de la radiación infrarroja que la tierra devuelve manteniendo así el calor y por lo tanto favoreciendo la vida en el planeta Tierra.

A este fenómeno se le llama **efecto invernadero**, es un **efecto natural** y se debe sobre todo al CO_2 y al vapor de agua de la troposfera.

Fuente: Proyecto Biosfera



Este complemento no es compatible

ESCUDO

METEORITOS

La atmósfera es un escudo protector contra los impactos de los meteoritos. Estas rocas procedente del espacio exterior son atraídas por la gravedad y caen sobre la superficie terrestre.

Al entrar en contacto con los gases de la atmósfera, a gran velocidad, el rozamiento hace que se calienten tanto que se ponen incandescentes y acaban desintegrándose no llegando al suelo.

Sólo los más grandes (poco frecuentes) pueden atravesar la atmósfera y llegar al suelo provocando grandes catástrofes: destrucción de la zona de impacto, cambios climáticos, extinción de especies, etc.



Cráter del Meteorito Barringer (Arizona)



Para saber más sobre meteoritos puedes ver un video del programa Tres14 de La 2 de Televisión Española

[Ver video](#)

COMO LUGAR DE VIDA

La atmósfera, además de mantener la temperatura del planeta en unos niveles tolerables para la vida y proteger la superficie de radiaciones nocivas y de la caída de meteoritos, tiene una gran importancia para los seres vivos.

Algunos seres vivos utilizan los gases atmosféricos en sus procesos vitales.

Así pues, las plantas emplean el dióxido de carbono en la fotosíntesis y animales y plantas respiran oxígeno.



La composición actual de la atmósfera se debe a la actividad de la biosfera (fotosíntesis), controla el clima y el ambiente en el que vivimos.

La actividad del hombre está modificando su composición, como el aumento del dióxido de carbono o el metano, causando el efecto invernadero o los óxidos de nitrógeno causantes de la lluvia ácida.

CONTAMINACIÓN ¿QUÉ ?

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias que en determinadas cantidades implican un riesgo, daño o molestia grave para las personas y demás seres vivos, bienes de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.



La **contaminación atmosférica** puede ser **natural**, producida por erupciones volcánicas o incendios forestales no provocados o por la actividad biológica de los seres vivos. Pero este tipo de contaminación ha existido siempre y el planeta Tierra es capaz de autorregularse.



Pero la más dañina y difícil de regular es la contaminación atmosférica debida a las **actividades del ser humano**.

Los procesos industriales, la quema de combustibles fósiles son los principales focos de contaminación.



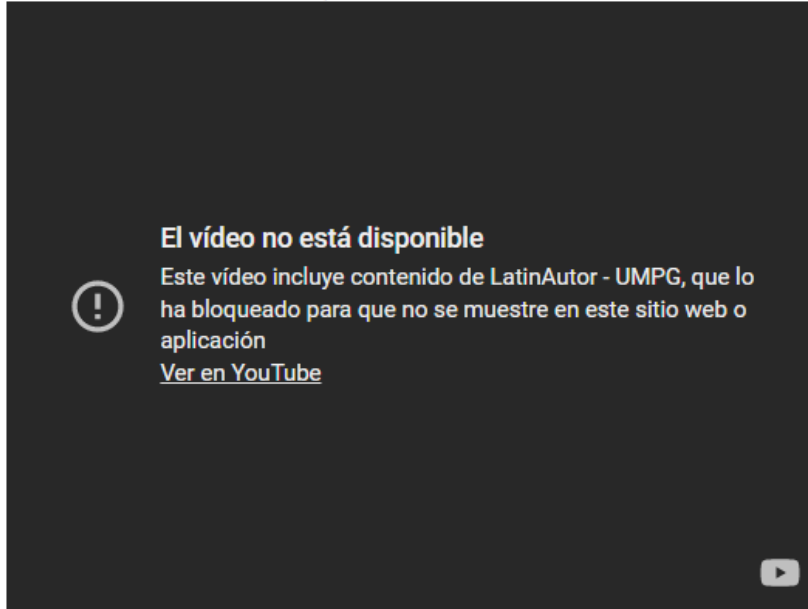
CONTAMINACIÓN ¿QUÉ LA PRODUCE?.

Las principales sustancias que el ser humano emite a la atmósfera son gases nocivos o partículas sólidas o líquidas.

Los gases emitidos son principalmente, **óxidos de nitrógeno y de azufre** que provocan la **lluvia ácida**.

Los **CFCs** presentes en sistemas de refrigeración, frigoríficos y aerosoles destruyen la **capa de ozono** de la ionosfera.

El **metano y el dióxido de carbono** alteran el **efecto invernadero natural** de la atmósfera. Una elevada concentración de estos gases impide la salida de la radiación infrarroja con el consiguiente aumento de la superficie terrestre favoreciendo el **cambio climático**.



