

**Alfonso Espitia Cabrera**

ORCID iD: [0000-0001-8918-9118](https://orcid.org/0000-0001-8918-9118)

**Griselda González-Cardoso**

ORCID iD: [0000-0002-1878-6887](https://orcid.org/0000-0002-1878-6887)

Capítulo 11

## Control de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas

Páginas 245-259

En:

Química de los contaminantes atmosféricos. Libro número 1 / Violeta Múgica Álvarez, editora. Ciudad de México: Sociedad Química de México, 2023.

ISBN: 978-607-69750-1-5

Universidad  
Autónoma  
Metropolitana   
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco  
<https://www.azc.uam.mx/>



SOCIEDAD QUÍMICA  
DE MÉXICO, A.C.  
"La química nos une"



Temas Contemporáneos de Química



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

CAPÍTULO 11

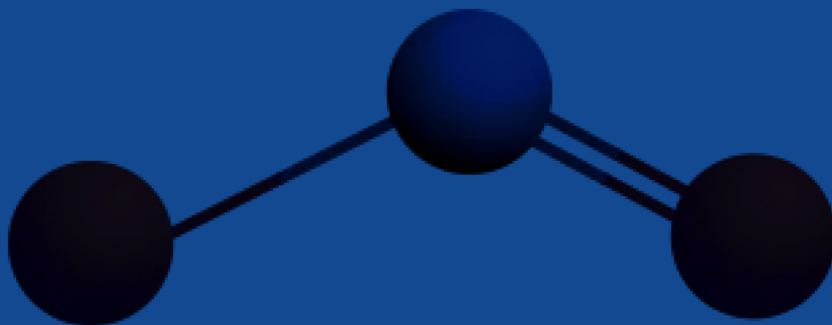
# CONTROL DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN FUENTES FIJAS

**Alfonso Espitia Cabrera**

Departamento de Energía.  
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco

**Griselda González Cardoso**

Departamento de Energía.  
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco



