

ING. IVO MILÁN MEDINA, *Universidad de Granma, Cuba*
DR. MANUEL CAMPS MICHELENA, *Universidad Politécnica de Madrid, España*
DR. JUAN A. PAJARÍN RODRÍGUEZ, *Universidad de Oriente, Cuba*
DR. MANUEL ALMEIDA SAAVEDRA, *Universidad de Granma, Cuba*
ING. ERICK SÁNCHEZ GONZÁLEZ, *Universidad de Granma, Cuba*

IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES DE ESCAPE DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

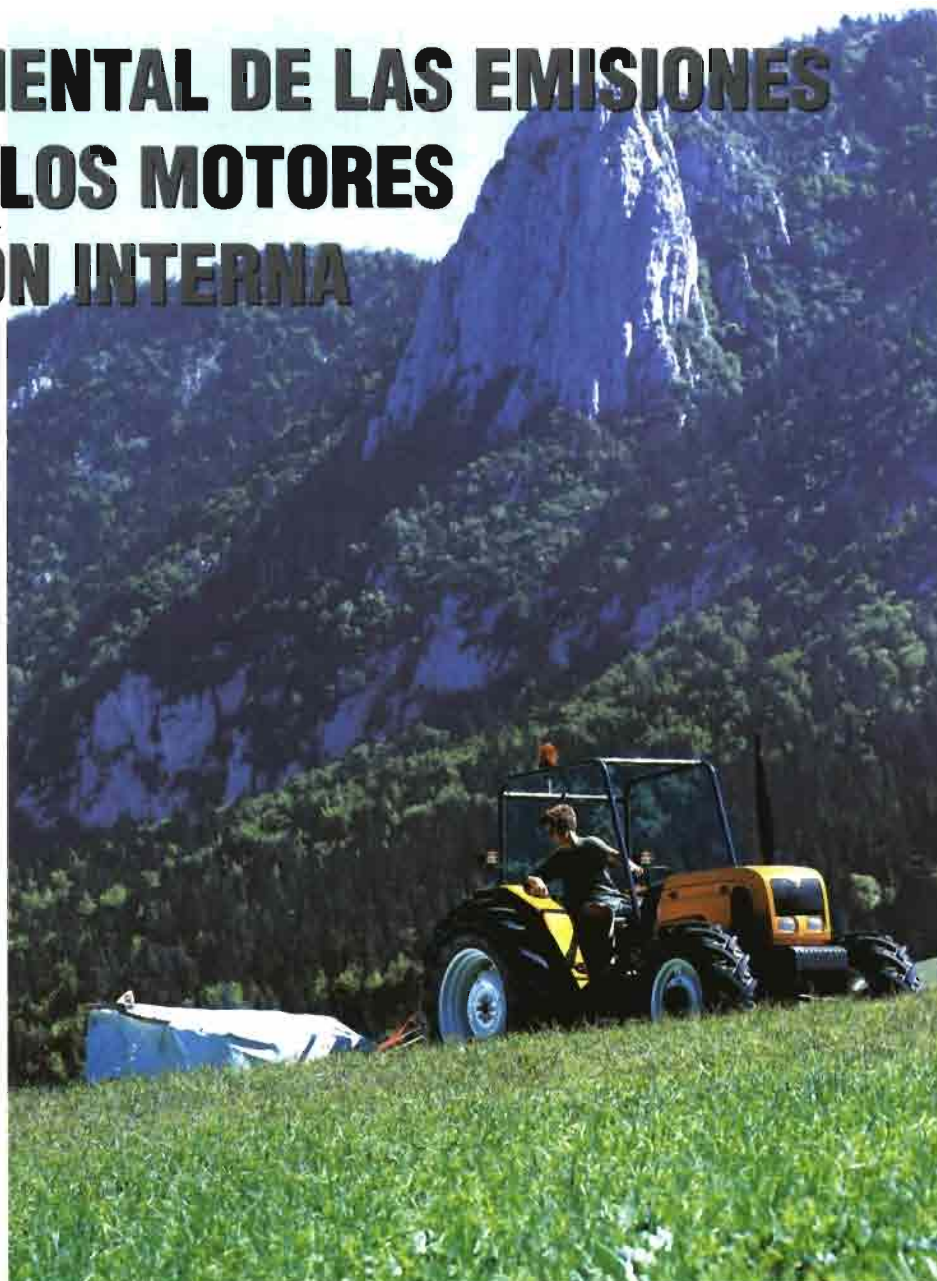
EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, LOS FABRICANTES DE TRACTORES HAN REALIZADO UN GRAN ESFUERZO PARA DESARROLLAR MOTORES CUMPLIENDO LAS LIMITACIONES QUE EXIGE UNA NORMATIVA EUROPEA, CADA VEZ MÁS EXIGENTE.