Las **partículas más nocivas** son los **humos y cenizas** procedentes de la combustión de combustible fósiles, las "**nieblas**" y **aerosoles** que escapan de algunas industrias químicas, el **polvo** de de las canteras y explotaciones mineras...

Y como **contaminación natural** el excesivo **polen de las plantas** en determinadas estaciones del año.

EXPERIMENTO DE TORRICELLI "HORROR VACUI"

Las bombas de succión existen desde muy antiguo, se instalaban para extraer agua de un pozo o achicarla de las sentinas de los barcos.

Funcionan extrayendo el aire del interior de un tubo cuyo extremo está sumergido en un líquido.

¿Por qué sube el agua por el tubo de la bomba al retirar el aire que contiene? ¿Se genera un vacío en el interior del tubo cuando se retira el aire?

En la antigüedad estaban lejos de sospechar el peso del aire y no le dieron solución al problema.

Ya por el siglo XVII, cuando los jardineros de Florencia querían sacar agua de un pozo con una bomba de succión apreciaron que no podían superar la altura de 10,33 m.

Consultado **Galileo**, determinó éste que el horror de la naturaleza al vacío se limitaba con una fuerza equivalente al peso de 10,33 m de agua y denominó a dicha altura **altezza limitatissima**, argumentó que la naturaleza tiene **horror al vacío** e impulsa el agua a ascender por el tubo para impedir que se genere el vacío.

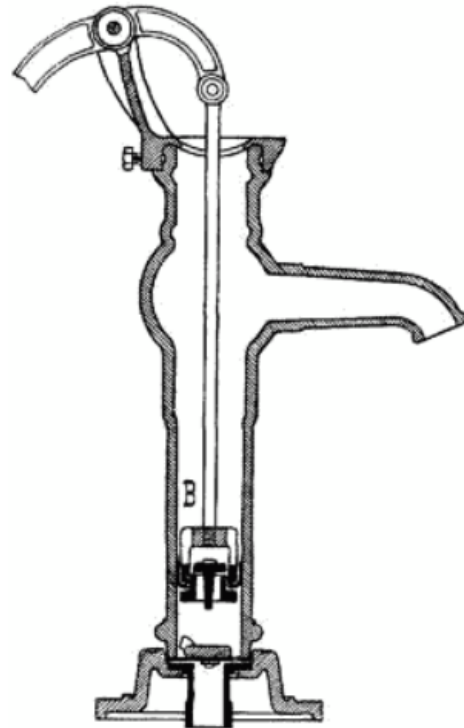


Fig. 9.

¿Sabrías explicar qué ocurre cuando bebes un refresco con una pajita?

CONTAMINACIÓN: EFECTOS

Los efectos de la contaminación atmosférica son muchos y variados, entre ellos podemos destacar los efectos sobre los seres vivos (seres humanos, animales y plantas) y el efecto sobre los materiales de construcción.

Sobre los seres humanos y animales: bronquitis crónica, catarros y dificultades respiratorias, cansancio y cefaleas, irritación de los ojos y mucosas, afecta a la inteligencia de los niños, modificaciones genéticas y malformaciones en los fetos, siendo algunos de ellos cancerígenos.



Sobre las plantas: alteración de diversos mecanismos vitales de las plantas, daños en las hojas, flor y fruto.



La acción de los contaminantes atmosféricos **sobre los materiales** causa daños irreparables sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico bien por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, afeando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con la piedra. Otro efecto a tener en cuenta es la corrosión de los metales en puentes y estructuras.

Catedral de Cádiz

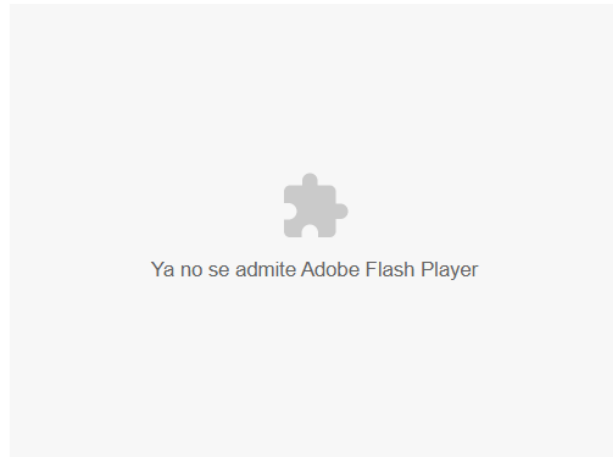


Objetivos



En esta quincena aprenderás sobre:

- Conocer la existencia de la atmósfera y las propiedades del aire.
- Interpretar cualitativamente fenómenos atmosféricos.
- Valorar la importancia del papel protector de la atmósfera para los seres vivos considerando las repercusiones de la actividad humana sobre la atmósfera.



