

# I. Disposiciones generales

## MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES

**4444** *TEXTO revisado del Anexo Técnico del Protocolo al convenio sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia, de 1979, relativo a la lucha contra las emisiones de óxidos de nitrógeno o sus flujos transfronterizos, hecho en Sofía el 31 de octubre de 1988 (publicado en el «Boletín Oficial del Estado» de 13 de marzo de 1991).*

### PROTOKOLO AL KONVENIO SOBRE KONTAMINACION ATMOSFERICA TRANSFRONTERIZA A GRAN DISTANCIA, DE 1979, RELATIVO A LA LUCHA CONTRA LAS EMISIONES DE OXIDOS DE NITROGENO O SUS FLUJOS TRANSFRONTERIZOS

Primera edición revisada\*

#### ANEXO TECNICO

1. El anexo tiene por objeto proporcionar orientaciones a las Partes en el Convenio, con vistas a determinar las opciones y técnicas de lucha contra las emisiones de óxidos de nitrógeno que les permitan cumplir con sus obligaciones en virtud del Protocolo.

2. El anexo se basa en la información referente a las opciones y técnicas relativas a la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub>, así como en los resultados y costes de dichas opciones y técnicas, que figuran en la documentación oficial del órgano ejecutivo y de sus órganos subsidiarios, y en la documentación del Comité de Transportes Interiores de la CEPE (Comisión Económica para Europa) y de sus órganos subsidiarios, así como en informaciones complementarias facilitadas por los expertos designados por los Gobiernos.

3. El anexo contempla la lucha contra las emisiones de NO<sub>x</sub>, consideradas como el total de óxido de nitrógeno (NO) y de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) expresado en NO<sub>2</sub>, y presenta una serie de medidas y de técnicas de reducción de los NO<sub>x</sub> que engloban una amplia gama de costes y de grados de eficacia. Salvo indicación en contrario, éstas serán consideradas como técnicas bien establecidas, ya que se basan en una importante experiencia

práctica adquirida, en la mayoría de los casos, a lo largo de cinco años o más. No se trata, sin embargo, de una exposición exhaustiva de los medios de lucha posibles; el objetivo es ayudar a las Partes a identificar las mejores técnicas disponibles que sean económicamente aplicables que puedan servir de base para unas normas nacionales de emisión, y a introducir medidas anticontaminación.

4. La selección de las medidas a aplicar en tal o cual caso depende de diversos factores, entre ellos la legislación y las disposiciones reglamentarias pertinentes, la composición de las energías primarias, la infraestructura industrial y la coyuntura económica de la Parte afectada y, en el caso de las fuentes fijas, el estado de la instalación. Conviene recordar que, con frecuencia, las fuentes de NO<sub>x</sub> son también fuentes de otros contaminantes, como por ejemplo los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), determinados compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas. En el diseño de los medios de lucha posibles, todas las emisiones de contaminantes deben ser tenidas en cuenta conjuntamente con objeto de que el efecto global de reducción sea máximo y el impacto producido en el medio ambiente por la fuente en cuestión sea mínimo.

5. El anexo tiene en cuenta el estado de los conocimientos y de los datos experimentales sobre las medidas de lucha contra los NO<sub>x</sub>, incluida la adaptación a posteriori, en 1992, en el caso de fuentes fijas y, en 1994, en el de las fuentes móviles. Como estos conocimientos y datos experimentales se encuentran en constante desarrollo, en particular como consecuencia de la utilización de técnicas poco contaminantes en los vehículos nuevos, de la elaboración de carburantes sustitutos así como de la reconversión y otras estrategias aplicadas a los vehículos existentes, el anexo debe ser actualizado y modificado regularmente.

#### I. Técnicas de lucha contra las emisiones de NO<sub>x</sub> provenientes de fuentes fijas

6. La combustión de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones antropogénicas de NO<sub>x</sub> provenientes de fuentes fijas. Además, algunos procesos diferentes de la combustión pueden contribuir considerablemente a estas emisiones. Según el EMEP/CORINAIR'90, las principales categorías de fuentes fijas de emisiones de NO<sub>x</sub> son las siguientes:

a) Centrales eléctricas públicas, instalaciones mixtas e instalaciones de calefacción urbana;

i) Calderas;

ii) Turbinas fijas de gas de combustión y motores de combustión interna.

\* La revisión se refiere al Anexo Técnico según fue adoptado, teniendo en cuenta las modificaciones que se introdujeron, el Órgano Ejecutivo del Convenio sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia en su duodécima reunión, del 28 de noviembre al 1 de diciembre de 1994. Surtilá efecto según lo previsto en el párrafo 4 del artículo 11 del presente Protocolo.

b) Instalaciones de combustión comerciales, institucionales y residenciales:

- i) Calderas comerciales;
- ii) Aparatos de calefacción doméstica.

c) Instalaciones de combustión industriales y procedimientos de combustión:

- i) Calderas y hornos de calentamiento (no hay contacto directo entre los gases de conducto y los productos);
- ii) Procedimientos (contacto directo) (calcinación en horno rotativo, fabricación de cemento, cal, vidrio, pasta de papel, etc., metalurgia).

d) Procesos distintos de la combustión, por ejemplo, producción de ácido nítrico.

e) Extracción, transformación y distribución de combustibles fósiles.

f) Tratamiento y eliminación de residuos (incineración de residuos urbanos e industriales, etc.).