Los motores 'verdes' o 'ecológicos' se han convertido en un argumento comercial, ya que la reducción de las emisiones gaseosas de los mismos se ha conseguido sin bajar las prestaciones.

Sólo un pequeño porcentaje del petróleo, menos del 5% del total consumido en el año, se utiliza en actividades agrícolas, pero, a pesar de ello, las autoridades de todos los países han querido que cualquier sector económico contribuya a la reducción de los gases que aumentan el conocido 'efecto invernadero'.

CALENTAMIENTO GLOBAL

El peligro que se cierne sobre la humanidad debido a los efectos globales sobre el medio ambiente se ha convertido en la última década en tema obligado de discusión y análisis en los más variados escenarios internacionales.



El agotamiento de la capa de ozono, el calentamiento global resultante del efecto invernadero, las lluvias ácidas, la desaparición de especies biológicas, la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, mares y zonas costeras, la destrucción de bosques y la depauperación de suelos agrícolas, son problemas que se presentan al hombre y a los que hay que buscar solución, siendo evidente que ignorarlos representa una inminente amenaza de su propia desaparición.

El origen del calentamiento global radica, no en el efecto invernadero, como es frecuente escuchar, porque es precisamente la presencia de este efecto lo que hace posible la vida en la Tierra, sino en la intensificación del mismo. Los motores de combustión interna (MCI), una de las fuentes energéticas más universalmente utilizadas en la actualidad, son responsables de una parte considerable de las emisiones de sustancias tóxicas y contaminantes que llegan a la atmósfera.

LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Los MCI se convirtieron a partir de mediados del siglo XX en una de las fuentes energéticas más utilizadas por el hombre en los más diversos sectores. Sus relativamente altos rendimientos, así como sus bajos costos de fabricación, reparación y explotación, junto a su alta durabilidad, los hicieron imprescindibles; lejos estaban de pensar sus precursores que, con el paso del tiempo, estos ingenios se convertirían en focos de contaminación del medio ambiente.

El principio de funcionamiento de los MCI se basa en la conversión de la energía térmica liberada durante la reacción del combustible (se utiliza por lo general un derivado del petróleo) en energía mecánica; los productos de la reacción de combustión son los genéricamente llamados gases de escape, que se expulsan a la atmósfera después de cada ciclo de trabajo (un ciclo de trabajo dura fracciones de segundo). Cabría señalar que, dentro de los MCI, se identifican dos tipos básicos de acuerdo a su ciclo: los motores Otto, que utilizan la gasolina como combustible, y los motores Diesel,

que utilizan gasóil; en ambos casos, las emisiones de escape son similares, diferenciándose la proporción de cada producto.