Proyecto Biosfera



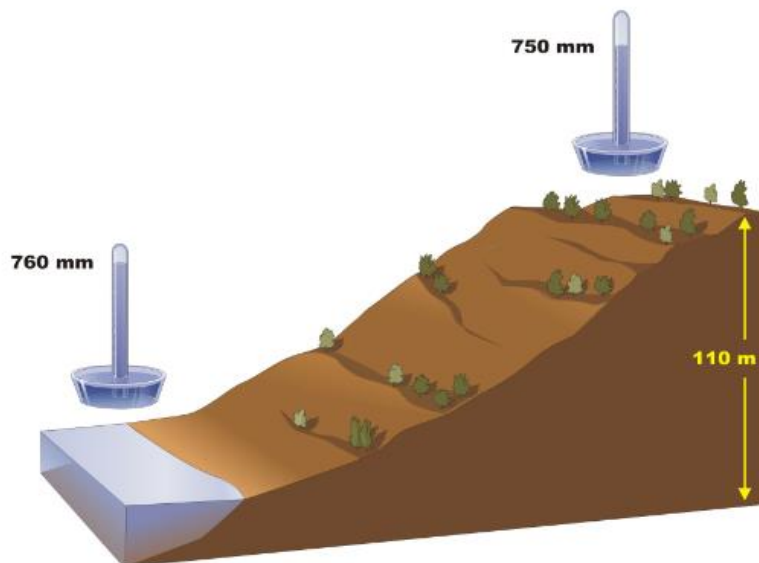
Eumesat 2011

PASCAL Y LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Pascal conociendo de los trabajos de Torricelli, repitió el mismo experimento en localidades situadas a diferente altitud sobre el nivel del mar.

Comprobó que la columna de mercurio era más alta en la costa que en las montañas, lo que significa que al aumentar la altitud la presión atmosférica es menor.

A partir de estos experimentos, Pascal dedujo que la atmósfera tiene un límite a medida que ascendemos la presión que esta ejerce es menor.



1. Características y propiedades

Composición

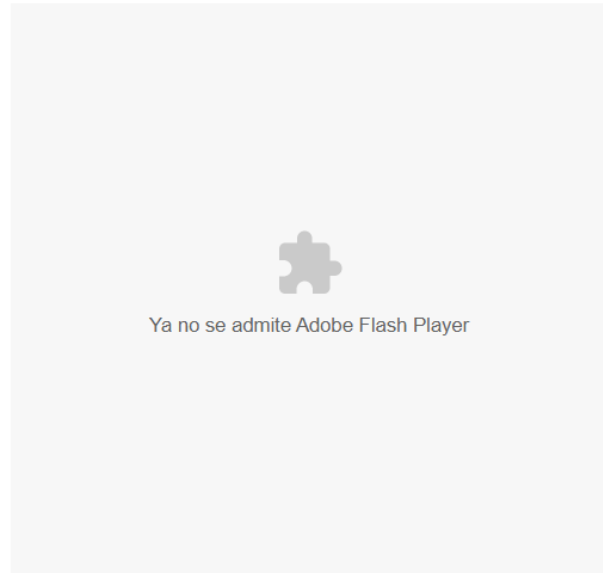
La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra.

Está formada por aire y partículas en suspensión. El aire es una mezcla gaseosa en distinta **proporción**, los más importantes son: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y otros gases en menor proporción.

En la atmósfera también flotan diversas cantidades de partículas diminutas como polen, arena fina, cenizas volcánicas, bacterias...

Todas ellas componen el polvo atmosférico.

Pulsa el botón para saber más sobre la composición de la atmósfera



cidead 1^o ESO Ciencias de la Naturaleza La atmósfera terrestre

ocultar índice **Antes de empezar** **Contenidos** **Ejercicios** **Autoevaluación** **Para enviar al tutor** **Para saber más**

- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosférico
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN


1. Características y propiedades

Densidad

La **densidad** de la atmósfera disminuye conforme ascendemos en altura.

Cuando subimos a la cima de una montaña, o a un punto de una ladera muy elevada, decimos que el aire está "enrarecido" porque la mayor parte de la masa del aire está en las zonas bajas atraído por la gravedad de la Tierra y está como "aplastado" por su propio peso y cuanto más ascendemos más liviano, tenue y ligero es el aire.

En las capas altas existe menos presión y la densidad es menor. La densidad y la presión del aire disminuyen con la altura.



Pico Veleta Sierra Nevada (Granada). Autor Thomas Then. Fuente Wikipedia.

Pulsa el botón para saber más sobre la densidad de la atmósfera



- 1. **Característica y propiedades**
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. **Capas de la atmósfera**
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. **Dinámica atmosférica**
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. **Importancia de atmósfera**
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. **Contaminación atmosférica**
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

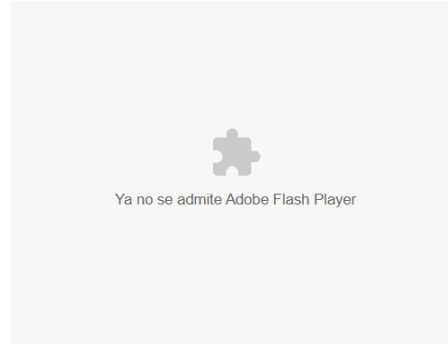
1. Características y propiedades

Color

Durante el día y desde la superficie terrestre, el color de la atmósfera se ve azul.