7. En la región de la CEPE, los procedimientos de combustión [categorías a), b) y c)] representan el 85 por 100 de las emisiones de  $\text{NO}_x$  provenientes de fuentes fijas; los procesos distintos de la combustión, como por ejemplo los procedimientos de fabricación, el 12 por 100, y la extracción, la transformación y la distribución de combustibles fósiles, el 3 por 100. Si bien en muchos países miembros de la CEPE, son las centrales eléctricas [categoría a)] las que más contribuyen a las emisiones de  $\text{NO}_x$  provenientes de fuentes fijas, la principal fuente de emisiones de óxidos de nitrógeno es, por lo general, la circulación vial, aunque la importancia relativa de estas diferentes fuentes varía según las Partes en el Convenio. Es necesario tener en cuenta también las fuentes industriales.

#### MEDIOS GENERALES PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE $\text{NO}_x$ DEBIDAS A LA COMBUSTIÓN

8. Los medios generales para reducir el  $\text{NO}_x$  son:

a) Medidas de gestión de la energía 1/:

- i) Ahorros de energía;
- ii) Combinación de energías.

b) Medios técnicos:

- i) Sustitución/depuración de los combustibles;
- ii) Otras técnicas de combustión;
- iii) Modificación de los procedimientos y del modo de combustión;
- iv) Tratamiento de los gases de conducto.

9. Para realizar el programa más eficaz posible de reducción de  $\text{NO}_x$ , aparte de las medidas enumeradas en a), conviene prever una combinación de los medios técnicos indicados en b). La combinación de la modificación del modo de combustión y del tratamiento de los gases de conducto requiere una evaluación particular in situ.

10. En ciertos casos, reduciendo las emisiones de  $\text{NO}_x$ , se consigue también reducir las de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y otros contaminantes.

#### Ahorros de energía

11. La utilización racional de la energía (mejora de la eficacia energética y de los procedimientos, producción combinada calor-electricidad y/o gestión de la demanda) implica habitualmente una reducción de las emisiones de  $\text{NO}_x$ .

#### Combinación de energías

12. En general, se pueden reducir las emisiones de  $\text{NO}_x$ , aumentando la parte de las energías que no requieren combustión (hidráulica, nuclear, eólica, etc.). Pero hay que tener en cuenta que se pueden producir otros tipos de impacto sobre el medio ambiente.

#### Sustitución/depuración de los combustibles

13. El cuadro 1 indica los volúmenes de emisiones de  $\text{NO}_x$  no controladas que pueden esperarse de la combustión de combustibles fósiles en los diferentes sectores.

14. La sustitución de combustibles (por ejemplo, combustibles ricos en nitrógeno por combustibles pobres en nitrógeno, o carbón por gas) puede provocar una disminución de las emisiones de  $\text{NO}_x$ , pero puede encontrarse con ciertas dificultades, como por ejemplo, la de obtener combustibles que emitan poco  $\text{NO}_x$  (gas natural en las fábricas, etc.) o la adaptabilidad de los hornos existentes a otros combustibles. En muchos países de la CEPE se están sustituyendo instalaciones que funcionan con carbón o con hidrocarburos por instalaciones de gas.

15. La extracción de nitrógeno contenido en los combustibles no es rentable. Sin embargo, la creciente utilización de la tecnología del craqueo en las refinerías permite reducir también el porcentaje de nitrógeno en los productos finales.

#### Otras técnicas de combustión

16. Se trata de técnicas de combustión cuyo rendimiento térmico ha sido mejorado y que emiten menos  $\text{NO}_x$ .

- a) Producción combinada de calor-electricidad por medio de turbinas y de motores de gas.
- b) Combustión en lecho fluidizado (CLF), lecho en ebullición (CLFB) y lecho circulante (CLFC).
- c) Ciclo combinado con gasificación integrada (CCGI).
- d) Turbinas de gas para ciclo combinado (TGCC).

17. Los volúmenes de las emisiones correspondientes a estas técnicas vienen resumidos en el cuadro 1.

18. También es posible integrar las turbinas de combustión fijas en las centrales eléctricas tradicionales (fraccionamiento), lo que permite mejorar el rendimiento general entre un 5 y un 6 por 100, pero la reducción de  $\text{NO}_x$ , realizable depende de las características de la planta y del combustible. Las turbinas y los motores de gas se utilizan ampliamente para la producción mixta. Por regla general, el ahorro de energía puede alcanzar un 30 por 100 aproximadamente. En ambos casos, la aplicación de nuevos conceptos en cuanto a técnicas de combustión y tecnología de los sistemas ha permitido reducir sensiblemente las emisiones de  $\text{NO}_x$ . Esta integración requiere, sin embargo, una modificación profunda del sistema de calderas.

19. La CLF es una técnica de combustión adaptada a la hulla y al lignito, pero también puede funcionar con otros combustibles sólidos, como son el coque de petróleo, y con combustibles pobres (residuos, turba y madera). Además, se pueden reducir las emisiones integrando en el sistema un dispositivo de regulación de la combustión. Una forma de CLF más moderna es la combustión en lecho fluidizado bajo presión (CLFP) que se comercializa actualmente para la producción de electricidad y de calor. La potencia instalada total en CLF es de cerca de 30.000 MW<sub>th</sub> (250 a 350 instalaciones),

de los cuales 8.000 MW<sub>th</sub> se encuentran en el tramo de los más de 50 MW<sub>th</sub>.