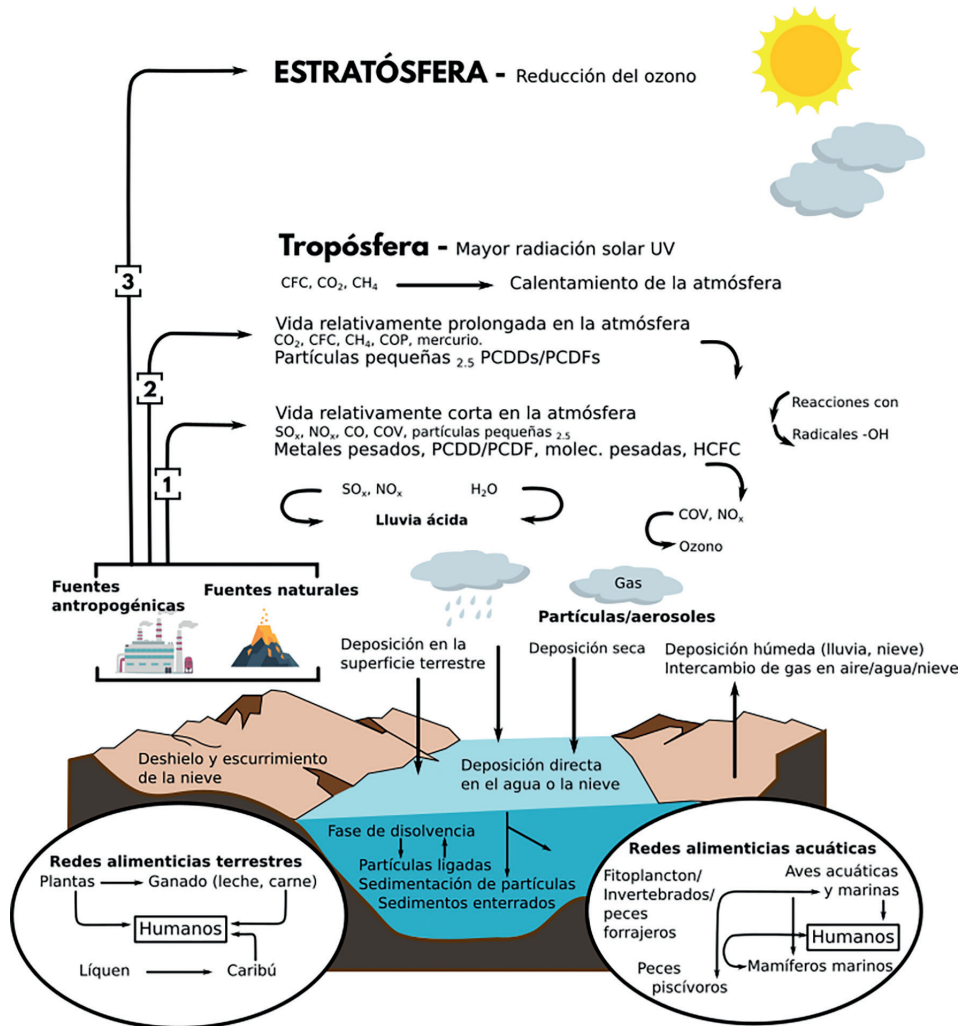
## 11.1 Introducción

Los óxidos de nitrógeno (NOx) son contaminantes criterio, reglamentados en México por su abundancia y múltiples fuentes de generación. El nitrógeno por sí mismo es uno de los elementos más abundantes en la tierra y por consiguiente, reacciona con varios elementos e interviene en la formación de muchos compuestos presentes en todas las matrices ambientales, por lo que el intercambio de sus compuestos existen de forma abundante en la naturaleza (CCA, 1977).

Los óxidos de nitrógeno están involucrados en la formación de ozono troposférico, de aerosoles al reaccionar con otros gases y con la lluvia ácida al formar ácidos por reacciones fotoquímicas que se mezclan con el agua de lluvia y que por deposición húmeda acidifican el suelo y cuerpos de agua.

Adicionalmente, cuando estos óxidos se disuelven en agua, forman ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) o ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ). El ácido nítrico forma sales de nitrato cuando se neutraliza y el ácido nitroso forma sales de nitrito. De esta manera, los NOx y sus derivados existen y reaccionan ya sea como gases en el aire, como ácidos en gotitas de agua, o como sales. Estos gases ácidos y sales contribuyen en conjunto a los efectos de contaminación que han sido observados y atribuidos a la lluvia ácida (EPA, 1966; Directiva, 2006).

En Europa, en 2013, se reportó que de 1595 grandes plantas de combustión para generar electricidad, 454 contribuyen con el 90% de la contaminación atmosférica y 50 de ellas generan el 50% de las emisiones de NOx, siendo los mayores contribuyentes de la deposición ácida con daños a plantas y hábitats acuáticos y corrosión de materiales (EEA, 2013) y contribuyen también a la formación de partículas secundarias (PM) y al reaccionar con los compuestos orgánicos volátiles producen ozono troposférico afectando la calidad del aire local, así como al transporte de contaminantes en grandes distancias con daños a la salud y al ambiente (Figura 11.1) (EEA, 2013).



**Figura 11.1** Rutas del transporte y acumulación de los contaminantes continentales (adaptado de Comisión Para La Cooperación Ambiental, 1997).

## 11.2 Normatividad

Los óxidos de nitrógeno están reglamentados en México por la NOM-085-SE-MARNAT-2011, "Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición" (SEMARNAT, 2011).

En la Tabla 11.1 se muestran los valores reglamentados de las emisiones de óxidos de nitrógeno provenientes de fuentes fijas de combustión externa conforme a la norma.

**Tabla 11.1** Límites máximos permisibles de NO<sub>x</sub> en fuentes fijas en México (NOM-085-SEMARNAT-2011).

Capacidad térmica nominal del equipo, GJ/h	Tipo de combustible	Óxidos de nitrógeno, ppm <sub>v</sub>		
		ZVM	ZC	RP
Mayor de 5.3 a 42.4 (Mayor de 150 a 1,200 CC)	Líquido	190	190	375
	Gaseoso	190	190	375
Mayor de 42.4 a 106 (mayor de 1,200 a 3,000 CC)	Líquido	110	110	375
	Gaseoso	110	110	375
Mayor de 106 a 530 (Mayor de 3,000 a 15,000 CC)	Sólido y Líquido	110	110	375
	Gaseoso	110	110	375
Mayor de 530 (Más de 15,000 CC)	Sólido y Líquido	110	110	375
	Gaseoso	110	110	375

ZVM: Zona del Valle de México; ZC: Zonas Críticas; RP: Resto del País.

Los límites máximos permisibles están en volumen base seca y en condiciones de referencia de 25 °C, 1 atm y 5% de O<sub>2</sub>. Por lo tanto, se deben corregir las concentraciones medidas a la referencia de 5% de O<sub>2</sub>.

Adicionalmente, la NOM-085-SEMARNAT-2011 establece que los niveles máximos permisibles de emisión para equipos de generación de energía eléctrica con turbinas de gas, con gas natural en ciclo abierto o ciclo combinado para NO<sub>x</sub>es de 70 ppm<sub>v</sub>, referidas al 5% de O<sub>2</sub>, 25 °C y 1 atm en base seca, aplicable en cualquier región del país para equipos con una capacidad mayor a 106 GJ/h.