Esto se debe a que la luz del Sol, que se compone de varios **colores**, es dispersada por las moléculas de aire, de manera que a nuestros ojos llega principalmente el azul.

Al atardecer o en el amanecer los rayos inciden de forma oblicua en la Tierra, realizan un mayor recorrido hasta alcanzar la superficie terrestre. Durante este camino se absorben todos los colores y sólo llegan los rojizos.



Pulsa el botón para saber más sobre el color de la atmósfera



Ejercicio interactivo



- 1. **Característica y propiedades**
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. **Capas de la atmósfera**
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. **Dinámica atmosférica**
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. **Importancia de atmósfera**
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. **Contaminación atmosférica**
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

1. Características y propiedades

Temperatura

La temperatura del aire tiende a disminuir con la altitud, aunque en algunas regiones altas de la atmósfera aumenta, debido a que algunos gases absorben las radiaciones solares y las transforman en calor.

La atmósfera parece una capa uniforme, pero su temperatura varía de forma irregular con la altitud.

Estas variaciones sirven para diferenciar **distintas zonas** de la atmósfera.

En el apartado siguiente estudiaremos las distintas capas de la atmósfera.



Autor ilustración: José Alberto Bermúdez. Banco Imágenes ITE

Ver imagen ampliada



1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

2. Capas de la atmósfera

La atmósfera es la capa de gases que rodea la **geosfera** del planeta. Como hemos visto en el apartado anterior, la atmósfera es rica en gases pero éstos no se distribuyen de forma homogénea sino que se distribuyen en capas. La atmósfera terrestre se divide en las siguientes capas:

- Troposfera
- Estratosfera
- Mesosfera
- Termosfera o ionosfera
- Exosfera

Las divisiones entre una capa y otra se denominan respectivamente tropopausa, estratopausa, mesopausa y termopausa.

La atmósfera es la responsable de la formación de los **fenómenos atmosféricos**, filtra las radiaciones solares e impide la pérdida excesiva de calor.



Ejercicio interactivo



1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

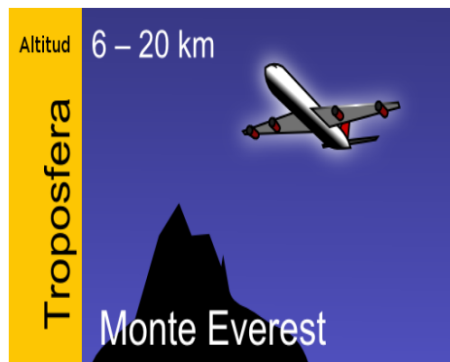
2. Capas de la atmósfera

Troposfera

La **troposfera** es la capa de la atmósfera que está en contacto con la superficie de la Tierra, en esta capa ocurren todos los fenómenos meteorológicos que influyen en los seres vivos, como los vientos, la lluvia y los huracanes.

En la troposfera, el aire alcanza su máxima densidad ya que aquí se concentra la mayor parte del oxígeno y del vapor de agua. En particular este último actúa como un regulador térmico del planeta; sin él, las diferencias térmicas entre el día y la noche serían tan grandes que no podríamos sobrevivir.

La **temperatura** disminuye con la altitud. Por cada kilómetro que se asciende, disminuye en 6,5 °C aproximadamente.



Fuente imagen: Wikipedia

Pulsa el botón para saber más sobre la troposfera



- 1. **Característica y propiedades**
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. **Capas de la atmósfera**
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. **Dinámica atmosférica**
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosférico
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. **Importancia de atmósfera**
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. **Contaminación atmosférica**
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

2. Capas de la atmósfera

Estratosfera

La **estratosfera** debe su nombre a que está dispuesta en capas más o menos horizontales o estratos. A medida que se sube, la temperatura aumenta. Este aumento se debe a que los rayos ultravioleta transforman el oxígeno en ozono.

La **ozonofera** es una parte de la estratosfera. Se extiende aproximadamente entre los 15 - 40 km de altitud y reúne el 90 % del ozono presente en la atmósfera.

El ozono actúa como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas que llegan a la Tierra dejando pasar sólo las que permiten la vida en el planeta.