20. El CCGI comprende la gasificación del carbón y la producción de electricidad en ciclo combinado en una turbina de gas y de vapor. El carbón gasificado se quema en la cámara de combustión de la turbina de gas. Esta técnica se aplica también a los residuos de aceite pesado y a la emulsión bituminosa. La potencia instalada es actualmente de unos 1.000 MWel (cinco instalaciones).

21. Se están estudiando actualmente centrales de gas de ciclo combinado que funcionan por medio de turbinas de gas perfeccionadas, y tienen un rendimiento energético de un 48-52 por 100 y una menor emisión de NO<sub>x</sub>.

#### *Modificación de los procedimientos y del modo de combustión*

22. Se trata de medidas aplicables durante la combustión para reducir la formación de NO<sub>x</sub>. Ajuste de la proporción de aire de combustión, de la temperatura de la llama, de la relación combustible/aire, etc. Es posible aplicar las técnicas de combustión enumeradas a continuación, de manera individual o combinadas entre sí tanto en instalaciones nuevas como en instalaciones existentes. Están muy extendidas en el sector de las centrales eléctricas y en ciertos ámbitos del sector industrial:

- a) Combustión con reducido exceso de aire 2/;
- b) Precalentamiento de aire reducido 2/;
- c) Quemador fuera de servicio 2/;
- d) Quemador polarizado del quemador 2/;
- e) Quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub> 2/ y 3/;
- f) Recirculación de los gases de combustión 3/;
- g) Combustión con aire adicional 2/ y 3/;
- h) Recombustión por reducción de los NO<sub>x</sub> en el horno 4/;
- i) Inyección de agua/vapor y utilización combinada de combustibles pobres previamente mezclados 5/.

23. Los volúmenes de las emisiones resultantes de la aplicación de estas técnicas (calculados sobre todo a partir de la experiencia de las centrales eléctricas) están resumidos en el cuadro 1.

24. Las modificaciones del modo de combustión son objeto permanente de estudios y de medidas de optimización. La reducción de los NO<sub>x</sub> en el horno está siendo ensayada en algunas grandes instalaciones de demostración, mientras que las modificaciones básicas del modo de combustión son incorporadas principalmente en el diseño de las calderas y de los quemadores. Por ejemplo, los modelos de hornos modernos comprenden unos orificios para la combustión de aire adicional, y los quemadores de gas/aceite están equipados con un sistema de recirculación de los gases de conducto. La última generación de quemadores de baja emisión de NO<sub>x</sub> combina el escalonamiento del aire y el escalonamiento del combustible. Estos últimos años, la readaptación completa de las instalaciones para la incorporación de las modificaciones aportadas al modo de combustión se ha incrementado mucho en los países miembros de la CEPE. En 1992, la potencia instalada totalizaba alrededor de 150.000 MW.

#### *Tratamiento de los gases de conducto*

25. Los procedimientos de tratamiento de los gases de conducto tienen por objeto la extracción de los NO<sub>x</sub> que ya se han formado; por ello, a este respecto, se habla también de medidas secundarias. Normalmente,

para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>, se empieza, siempre que sea posible, por adoptar medidas primarias antes de proceder al tratamiento de los gases de conducto. Todos los conocimientos actuales en materia de tratamiento de gases de conducto se basan en la extracción de NO<sub>x</sub> mediante procedimientos químicos vía seca.

26. Se trata de los siguientes procedimientos:

- a) Reducción catalítica selectiva;
- b) Reducción no catalítica selectiva;
- c) Extracción combinada de NO<sub>x</sub> y de SO<sub>x</sub>:
- i) Carbón activo;
- ii) Extracción catalítica combinada de NO<sub>x</sub> y de SO<sub>x</sub>.

27. Las emisiones resultantes de la aplicación de las técnicas de reducción catalítica y no catalítica selectiva vienen resumidas en el cuadro 1. Los valores proceden de la experiencia práctica adquirida en un gran número de instalaciones en funcionamiento. En 1991, en la parte europea de la CEPE, se han montado unas 130 instalaciones de reducción catalítica selectiva que totalizan 50.000 MWel, 12 instalaciones de reducción no catalítica selectiva (2.000 MWel), una instalación de carbón activado (250 MWel) y dos procedimientos catalíticos combinados (400 MWel). El rendimiento de depuración de NO<sub>x</sub> del carbón activado y de los procedimientos catalíticos combinados es comparable al de la reducción catalítica selectiva.

28. El cuadro 1 resume también los costes de la aplicación de las técnicas de reducción de los NO<sub>x</sub>.

#### *Técnicas de lucha para otros sectores*

29. Contrariamente a la mayoría de los procedimientos de combustión, la introducción en el sector industrial de modificaciones aportadas al modo de combustión y/o a los procedimientos se enfrenta a numerosas limitaciones. En los hornos de cemento y en los hornos de fusión del vidrio, por ejemplo, son necesarias altas temperaturas para garantizar la calidad del producto. Las modificaciones corrientes del modo de combustión son la introducción de quemadores de combustión escalonada que desprenden poco NO<sub>x</sub>, la recirculación de los gases de conducto y la optimización del procedimiento (precalcínación en los hornos de cemento, etc.).