LAS EMISIONES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Por cada unidad de masa de combustible fósil mezclada con la conveniente cantidad de oxígeno proveniente del aire, que es quemada en la cámara de combustión de cada cilindro de un MCI, es expulsada a la atmósfera similar cantidad de productos de la reacción de combustión en forma de gases de escape. La combustión es un proceso complejo, que varía en función de múltiples factores, partiendo del tipo de motor y teniendo en cuenta el régimen de trabajo en que se explota, y de las características propias del combustible, o la relación de la mezcla aire-combustible. La composición de las emisiones es también compleja, debido a la gran cantidad de elementos que la integran; como componentes básicos, pueden considerarse los siguientes:

1. Monóxido de carbono (CO)
2. Óxidos de nitrógeno (NO_x)
3. Compuestos de azufre (SO_x, H₂S)
4. Compuestos orgánicos
5. Partículas de polvo

Un componente de las emisiones de escape, que tradicionalmente pasó inadvertido cuando se consideraban los efectos negativos de las mismas, pues se suponía inocuo, era el dióxido de carbono, también llamado anhídrido carbónico (CO₂). En la actualidad, este gas es uno de los más controvertidos contaminantes globales, pues sus propiedades lo sitúan como el más activo gas de invernadero, siendo además él más propenso a aumentar su concentración en la atmósfera, por la gran diversidad de fuentes de emisión, siendo los MCI una de las principales.

Disponer de datos exactos que cuantifiquen el volumen total de emisiones a escala global debidas a los MCI resulta poco menos que imposible, dada la gran difusión de los mismos, y las diferencias en cuanto a tecnología, medios y métodos para realizar los estudios en las distintas regiones del planeta; esto, sin despreciar factores subjetivos que pudieran alterar los resultados. No obstante, se han realizado estudios en diversas latitudes con resultados concurrentes hacia cifras que podrían resultar satisfactorias como patrones de comparación.





ALGUNOS EFECTOS DE LAS EMISIONES DE LOS MCI

Se definieron con anterioridad cinco elementos a considerar al valorar los efectos de las emisiones, haciendo además una mención especial relativa al CO₂. A continuación, se realiza un análisis de cada uno de ellos con elementos de juicio que permitirán una visión más profunda del problema de las emisiones.

– CO₂: El dióxido de carbono es un componente que se forma a partir de la combinación del carbono presente en las cadenas de hidrocarburos del combustible con el oxígeno del aire durante la combustión completa.

Sus efectos nocivos se han descubierto hace relativamente poco tiempo en comparación con los otros elementos de los gases de escape y se relacionan con su identificación como uno de los gases invernadero con más capacidad de retención de las radiaciones térmicas reflejadas en la superficie terrestre, y ser además uno de los que más diversas fuentes de liberación a la atmósfera tiene, entre las que se destacan la ignición de combustibles fósiles y la deforestación, que permite el escape al ambiente del CO₂ contenido en las plantas.

Cuando aumenta la concentración de CO₂ (entre otros gases de invernadero) por encima del punto de equilibrio natural, los ecosistemas del planeta no alcanzan a equilibrarlo, con lo que la absorción de la radiación infrarroja contenida en la luz solar aumenta, provocando una elevación de la temperatura de la superficie terrestre. Este fenómeno ha dado en llamarse calentamiento global.

– CO: Este elemento se forma fundamentalmente en los MCI que trabajan según el ciclo Otto. Popularmente conocidos como 'motores de gasolina', en referencia al combustible que utilizan, debido a la combustión con déficit de oxígeno (combustión incompleta), sus efectos nocivos fundamentalmente tóxicos se atribuyen

Investigaciones realizadas en la Comunidad Económica Europea muestran datos relativos a la contribución de los MCI con contaminantes básicos referidos al total de emisiones globales de los mismos (Tabla 1).

Otros datos que ilustran la influencia de los MCI en la contaminación del medio son las magnitudes promedio de emisión de contaminantes por litro de combustible quemado (Tabla 2).

Sobre la base de éstos, se apuntó en 1986 que, en la Comunidad Económica Europea, una de las áreas geográficas con mayor concentración de motores de combustión interna, el 53.6 % de NO_x, el 27.1% de los compuestos volátiles orgánicos y el 2.9 % del SO₂ que llegaron a la atmósfera, fueron expulsados por los sistemas de escape de los MCI.