Por su parte, en la comunidad europea a partir de 2015, se tienen los límites permisibles mostrados en la Tabla 11.2, en donde los óxidos de nitrógeno se entienden como NO<sub>2</sub>.

**Tabla 11.2** Límites máximos permisibles de NOx en fuentes fijas en la Unión Europea (Directiva UE, 2015).

Capacidad térmica o Equipos	Biomasa sólida, mg/Nm <sup>3</sup>	Otros combustibles sólidos mg/Nm <sup>3</sup>	Gasóleo mg/Nm <sup>3</sup>	Otros combustibles líquidos mg/Nm <sup>3</sup>	Gas natural mg/Nm <sup>3</sup>	Otros combustibles gaseosos mg/Nm <sup>3</sup>
1 MW-5MW	650	650	200	650	250	250
Mayor a 5 MW	300	300	200	300	100	200
Motores y turbinas de gas	Motores		190	190	95	75
	Turbinas		75	75	50	75

En los Estados Unidos de América, la Agencia de Protección Ambiental (US EPA) bajo las normas 40 CFR 51.300, 40 CFR 60.40 subparte 000 -z, establece los límites de emisión mostrados en la Tabla 11.3.

**Tabla 11.3** Límites máximos permisibles de emisiones de NOx en Estados Unidos de América (CFR, 1996).

Capacidad térmica o Equipos	Ton/año
2.9 MW-8.7 MW	200
2.9 MW-29 MW	250
Tipo A para los grandes generadores que reducen visibilidad y que requieren la mejor tecnología de control disponible (BACT)	75
Tipo B con la mejor tecnología de control razonable posible, (BART)	150
Fuentes en NAA (non attainment área o áreas que tienen cumplimiento validado por monitoreo continuo)	100
Plantas de energía para calderas con pared de agua	0.50 lb/mmBtu
Plantas de energía para calderas con quemadores tangenciales	0.450 lb/mmBtu

### 11.3 Emisiones de fuentes fijas de NOx en México y el mundo

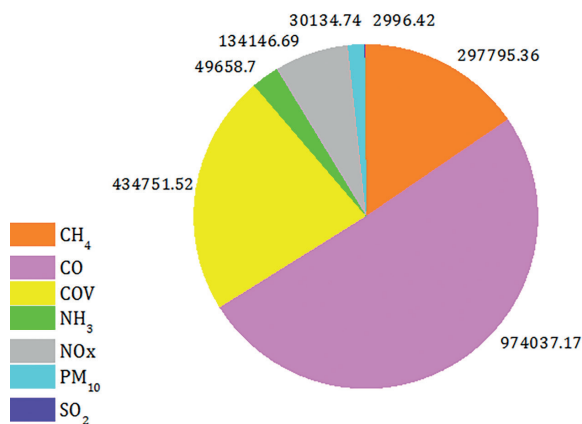
La US EPA ha documentado que las plantas generadoras de electricidad generan las mayores contribuciones de emisiones de NOx; en 1980 representaban el 30% y de 1980 a 1990, aumentó a 32% y el 85% de las emisiones provienen de las plantas que utilizan carbón como combustible (CFR, 1996).

En la década de los noventa del siglo pasado, se reportó que a nivel mundial basados en NO<sub>2</sub>, se generaban aproximadamente 190x10<sup>9</sup> kg/año en donde la comunidad europea, Japón y Estados Unidos generaban 34x10<sup>9</sup> kg/año de los cuales el 38% provenía de la combustión de combustibles fósiles (Catalytica, 1992).

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), reporta que en 2020, los óxidos de nitrógeno representaron el 6.97% de las emisiones de fuentes fijas, contribuyendo con 134,146.69 toneladas de un total de 1,923,520.6 toneladas (Figura 11.2) (SEDEMA, 2020).

En la Figura 11.3 se muestran las 15 principales fuentes fijas de emisión de los NOx en México (SEMARNAT, 2021), en ella se observa que el sector de generación de energía es el mayor contribuyente de emisiones (61.59%) con una diferencia significativa sobre los otros sectores.

Las fuentes de los óxidos de nitrógeno a nivel internacional en los países occidentales se muestran en la Figura 11.4, donde se puede observar que la combustión de combustibles fósiles y de biomasa representan la mayor contribución, situación que prevalece en la actualidad y que contribuye al cambio climático.