30. El cuadro 1 presenta algunos ejemplos.

#### *Efectos secundarios/subproductos*

31. Los efectos secundarios que se enumeran a continuación no impiden la aplicación de ninguna técnica o método, pero han de ser tenidos en cuenta cuando sean posibles varios medios de reducción de NO<sub>x</sub>. Sin embargo, un buen diseño y un funcionamiento apropiado permiten generalmente limitarlos:

- a) Modificaciones del modo de combustión:

Eventual disminución del rendimiento general;  
Aumento del CO y de emisiones de hidrocarburos;  
Corrosión causada por la atmósfera reductora;  
Posible formación de N<sub>2</sub>O en los sistemas de CLF;  
Posible incremento de cenizas volantes carbonadas.

- b) Reducción catalítica selectiva:

Presencia de NH<sub>3</sub> en las cenizas volantes;  
Formación de sales de amonio en las fases siguientes del proceso tecnológico;  
Desactivación del catalizador;  
Incremento de la conversión de SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub>.

## c) Reducción no catalítica selectiva:

Presencia de  $\text{NH}_3$  en las cenizas volantes;

Formación de sales de amonio en las fases siguientes del proceso tecnológico;

Posible formación de  $\text{N}_2\text{O}$ .

32. En cuanto a los subproductos, los únicos que han de ser tenidos en cuenta son los catalizadores desactivados del procedimiento de reducción catalítica selectiva. En razón de su clasificación como residuos, queda excluida de evacuación simple; existen, no obstante, posibilidades de reciclarlos.

33. La producción de reactivos (amoníaco, urea), para los procedimientos de tratamiento de los gases de conducto implica varias operaciones distintas que requieren energía y sustancias que entran en reacción. Los sistemas de almacenamiento del amoníaco están sometidos a una reglamentación de seguridad y están diseñados para un funcionamiento en círculo cerrado, lo que reduce al mínimo las emisiones de amoníaco. La utilización de  $\text{NH}_3$ , sin embargo, no se ve comprometida aun teniendo en cuenta las emisiones indirectas ligadas a su producción y su transporte.

#### Control y comunicación de datos

34. Las medidas adoptadas por los países para implantar sus estrategias y políticas de reducción de la contaminación atmosférica comprenden leyes y reglamentos, medidas económicas de fomento y de disuación, así como requisitos técnicos (mejores técnicas disponibles).

35. En general, se pueden establecer las normas de limitación de las emisiones por fuente de emisión en función del tamaño de la instalación, del modo operativo, de la técnica de combustión, del tipo de combustible y del hecho de que la instalación sea nueva o exista ya. Otra solución aplicada consiste en fijar un objetivo de reducción global de las emisiones de  $\text{NO}_x$  de un grupo de fuentes y permitir a las partes elegir el sector de intervención apropiado para alcanzarlo (principio de la burbuja).

36. La limitación de las emisiones de  $\text{NO}_x$  a los niveles fijados por la legislación nacional debe ser sometida a un sistema permanente de control y de comunicación de datos, y los resultados deben ser notificados a las autoridades de vigilancia.

37. Existen actualmente varios sistemas de control, basados en métodos de medición continua o discontinua. Las normas de calidad varían, sin embargo, de una Parte a otra. Las mediciones deben ser efectuadas por institutos cualificados y mediante sistemas de medición/control homologados. Con este fin, un sistema de homologación puede constituir la mejor garantía.

38. Con los actuales sistemas de control automático y material de control, la comunicación de los datos no plantea problemas. Para su recogida con vistas a una utilización posterior, se utilizan las técnicas modernas. Sin embargo, los datos que se han de comunicar a las autoridades competentes varían de una Parte a otra. Para mejorar la comparabilidad de los datos, deberían armonizarse las series y reglamentaciones. La armonización es también aconsejable para garantizar la calidad de los sistemas de medición/control. Esta necesidad debe ser tenida en cuenta cuando se comparan datos procedentes de diferentes Partes.

39. Para evitar las disparidades y los datos no comparables, es necesario definir correctamente los elementos y los parámetros esenciales, en particular los siguientes puntos:

Las normas deben expresarse en ppmv,  $\text{mg}/\text{m}^3 \times \text{g}/\text{Gj}$ ,  $\text{kg}/\text{h}$  o  $\text{kg}/\text{t}$ , de los productos. La mayoría de estas unidades deben calcularse y especificarse para la temperatura del gas, la humedad, la presión, el porcentaje de oxígeno y el valor de la aportación térmica;

Es importante definir el intervalo de tiempo que se va a considerar para expresar las normas en valores medios (horarios, mensuales, anuales);

Es necesario indicar la duración de las averías y la reglamentación aplicable para sortear los sistemas de vigilancia o prevenir la parada de una instalación;

Es necesario definir los métodos que permitan restituir los datos omitidos o perdidos como consecuencia de una avería del material;

Es importante definir la serie de parámetros que se van a medir. Los datos requeridos pueden variar según el tipo de procedimiento industrial, lo que implica la necesidad de situar el punto de medición en el sistema.

40. Debe garantizarse el control de calidad de las mediciones.

## II. Técnicas de lucha contra las emisiones de $\text{NO}_x$ provenientes de fuentes móviles

### PRINCIPALES FUENTES MÓVILES DE EMISIÓN DE $\text{NO}_x$

41. Las principales fuentes móviles de emisiones antropogénicas son:

Vehículos de carretera:

Vehículos de pasajeros con motor de gasolina o de gasóleo;

Vehículos comerciales ligeros;

Vehículos pesados;

Motocicletas y ciclomotores;

Tractores (agrícolas y forestales).

Vehículos de motor que no son de carretera:

Maquinaria agrícola, maquinaria industrial móvil y maquinaria de construcción.