TABLA 1. CONTRIBUCIÓN DE LOS MCI A LAS CONTAMINACIONES GLOBALES DEL MEDIO CON MONÓXIDO DE CARBONO, HIDROCARBUROS Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO

GASES EMITIDOS	PORCENTAJE EN RELACIÓN CON LAS EMISIONES GLOBALES
CO	66
HC	39
NO _x	47

TABLA 2. EMISIONES DE ALGUNOS ELEMENTOS CONTAMINANTES POR LITRO DE COMBUSTIBLE QUEMADO

CONTAMINANTES	CANTIDAD (G/LITRO DE COMBUSTIBLE QUEMADO)	
	GASOLINA	GASÓLEO
CO	360	7
NO ₂	15	20
Hidrocarburos	30	40
Partículas	1	14



yen a que, al ser inhalado durante la respiración, reacciona con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina, y provocando la muerte del hombre y de los animales que lo hayan inhalado. A él se debe la conocida recomendación de no hacer funcionar motores de combustión en locales con insuficiente ventilación.

– **NO_x**: Es el término genérico bajo el que se agrupan los óxidos de nitrógeno. Los más comunes son el NO y el NO₂; se forman durante la combustión, debido a la reacción química entre el oxígeno y el nitrógeno; las altas temperaturas provocan la disociación de la molécula de O₂ y su combinación con el nitrógeno. En reacciones posteriores, los NO_x se combinan con oxígeno y agua y dan lugar a la formación del ácido nítrico, elemento que contribuye a la ocurrencia de las lluvias ácidas. Además, la descomposición del NO₂ en presencia de la luz solar potencia la formación del O₃, que reacciona fácilmente con algunos hidrocarburos formando compuestos orgánicos oxigenados (aldehídos, ácidos orgánicos) contaminantes tóxicos que afectan al hombre, plantas y animales.

– **Compuestos de azufre (SO_x, H₂S)**: Estos compuestos se forman debido a la presencia de azufre en el combustible, que reacciona durante la combustión con el oxígeno y el hidrógeno. Son compuestos tóxicos que provocan

“Los óxidos de nitrógeno son contaminantes tóxicos que afectan al hombre”

irritación en las vías respiratorias, vértigos, convulsiones. Además, son los responsables de la formación del ácido sulfúrico al combinarse con el agua; este ácido es uno de los principales responsables de la existencia de las lluvias ácidas.

– **Compuestos orgánicos**: Dentro de esta categoría suelen agruparse los hidrocarburos no quemados del combustible, los que se forman dentro de la cámara de combustión, que son expulsados o se descomponen dando lugar a los **hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)**, algunos de los cuales son activos agentes cancerígenos que actúan aun cuando sus concentraciones sean muy pequeñas. También pertenecen a este grupo los hidrocarburos alifáticos, responsables de la formación de la niebla fotoquímica, que producen además irritación de las vías respiratorias, mareos, somnolencia, etc.

– **Partículas de polvo**: Dentro de las partículas que se expulsan a la atmósfera, la más común y abundante es el hollín, compuesta por mezclas de productos carbonados sólidos de dimensiones extremadamente pequeñas. El hollín provoca la contaminación mecánica de los pulmones al ser inhalado, haciéndose además más peligroso como absorbente y portador de sustancias cancerígenas, tales como los hidrocarburos.

VÍAS PARA DISMINUIR EL EFECTO DE LAS EMISIONES DE LOS MCI

Los efectos tóxicos de las emisiones de los motores eran tenidos en cuenta mucho antes de que los efectos globales contra el medio ambiente alcanzaran el nivel de protagonismo actual. Desde entonces, se han ideado métodos para eliminar o, al menos, disminuir estos efectos nocivos de los gases de escape. Hoy, cuando el problema ha aumentado, las investigaciones continúan y se buscan vías novedosas para resolver las dificultades.