Pulsa el botón para saber más sobre la estratosfera



Fuente imagen: Wikipedia



- 1. **Característica y propiedades**
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. **Capas de la atmósfera**
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. **Dinámica atmosférica**
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosférico
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. **Importancia de atmósfera**
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. **Contaminación atmosférica**
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

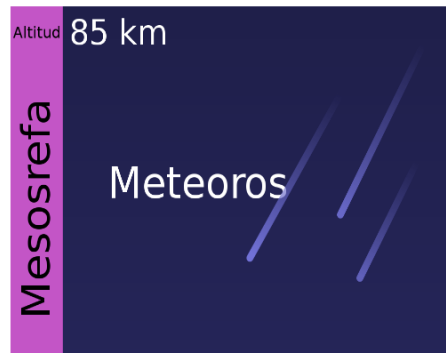
2. Capas de la atmósfera

Mesosfera

En la **mesosfera** la temperatura disminuye a medida que se aumenta la altura, hasta llegar a unos -80 °C e incluso -90 °C, es la zona más fría de la atmósfera.

La baja densidad del aire en la mesosfera determina la formación de turbulencias. En esta región las naves espaciales que vuelven a la Tierra empiezan a notar los vientos y el rozamiento con la atmósfera.

En esta capa se observan las estrellas fugaces que son meteoroides que se han desintegrado en la termosfera.



Pulsa el botón para saber más sobre la lluvia de estrellas



Fuente imagen: Wikipedia



1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosférico
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

2. Capas de la atmósfera

Termosfera o ionosfera

Dentro de esta capa, la radiación ultravioleta, pero sobre todo los rayos gamma y los rayos X provenientes del Sol, provocan la ionización de átomos y moléculas.

En dicho proceso los gases que la componen elevan su **temperatura** varios cientos de grados.

Además, en esta capa se desintegran la mayoría de los meteoritos debido al rozamiento con el aire.

En las regiones polares las partículas cargadas portadas por el viento solar son atrapadas por el campo magnético terrestre dando lugar a la formación de auroras.

Fuente imagen: Wikipedia



Pulsa el botón para saber más sobre la ionosfera



Auroras



1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosférico
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

2. Capas de la atmósfera

Exosfera

La exosfera es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio.

En esta capa de la atmósfera los gases van perdiendo sus propiedades físico-químicas y poco a poco se dispersan hasta que la composición es similar a la del espacio.

En esta región se encuentran los satélites artificiales y hay un alto contenido de polvo cósmico.

Fuente imagen: Wikipedia



Pulsa el botón para saber más sobre la exosfera



Ejercicios interactivos



1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosférico
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

3. Dinámica atmosférica

Tiempo y clima

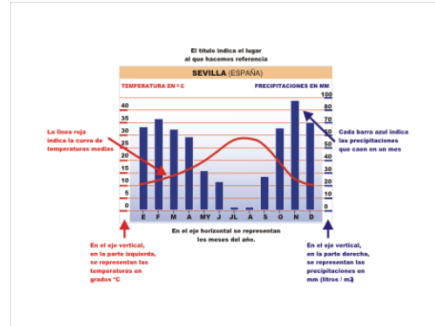
El **tiempo atmosférico** es el estado de la atmósfera en un momento dado y en una zona determinada.

Los **meteorólogos** son los científicos que tratan de predecir el tiempo que hará en una zona. Así pues, pueden evitar que barcos o aviones atraviesen tormentas peligrosas o prevenir a los agricultores para que protejan sus cosechas de granizo o heladas.

El **clima** es el conjunto de **fenómenos meteorológicos** que caracterizan una zona.

Para determinar el clima de una zona debemos recoger de forma sistemática toda la información meteorológica posible durante 30 años o más.

Autor ilustración: José Alberto Bermúdez. Banco Imágenes ITE.



Pulsa el botón para saber la información de la imagen



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

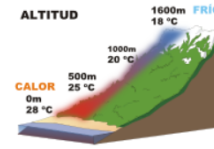
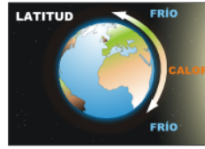
3. Dinámica atmosférica

Factores del clima

En la distribución de las zonas climáticas de la Tierra intervienen lo que se ha denominado factores climáticos, tales como la **latitud**, **altitud** y localización de un lugar y dependiendo de ellos variarán los elementos del clima.

- **Latitud**
- **Altitud**
- **Cercanía a las costas**
- **Protección de montañas**
- **Estaciones**

Autor ilustraciones de este apartado:
José Alberto Bermúdez. Banco
Imágenes ITE.



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

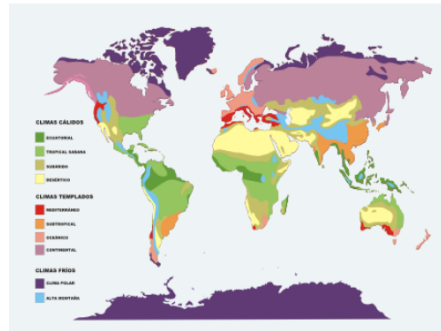
3. Dinámica atmosférica

Los climas terrestres

En el mundo los tipos de clima se clasifican en tres grupos.

- **Climas cálidos**
- **Climas templados**
- **Climas fríos**

Autor ilustración: José Alberto Bermúdez. Banco
Imágenes ITE.