Otras fuentes móviles:

Transporte ferroviario;

Buques y otras embarcaciones;

Aviones.

42. El transporte por carretera es una de las principales fuentes de emisiones antropogénicas de  $\text{NO}_x$  en muchos países de la CEPE, que representan hasta dos terceras partes del total de las emisiones nacionales. Los actuales vehículos de gasolina representan hasta dos terceras partes del total de las emisiones nacionales de  $\text{NO}_x$  en carretera. No obstante, en algunos casos, las emisiones de  $\text{NO}_x$  provenientes de los vehículos pesados rebasan las emisiones de los vehículos de pasajeros, que se están reduciendo.

43. Muchos países han promulgado reglamentos que limitan la emisión de contaminantes de los vehículos de carretera. Para los vehículos que no sean de carretera, algunos países de la CEPE han promulgado normas de emisiones que incluyen los  $\text{NO}_x$ , y la propia Comisión está elaborando normas en este sentido. Las emisiones de  $\text{NO}_x$  provenientes de estas otras fuentes pueden ser sustanciales.

44. Hasta que se disponga de otros datos, el presente anexo se centrará exclusivamente en los vehículos de carretera.

ASPECTOS GENERALES DE LA TECNOLOGÍA DE LUCHA CONTRA LAS EMISIONES DE NO<sub>x</sub> PROVENIENTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA

45. Los vehículos de carretera considerados en el presente anexo son los vehículos de pasajeros, los vehículos comerciales ligeros, las motocicletas, los ciclomotores y los vehículos pesados.

46. El presente anexo trata de los vehículos nuevos como de los que están en uso, centrandó la atención fundamentalmente en el control de las emisiones de NO<sub>x</sub> para los nuevos tipos de vehículos.

47. Las cifras de coste para las diferentes tecnologías dadas son estimaciones de coste de fabricación y no de los precios de venta.

48. Es importante garantizar el cumplimiento de las normas de emisiones establecidas para los vehículos nuevos. Esto se puede hacer a través de programas de inspección y mantenimiento que aseguren la conformidad de la fabricación, la durabilidad de los equipos durante toda su vida útil, la garantía de los componentes de control de emisiones, y la retirada de los vehículos defectuosos.

49. Los incentivos fiscales pueden fomentar una introducción más rápida de la tecnología deseable. La adaptación de los vehículos ya existentes apenas repercute en la reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub>, y no podría aplicarse más que a un pequeño porcentaje del parque automovilístico.

50. Los motores de gasolina de combustión interna provistos de convertidores catalíticos requieren el uso de carburante sin plomo, que debe encontrarse en todas las estaciones de servicio. El uso de tecnologías de posttratamiento en los motores diésel, como los catalizadores de oxidación o las trampas de partículas, requiere el uso de carburantes de bajo contenido en azufre (con un contenido máximo de azufre de 0,05 por 100).

51. La gestión del tráfico urbano y del tráfico de larga distancia, aunque no se contempla en el presente anexo, es otro método eficaz para reducir las emisiones, incluidas las de NO<sub>x</sub>. Las medidas clave para la gestión del tráfico pretenden cambiar la distribución modal del transporte público y de larga distancia, especialmente en áreas sensibles como las ciudades o los Alpes, transfiriendo el transporte por carretera al ferroviario, a través de elementos tácticos, estructurales, financieros y restrictivos, y también optimizando la logística de los sistemas de distribución. Estas medidas también serán beneficiosas para otros efectos perjudiciales de la expansión del tráfico como el ruido, la congestión, etc.

52. Existen numerosas tecnologías y opciones de diseño que hacen posible el control simultáneo de diferentes contaminantes. En algunas aplicaciones, se han experimentado los efectos contrarios cuando se han reducido las emisiones de NO<sub>x</sub> (como los motores de gasolina o diésel sin catalizador). Esta situación se puede cambiar con el empleo de nuevas tecnologías (como los dispositivos de limpieza posttratamiento y la electrónica). El carburante diésel posttratado y el carburante con aditivos reductores de los NO<sub>x</sub> de poscombustión también pueden tener cierta importancia en la estrategia para luchar contra los NO<sub>x</sub> emitidos por los vehículos que funcionan con carburante diésel.

TECNOLOGÍAS DE LUCHA CONTRA LAS EMISIONES DE NO<sub>x</sub> PROVENIENTES DE VEHÍCULOS DE CARRETERA

*Vehículos de pasajeros y vehículos comerciales ligeros que funcionan con gasolina y con carburante diésel*

53. Las principales tecnologías para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> se relacionan en el cuadro 2.

54. La base para la comparación en el cuadro 2 es la opción B, que representa la tecnología no catalítica

diseñada en respuesta a los requisitos de Estados Unidos para 1973/1974 o del Reglamento 1504 6/ de la CEPE de conformidad con el Acuerdo de 1958 relativo al Cumplimiento de Condiciones Uniformes de Homologación y al Reconocimiento Recíproco de la Homologación de Equipos y Piezas de Vehículos de Motor. El cuadro también presenta los niveles típicos de emisión para control catalítico de bucle abierto o cerrado, así como sus costes.

55. El nivel «no controlado» (A) del cuadro 2 se refiere a la situación en la región de la CEPE de 1970, pero puede mantenerse aún en determinadas zonas.