Las acciones que vienen utilizándose para reducir las emisiones, de manera sucinta serían las siguientes:

- Perfeccionamiento del ciclo de trabajo.
- Recirculación de los gases de escape.
- Procesamiento del combustible y empleo de aditivos como el ETBE de las gasolinas.
- Neutralización de los gases de escape.

Algunas de las medidas encaminadas a disminuir los efectos de las emisiones de los MCI reciben el apoyo oficial de distintos países mediante leyes y regulaciones. En ocasiones se limita la circulación de vehículos en ciudades populosas con altos índices de contaminación.

A pesar de todo esto, se hace notar que los esfuerzos realizados no han bastado para remediar el efecto producido por un solo elemento, que sobrepasa lo que a escala local puedan representar el resto de los componentes de los gases de escape: el CO₂.



Por ello, hay que dar preferencia a la reducción de las emisiones de CO₂ y, bajo este aspecto se incrementa el interés en el empleo de los biocombustibles, que sólo devuelven a la atmósfera el CO₂ previamente fijado por las plantas.

EL EMPLEO DE BIOCOMBUSTIBLES

El término 'biocombustibles' es muy amplio pero, si se enmarca el concepto dentro del campo de los MCI, se reduce el espectro a dos tipos fundamentales: los alcoholes y los aceites.

El empleo de alcoholes como combustibles en sustitución de la gasolina es bastante conocido; de referencia puede servir el caso de Brasil, donde miles de vehículos circulan utilizando como combustible el etanol obtenido de la destilación de la caña de azúcar.

El biodiésel, conocido también como metiléster en Europa, como B100, o gasóil verde, en Estados Unidos, es un combustible obtenido a partir de aceites vegetales sometidos a un proceso químico conveniente, que permite su utilización en motores diésel con resultados similares a los del gasóil, siendo posible también su empleo en mezclas con el gasóil.

Estudios realizados en Europa y Estados Unidos permiten augurar al biodiésel un futuro halagüeño como sustituto del gasóil, debido a sus propiedades ecológicas y a su inestimable característica de renovabilidad.

De hecho, el biodiésel es el único combustible alternativo que posee una evaluación completa de emisiones, aprobado por la EPA (*Environmental Protection Agency*). Las pruebas realizadas en Estados Unidos ofrecen los siguientes resultados:

- Reducción aproximada de un 80% en las emisiones de CO₂ debido a que el ciclo del gas es cerrado, a diferencia del petróleo, que incorpora al ciclo ecológico carbono 'fósil' que, al combinarse con el O₂, aumenta el volumen global del CO₂.

- Reducción de las emisiones de CO en un 50% con relación al gasóil convencional.
- Los hidrocarburos totales sin quemar se reducen en el 93%.
- Se observa una disminución 75-85% de H.A.P (hidrocarburos aromáticos policíclicos).
- Reducción de un 30% de las partículas de polvo y similares.
- El biodiésel no contiene azufre, lo que elimina las emisiones de sus sulfatos y óxidos.
- Se observa un incremento de hasta el 13% en los óxidos de nitrógeno. Sin embargo, la ausencia de azufre permite utilizar técnicas para eliminar el NO_x que no pueden ser usados en el gasóil común.

“El biodiésel es un combustible sobre el que se ha realizado una evolución completa de emisiones”

Con el comienzo del nuevo siglo, las perspectivas para el empleo del biodiésel como alternativa aunque sea parcial, se hacen mayores. Su debilidad más señalada es la de tener un precio superior al del gasóil común, aunque esto dependa de la evolución de los precios del petróleo.

Sin embargo, puede que razones ambientales lo terminen imponiendo, aunque siga siendo algo más caro que el combustible de origen fósil.

FE DE ERRATAS

El Gráfico 10 (pág. 47) correspondiente al artículo relativo a las prestaciones que ofrecen los motores en los tractores agrícolas, publicado en la sección 'Sobre el papel' de nuestro número de Septiembre, se refería a la 'Variación de la caída del régimen en función de la reserva de par'.