El clima de la Tierra

Pulsa el botón si quieres ver la imagen ampliada



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

3. Dinámica atmosférica

Elementos meteorológicos

En la atmósfera hay muchas cualidades que pueden ser medidas. Por ejemplo: la lluvia, la velocidad y la dirección del viento, la presión atmosférica, la temperatura, la humedad...

Todas estas variables se miden en unas instalaciones llamadas **estaciones meteorológicas**.

Estas estaciones están equipadas con los principales instrumentos de medición, entre los que se encuentran los siguientes.

Anemómetro, veleta, barómetro, higrómetro, piranómetro, pluviómetro y termómetro.

Los datos que proporcionan los distintos aparatos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

mp3 download
Fuente AEMET

Pulsa el botón si deseas saber más sobre los instrumentos de medida



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

3. Dinámica atmosférica

Fenómenos atmosféricos

Se llaman **meteoros** a todos los fenómenos que ocurren en la atmósfera o en la superficie de la Tierra.

Los meteoros se clasifican en cuatro grandes grupos:

- **Eolometeoros o meteoros de viento**
- **Hidrometeoros o meteoros acuosos**
- **Fotometeoros o meteoros ópticos**
- **Electrometeoros o meteoros eléctricos**



Autor fotografía: Dr. Joseph Golden, NOAA

Las brisas



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

3. Dinámica atmosférica

Fenómenos meteorológicos: eolometeoros

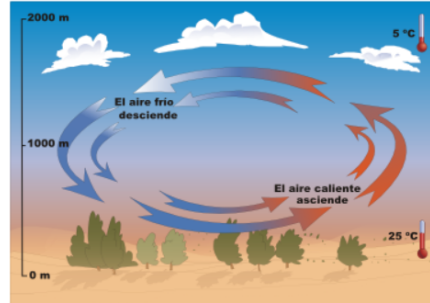
El viento es la circulación del aire en la troposfera. Estas corrientes de aire se deben fundamentalmente a variaciones de la temperatura y densidad del aire de unos lugares a otros.

El aire, al calentarse, se expande por lo que disminuye su densidad y asciende por encima de un aire frío y más denso. El viento va desde las zonas de aire más frío (más denso) hacia las zonas de aire más caliente (menos denso).

La atmósfera se calienta porque está en contacto con la superficie terrestre que, a su vez, es calentada por el Sol.

Los vientos se caracterizan por no soplar en línea recta ya que la rotación de la Tierra les otorga un movimiento circular.

En el hemisferio norte el aire de los anticiclones o altas presiones circula en sentido horario mientras que el aire de las borrascas o zonas de bajas presiones circula en sentido contrario. En el hemisferio sur ocurre lo contrario.



Autor ilustración: José Alberto Bermúdez. Banco Imágenes ITE.

Pulsa el botón para ampliar la información



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

3. Dinámica atmosférica

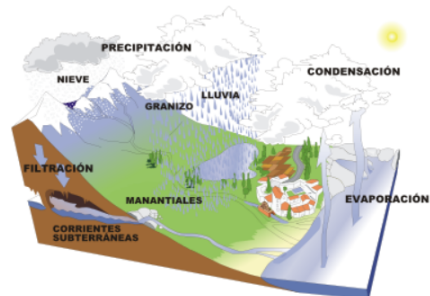
Fenómenos meteorológicos: hidrometeoros

El aire caliente que asciende hasta las capas más altas de la atmósfera, se enfría a medida que asciende provocando la condensación del vapor de agua en gotitas microscópicas que forman las nubes.

Estas se reúnen unas con otras formando gotas cada vez mayores que se sostienen en el aire gracias al viento. Cuando se hacen muy pesadas estas nubes, el agua cae por gravedad y da lugar a lluvias.

La nieve se produce cuando la temperatura del aire es inferior a 0 °C.

El granizo se origina cuando el viento es fuerte y las temperaturas muy bajas, los fuertes vientos llevan entonces grandes gotas de agua que al congelarse dan granizo o pedrisco que puede alcanzar hasta varios centímetros de diámetro.



Autor ilustración: José Alberto Bermúdez. Banco Imágenes ITE.

Pulsa el botón si deseas saber más sobre los hidrometeoros



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

3. Dinámica atmosférica

Fenómenos meteorológicos: fotometeoros

El **arcoíris** es un fenómeno óptico y meteorológico que se produce cuando los rayos del Sol atraviesan pequeñas gotas de agua contenidas en la atmósfera terrestre.

Se manifiesta en forma de un arco multicolor de 7 colores (**rojo, naranja, amarillo, verde, azul, añil y violeta**) con el rojo hacia la parte exterior y el violeta hacia la interior.

Menos frecuente es el arcoíris doble, el cual incluye un segundo arco más tenue con los colores invertidos, es decir, el rojo hacia el interior y el violeta hacia el exterior.

El arcoíris puede verse en la lluvia, en la niebla o en el agua pulverizada de cascadas y cataratas.