56. El nivel de emisión del cuadro 2 refleja las emisiones medidas, de acuerdo con procedimientos de prueba estándar. Las emisiones provenientes de los vehículos en carretera pueden diferir debido al efecto de, entre otras cosas, la temperatura ambiente, las condiciones de funcionamiento (especialmente a velocidades más elevadas), las propiedades del carburante, y el mantenimiento. No obstante, el potencial de reducción indicado en el cuadro 2 se considera representativo de las reducciones que pueden alcanzarse en la práctica.

57. La tecnología más eficiente de la que se dispone actualmente para la reducción de los NO<sub>x</sub> es la opción E. Esta tecnología logra grandes reducciones de NO<sub>x</sub>, de compuestos orgánicos volátiles (COV) y de emisiones de CO.

58. En respuesta a los programas reguladores de nuevas reducciones de las emisiones de NO<sub>x</sub> (como los vehículos de baja emisión en California), se están desarrollando sistemas de catalizador a tres vías con bucle cerrado (opción F). Estas mejoras se centrarán en la gestión del motor, en un control muy preciso de la relación entre carburante y aire, en una carga más concentrada del catalizador, en sistemas de diagnóstico a bordo, y en otras medidas anticontaminantes avanzadas.

*Motocicletas y ciclomotores*

59. A pesar de ser muy bajas, se deberían considerar las emisiones reales de NO<sub>x</sub> de las motocicletas y de los ciclomotores (por ejemplo, con los motores de dos tiempos). Aunque muchas de las Partes firmantes del Convenio van a limitar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de estos vehículos, sus emisiones de NO<sub>x</sub> pueden aumentar (por ejemplo, con los motores de cuatro tiempos). En términos generales, son aplicables las mismas opciones tecnológicas descritas para los vehículos de gasolina para pasajeros. En Austria y en Suiza, ya se aplican normas estrictas para las emisiones de NO<sub>x</sub>.

*Vehículos pesados con motor diésel*

60. En el cuadro 3 se resumen tres opciones tecnológicas. La configuración básica en el motor diésel de turbocompresor. La tendencia es hacia motores de turbocompresor con refrigeración intermedia, sistemas avanzados de inyección de carburante y control electrónico. Esta tendencia puede tener el potencial para mejorar el nivel básico de consumo de carburante. No figuran en el cuadro estimaciones comparativas de consumo de carburante.

TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES PARA LOS VEHÍCULOS EN USO

*Vida útil total, retirada y garantías*

61. Al objeto de promover sistemas duraderos, de reducción de emisiones, deberían preverse normas de emisión que no pudiesen rebasarse durante «toda la vida

útil» del vehículo. Son necesarios programas de vigilancia para hacer cumplir este requisito. En virtud de estos programas, los fabricantes serían responsables de retirar los vehículos que incumplan las normas exigidas. Con el fin de asegurar que el propietario no tenga problemas relacionados con la fabricación, los fabricantes deberían ofrecer garantías para los componentes de reducción de emisiones.

62. No debería existir ningún dispositivo para reducir la eficiencia o desconectar los sistemas de reducción de emisiones durante el funcionamiento, excepto en los casos en que sea indispensable para que el motor funcione sin problemas (como el arranque en frío).

#### *Inspección y mantenimiento*

63. El programa de inspección y mantenimiento tiene una función secundaria importante. Mediante la regulación directa, así como mediante la información pública, este programa puede estimular el mantenimiento periódico e impedir que los propietarios de los vehículos manipulen los sistemas de reducción de emisiones o los desactiven. Las inspecciones deberían verificar que los sistemas de reducción de emisiones no hayan sido retirados ni modificados.

64. La mejora de la supervisión del nivel de reducción de emisiones se pueden lograr mediante sistemas de diagnóstico a bordo que supervisen el funcionamiento de los componentes de reducción de emisiones, alma-

cenen los códigos de avería para una investigación más detallada y llamen la atención del conductor al objeto de asegurar la reparación, en caso de funcionamiento defectuoso.

65. Los programas de inspección y mantenimiento pueden ser beneficiosos para todos los tipos de tecnología de reducción, asegurando que se mantengan los niveles de emisiones de los vehículos nuevos. Para los vehículos de control catalítico es esencial asegurar el mantenimiento de las especificaciones y los ajustes de los vehículos nuevos, al objeto de evitar el deterioro debido a todos los contaminantes principales, incluidos los NO<sub>x</sub>.

#### *Notas*

1/ Los medios a), i) e ii) están integrados en la estructura/política energética de cada Parte. Su grado de aplicación, su eficacia y sus costes por sector no se examinan aquí.

2/ Medidas de readaptación típicas, de bajo rendimiento y de aplicabilidad limitada.

3/ Estado actual de los conocimientos en las instalaciones nuevas.

4/ Aplicación en grandes instalaciones industriales; experiencia práctica limitada por ahora.

5/ Para turbinas de combustión.

6/ Sustituido por el Reglamento número 83.

Categoría de fuente i): Centrales eléctricas públicas, instalaciones mixtas e instalaciones de calefacción urbana

Fuente de energía	Emisiones no controladas		Modificaciones del procedimiento y del modo de combustión			Tratamiento de los gases de conducto					
						a) no catalítico			b) catalítico (tras medidas primarias)		
						mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>d</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/
Calderas:											
Carbón, WBB 4/	1 500-2 200	530-770	1 000-1 800	350-630	3-25	NC		NC	< 200	< 70	50-100(125-200)12/
Carbón, DBB 5/	800-1 500	280-530	300-850	100-300	3-25	200-400	70-140	9-11	< 200	< 70	50-100(125-200)12/
Lignito 5/	450-750	189-315	190-300	80-126	30-40	< 200	< 84		< 200	< 85	80-100
Aceite pesado 6/	700-1 400	140-400	150-500	40-140	Hasta 20	175-250	50-70	6-8	< 150	< 40	50-70
Aceite ligero 6/	350-1 200	100-332	100-350	30-100	Hasta 20	NC		6-8	< 150	< 40	50-70
EB 14/	800		NC		NC	NC					NC
Gas natural 6/	150-600	40-170	50-200	15-60	3-20	NC		5-7	< 100	< 30	
CLF	200-700		180-400		1 400-1 600 7/	< 130			NC		
CLFP	150-200	50-70			1 100 7/	60			< 140	< 50	
CCGI 13/	< 600		< 100						NC		
Turbinas de gas + TGCC 13/ 18/:					Coste inversión:						
Gas natural	165-310	140-270	30-150	26-130	50-100 se	SO			20	17	
Carburante diésel	235-430	200-370	50-200	45-175	10-50 hu	SO			120-180	70	
Motores de combustión interna (gas nat. < 1MW <sub>d</sub> ) 4/	4 800-6 300	1 500-2 000	320-640	100-200							

Categoría de fuente ii): Instalaciones de combustión comerciales, institucionales y residenciales

Fuente de energía	Emisiones no controladas		Modificaciones del procedimiento y del modo de combustión			Tratamiento de los gases de conducto					
						a) no catalítico			b) catalítico (tras medidas primarias)		
						mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>d</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/
Carbón	110-500	40-175									
Lignito	70-400	30-160									
Aceite ligero	180-440	50-120	130-250	35-70							
Gas	140-290	40-80	60-150	16-40	2-10						
Madera 15/	85-200	50-120	70-140	40-80							

Categoría de fuente iii): Instalaciones de combustión industriales y procedimientos de combustión

Fuente de energía	Emisiones no controladas		Modificaciones del procedimiento y del modo de combustión			Tratamiento de los gases de conducto					
	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	a) no catalítico			b) catalítico (tras medidas primarias)		
	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/
Instalaciones de combustión industriales:											
Carbón pulverizado 8/	600-2 200	200-770	Hasta 700	Hasta 245							
Carbón calibrado 3/	150-600	50-200	Hasta 500	Hasta 175							
Lignito	200-800	80-340									
Aceite pesado 6/	400-1 000	110-280	Hasta 650	Hasta 180							
Aceite ligero 6/	150-400	40-110	Hasta 250	Hasta 70							
Gas natural 6/	100-300	30-80	Hasta 150	Hasta 42	2-10						
Turbina de gas + TGCC 13/ 18/:					Coste inversión:						
Gas natural	165-310	140-270	30-150	26-130	50-100 se	SO			20	17	
Carburante diésel	235-430	200-370	50-200	45-175	10-50 hu	SO			120-180	70	
CLF 8/	100-700		100-600								
Motores de combustión interna (gas natural < 1MW <sub>e</sub> ) 4/	4 800-6 300	1 500-2 000	320-640	100-200							
Procedimientos industriales:											
Calcinación	1 000-2 000		500-800								
Vidrio:											
Vidrio plano		6 kg/t	500-2 000						< 500		
Recipientes		2,5 kg/t									
Fibra de vidrio		0,5 kg/t									
Vidrio industrial		4,2 kg/t									
Metales:											
Aglomerado	300-500 16/	1,5 kg/t							< 500		
Hornos de coque	1 000	1 kg/t									
Combustibles carbónicos secados	< 3 000 11/										
Hornos de arco eléctrico	50-200										
Papel y pasta											
Licor negro	170 17/	(50-80 g/GJ)		(20-40 g/GJ)		6/					13-20



## Categoría de fuente iv): Operaciones diferentes de la combustión

Fuente de energía	Emisiones no controladas		Modificaciones del procedimiento y del modo de combustión			Tratamiento de los gases de conducto					
						a) no catalítico			b) catalítico (tras medidas primarias)		
	mg/m <sup>3</sup> 1/	kg/t 9/	mg/m <sup>3</sup> 1/	kg/t 9/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	kg/t 9/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	kg/t 9/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/
Acido nítrico											
Baja presión (1-2,2 bares)	5 000	16,5									
Presión media (2,3-8 bares)	1 000 aprox.	3,3									
Alta presión (8-15 bares)	< 380	< 1,25								0,01-0,08	
HOKO (≤ 50 bares)	< 380	< 1,25									
Decapado:											
Latón		25 10/									
Acero inoxidable		0,3									
Acero al carbono		0,1									

## Categoría de fuente v): Extracción, transformación y distribución de combustibles fósiles

Fuente de energía	Emisiones no controladas		Modificaciones del procedimiento y del modo de combustión			Tratamiento de los gases de conducto					
						a) no catalítico			b) catalítico (tras medidas primarias)		
	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/
Refinerías 5/	- 1 000		100-700								

## Categoría de fuente vi): Tratamiento y eliminación de residuos

Fuente de energía	Emisiones no controladas		Modificaciones del procedimiento y del modo de combustión			Tratamiento de los gases de conducto					
						a) no catalítico			b) catalítico (tras medidas primarias)		
	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/	mg/m <sup>3</sup> 1/	g/GJ 1/	ecus/Kw <sub>e</sub> 2/
Incineración 11/	250-500		200-400						< 100		

## Notas al cuadro 1

1/ Emisiones en mg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (PTN seco) o en g/GJ de aportación térmica. Coeficientes de conversión (de mg/m<sup>3</sup> a g/GJ) para emisiones de NO<sub>x</sub> producidas por los siguientes combustibles: Carbón (hulla): 0,35; carbón (lignito): 0,42; aceites/gas: 0,277; turba: 0,5; madera con corteza: 0,588 [1 g/GJ= 3,6 mg/kWh].