También puede verse cuando se hace pasar la luz blanca a través de un **prisma triangular**.



Fotografía de Michael Rogers, 2004. Fuente Wikipedia.

Construyo mi arcoíris



- 1. Característica y propiedades
 - Composición
 - Densidad
 - Color
 - Temperatura
- 2. Capas de la atmósfera
 - Troposfera
 - Estratosfera
 - Mesosfera
 - Termosfera o ionosfera
 - Exosfera
- 3. Dinámica atmosférica
 - Tiempo y clima
 - Factores del clima
 - Los climas terrestres
 - Elementos meteorológicos
 - Fenómenos atmosféricos
 - La presión atmosférica
 - Los mapas del tiempo
- 4. Importancia de atmósfera
 - Regulación de la temperatura
 - La atmósfera como escudo
 - La atmósfera y los seres vivos
- 5. Contaminación atmosférica
 - ¿Qué es la contaminación?
 - Efectos de la contaminación

RESUMEN

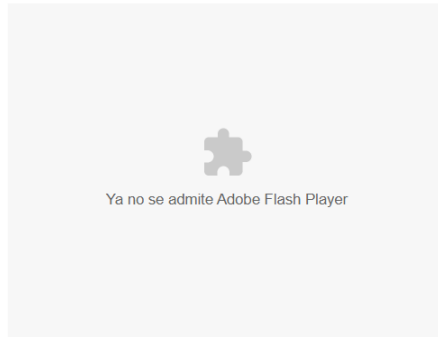
3. Dinámica atmosférica

Fenómenos meteorológicos: electrometeoros

El **rayo** es una de las descargas electrostáticas de mayor intensidad que se producen en la naturaleza.

Se forman cuando existen zonas con diferente carga eléctrica dentro de una nube, entre dos nubes o con la superficie de la Tierra. Su naturaleza eléctrica fue demostrada por **Benjamin Franklin**.

Esta diferencia de carga se produce por el rozamiento de los cristales de hielo dentro de las nubes **cumulonimbos** debido a las fuertes corrientes de aire ascendente de su interior, los cristales más pequeños ascienden a la parte superior de la nube y se cargan positivamente, los más pesados permanecen en la parte inferior y se cargan negativamente. Esta carga negativa puede producir por inducción una carga positiva sobre la superficie de la Tierra, a partir de esta situación ya se puede producir el rayo.



El rayo



1. Característica y propiedades

Composición
Densidad
Color
Temperatura

2. Capas de la atmósfera

Troposfera
Estratosfera
Miosfera
Termosfera o ionosfera
Exosfera

3. Dinámica atmosférica

Tiempo y clima
Factores del clima
Los climas terrestres
Elementos meteorológicos
Fenómenos atmosférico
La presión atmosférica
Los mapas del tiempo

4. Importancia de atmósfera

Regulación de la temperatura
La atmósfera como escudo
La atmósfera y los seres vivos

5. Contaminación atmosférica

¿Qué es la contaminación?
Efectos de la contaminación

RESUMEN

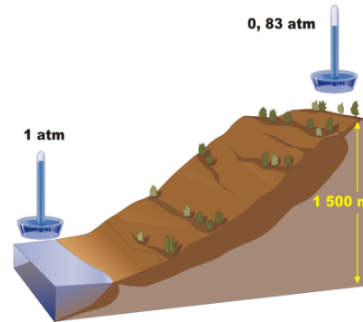
3. Dinámica atmosférica

La presión atmosférica

La presión atmosférica se debe al peso del aire sobre un cierto punto de la superficie terrestre por lo tanto, es lógico suponer que cuanto más alto esté el punto, tanto menor será la presión, ya que también es menor la cantidad de aire que hay por encima.

Si tomamos como referencia el nivel del mar donde a la presión atmosférica le asignamos un valor de **1 atm**. En una cumbre situada a unos 1 500 metros sobre el nivel del mar, la presión atmosférica vale aproximadamente 0,83 atm, es decir, la presión disminuye con la altura.

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire atmosférico sobre la superficie terrestre. Cuanto mayor sea la altura de la superficie terrestre respecto al nivel del mar, menor es la presión del aire.



Autor ilustración: José Alberto Bermúdez. Banco Imágenes ITE.