2/ Inversiones totales: 1 ecu= 2DM.

3/ Reducción conseguida generalmente en combinación con medidas primarias. Rendimiento de reducción del 80 al 95 por 100.

4/ Al 5 por 100 de O<sub>2</sub>.

5/ Al 6 por 100 de O<sub>2</sub>.

6/ Al 3 por 100 de O<sub>2</sub>.

7/ Incluidos los costes relacionados con la caldera.

8/ Al 7 por 100 de O<sub>2</sub>.

9/ Las emisiones de los procedimientos industriales se expresan generalmente en kg/t de producto.

10/ g/m<sup>2</sup> de superficie.

11/ Al 11 por 100 de O<sub>2</sub>.

12/ Configuración gas de escape-reducción catalítica selectiva por oposición a un polvo concentrado.

13/ Al 15 por 100 de O<sub>2</sub>.

14/ Emulsión bituminosa.

15/ Sólo madera no tratada.

16/ Recuperación de calor y recirculación de gases.

17/ Materia seca: <75 por 100.

18/ Con emulsión suplementaria; NO<sub>x</sub> térmico suplementario del orden de 0-20 g/GJ.

SO: Sin objeto.

NC: Datos no conocidos (técnica aplicada, pero sin datos disponibles).

## CUADRO 2

## Tecnología de reducción de emisiones para vehículos de pasajeros y vehículos comerciales ligeros de gasolina y diésel

Opción tecnológica	Nivel de emisiones de NO <sub>x</sub> (Porcentaje)	Estimación del coste suplementario de producción (En \$ EE.UU.)1/
<b>Vehículos de gasolina:</b>		
A. Situación no controlada.	100	—
B. Modificaciones de motores (diseño de motor, sistemas de carburación y encendido, inyección de aire).	70	2/
C. Catalizador de bucle abierto.	50	150-200
D. Catalizador de tres vías de bucle cerrado.	25	250-450 3/
E. Catalizador de tres vías de bucle cerrado, avanzado.	10	350-600 3/
F. Vehículos de baja emisión, según las normas de California (opción avanzada E).	6	>700 3/
<b>Vehículos diésel:</b>		
G. Motor diésel convencional de inyección indirecta.	40	—
H. Motor de inyección indirecta con inyección secundaria, altas presiones de inyección controladas electrónicamente.	30	1.000-1.200 4/
I. Motor de inyección con turbocompresor.	50	1.000-1.200 4/

Nota: Las opciones C, D, E y F requieren el uso de gasolina sin plomo; las opciones H e I requieren el uso de carburante diésel con bajo contenido en azufre.

1/ Por vehículos en relación con la opción tecnológica B. Los requisitos relacionados con los NO<sub>x</sub> pueden tener un efecto en los precios de los carburantes y en los costes de producción de las refinerías, pero esto no se incluye en la estimación del coste de producción suplementario.

2/ Los costes para las modificaciones de motores de las opciones A a la B han sido estimados en 40-100 dólares EE.UU.

3/ En virtud de las opciones tecnológicas D, E y F, también se reducen sustancialmente las emisiones de CO y de compuestos orgánicos volátiles, aparte de las reducciones de NO<sub>x</sub>. Las opciones tecnológicas B y C también tienen como resultado una reducción del CO y de los compuestos orgánicos volátiles.

4/ Se reduce sustancialmente el consumo de carburante en comparación con la opción G, mientras que las emisiones de partículas de la opción tecnológica G son considerablemente superiores.

## CUADRO 3

## Tecnologías para vehículos pesados, reducción efectiva de las emisiones y costes

Opción tecnológica	Nivel de emisiones de NO <sub>x</sub> (Porcentaje)	Estimación del coste suplementario de producción (En \$ EE.UU.)1/
A. Motor diésel con turbocompresor (EURO I).	100	0
B. Motor diésel con turbocompresor y refrigeración intermedia (EURO II).	85	1.500-3.000
C. Motor diésel con turbocompresor, refrigeración intermedia, inyección de carburante a alta presión, bomba de carburante electrónicamente controlada, optimización de cámara de combustión y conductos, recirculación de los gases de escape.	50-60	3.000-6.000
D. Adopción de motores de encendido por chispa con convertidor catalítico de tres vías que funcionan con GPL, GNC o carburantes oxigenados.	10-30	Hasta 10.000

Nota: La opción C requiere el uso de carburante diésel con bajo contenido en azufre.

1/ Por vehículo, y dependiendo del tamaño del motor en relación con la tecnología básica A. Los requisitos relacionados con los NO<sub>x</sub> pueden tener un efecto en los precios de los carburantes y en los costes de producción de las refinerías, pero esto no se incluye en la estimación del coste de producción suplementario.

Las enmiendas al anexo técnico entraron en vigor de forma general y para España el 21 de julio de 1995, de conformidad con el artículo 11, párrafo 4 del Protocolo.

Lo que se hace público para conocimiento general.

Madrid, 9 de enero de 1996.—El Secretario general técnico, Antonio Bellver Manrique.