Pulsa el botón si deseas saber más sobre la presión atmosférica



1. Característica y propiedades

Composición
Densidad
Color
Temperatura

2. Capas de la atmósfera

Troposfera
Estratosfera
Miosfera
Termosfera o ionosfera
Exosfera

3. Dinámica atmosférica

Tiempo y clima
Factores del clima
Los climas terrestres
Elementos meteorológicos
Fenómenos atmosférico
La presión atmosférica
Los mapas del tiempo

4. Importancia de atmósfera

Regulación de la temperatura
La atmósfera como escudo
La atmósfera y los seres vivos

5. Contaminación atmosférica

¿Qué es la contaminación?
Efectos de la contaminación

RESUMEN

3. Dinámica atmosférica

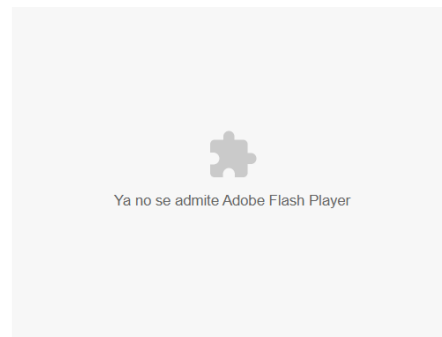
Los mapas del tiempo

Los meteorólogos son los encargados de elaborar los mapas del tiempo. Para ello utilizan la información que proporcionan las estaciones meteorológicas, los aviones, los globos sonda y los satélites artificiales.

Estos mapas representan los valores de algunos fenómenos meteorológicos como la presión, el viento, la lluvia...

Los mapas del tiempo que nos interesan son aquellos que representan las **isobaras** y los **frentes**. Con ellos es posible determinar qué tiempo hace y cómo evolucionará en las próximas horas con un grado de fiabilidad muy grande, hasta un límite de tres días.

Pasa el puntero del ratón sobre el mapa de la derecha e identifica en el mapa los siguientes símbolos: anticiclones (A), borrascas (B) frente frío, frente cálido e isobara.



Pulsa el botón si deseas saber más sobre los mapas del tiempo



1. Característica y propiedades

Composición
Densidad
Color
Temperatura

2. Capas de la atmósfera

Troposfera
Estratosfera
Mesofera
Termosfera o ionosfera
Exosfera

3. Dinámica atmosférica

Tiempo y clima
Factores del clima
Los climas terrestres
Elementos meteorológicos
Fenómenos atmosféricos
La presión atmosférica
Los mapas del tiempo

4. Importancia de atmósfera

Regulación de la temperatura
La atmósfera como escudo
La atmósfera y los seres vivos

5. Contaminación atmosférica

¿Qué es la contaminación?
Efectos de la contaminación

RESUMEN

4. Importancia de la atmósfera para la vida

Regulación de la temperatura

Durante el día la superficie de la Tierra se calienta cuando recibe la luz del Sol. Una vez que el terreno se ha calentado devuelve este calor en forma de radiación infrarroja (radiación invisible que captamos en forma de calor). Si no existiera la atmósfera, todo ese calor escaparía al espacio y la Tierra se enfriaría rápidamente durante la noche.

Sin la atmósfera la temperatura media de la superficie terrestre sería de $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ cuando en realidad es de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La atmósfera regula el calor de la superficie terrestre al comportarse como los cristales o los plásticos de un invernadero. La atmósfera deja pasar las radiaciones solares que calientan la superficie de la Tierra, pero impide la salida de gran parte de la radiación infrarroja que la superficie terrestre devuelve manteniendo así el calor y por lo tanto favoreciendo la vida en el planeta Tierra.

A este fenómeno se le llama efecto invernadero, es un efecto natural y se debe sobre todo al CO_2 y al vapor de agua de la troposfera.



Ver ampliada la imagen

Efecto invernadero



1. Característica y propiedades

Composición
Densidad
Color
Temperatura

2. Capas de la atmósfera

Troposfera
Estratosfera
Mesofera
Termosfera o ionosfera
Exosfera

3. Dinámica atmosférica

Tiempo y clima
Factores del clima
Los climas terrestres
Elementos meteorológicos
Fenómenos atmosféricos
La presión atmosférica
Los mapas del tiempo

4. Importancia de atmósfera

Regulación de la temperatura
La atmósfera como escudo
La atmósfera y los seres vivos

5. Contaminación atmosférica

¿Qué es la contaminación?
Efectos de la contaminación

RESUMEN

4. Importancia de la atmósfera para la vida

La atmósfera como escudo

La atmósfera nos protege de las radiaciones solares perjudiciales procedentes del Sol. El Sol, además de luz y calor (radiación infrarroja), emite otras radiaciones como los rayos gamma, los rayos X y los rayos ultravioletas que son dañinos para la vida. Estas radiaciones nocivas son absorbidas por la termosfera y estratosfera.

Nos protege de los impactos de los meteoritos. Estas rocas procedente del espacio exterior son atraídas por la gravedad y caen sobre la superficie terrestre. Al entrar en contacto con los gases de la atmósfera, a gran velocidad, el rozamiento hace que se calienten tanto que se ponen incandescentes y acaban desintegrándose no llegando al suelo. Sólo los más grandes (poco frecuentes) pueden atravesar la atmósfera y llegar al suelo provocando grandes catástrofes: destrucción de la zona de impacto, cambios climáticos, extinción de especies, etc.



Escudo cerámico del transbordador Discovery. NASA

Pulsa el botón si deseas saber más sobre los escudos térmicos