**Figura 11.2** Emisiones de NOx en 2020 por fuentes fijas en la ZMVM (SEDEMA, 2020).

Control de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas

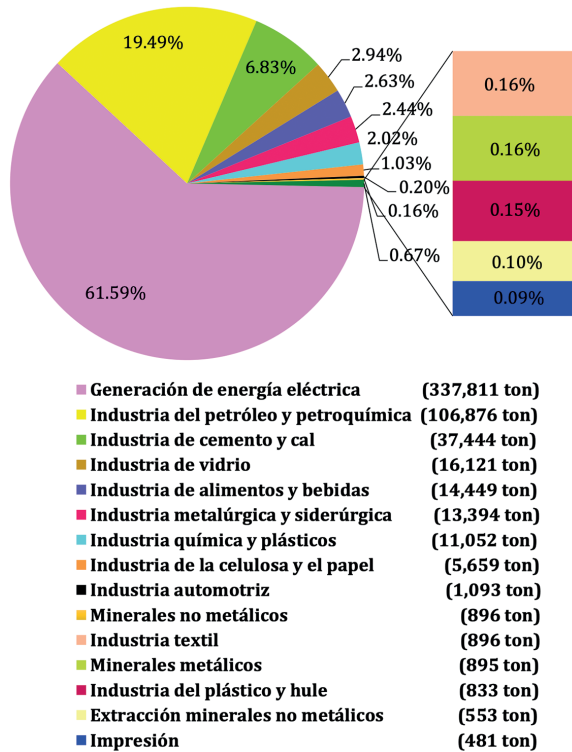


Figura 11.3 Principales fuentes fijas generadoras de NOx en México (adaptado de SEMARNAT, 2021).

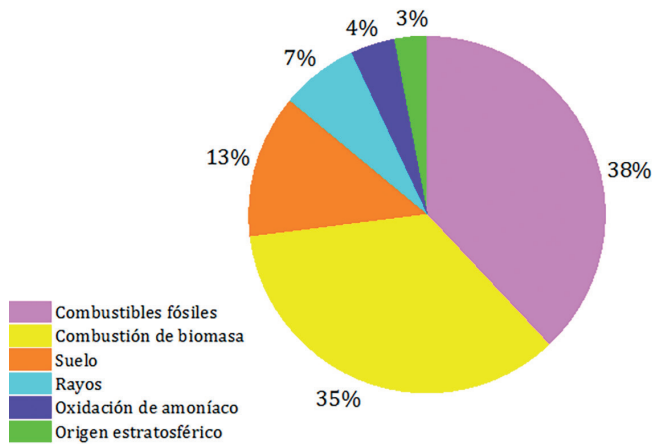


Figura 11.4 Fuentes de NOx en países occidentales (Catalytica, 1992).

## 11.4 Reacciones para formar óxidos de nitrógeno

El nitrógeno presenta múltiples enlaces como se muestra en la Tabla 11.4, en donde se reporta la energía que se requiere para romper esos enlaces y presenten reactividad.

**Tabla 11.4** Energía requerida para romper los enlaces del nitrógeno (Pauling, 1964).

Enlace	Energía de enlace, KJ/mol	Enlace	Energía de enlace, KJ/mol
N-N	193	C-N	276
N=N	176		

De la Tabla 11.4 se observa que el enlace C-N requiere poca energía para romperse, lo que es relevante para la formación de los óxidos de nitrógeno combinados como se menciona más adelante.

Las reacciones de combustión son exotérmicas, porque la generación de los nuevos enlaces de los productos liberan más energía de la que requieren para romper los enlaces, las reacciones de la Tabla 11.5 ilustran lo mencionado anteriormente.

**Tabla 11.5** Reacciones de formación de NO<sub>x</sub> (Pauling, 1964).

Reacción	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)
$\frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{(g)}$	-90.37
$N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow N_2O_{(g)}$	-81.60
$NO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)}$	-56.55

## 11.5 Química de la emisión de NO<sub>x</sub> en fuentes fijas

La combustión de combustibles fósiles con aire (21% O<sub>2</sub>, 79% N<sub>2</sub>) en las fuentes estacionarias o fijas, ocurre en calderas, hornos, generadores de vapor y máquinas de combustión interna, de donde salen a través de un dispositivo, conducto de salida o chimenea. Estos equipos cuentan con una zona de flama dentro de la cámara de combustión y la presencia del nitrógeno y oxígeno, estas condiciones ocurren en:

- La zona de la flama, con temperaturas del orden de 1800-2200 °C (máxima), flujo todo mezclado con alta turbulencia, con concentración de oxígeno cercano al 21% que existe en el medio ambiente.

- El interior de la cámara de combustión, con un promedio de 600-900 °C, con flujo todo mezclado y tipo pistón con turbulencia mediana y bajo contenido de oxígeno disponible de 10 a 16%.
- En la chimenea de salida, con temperaturas entre 150-300 °C con mezclado tipo pistón de baja turbulencia y con poco oxígeno disponible de 8 a 12%.

En la Tabla 11.6 se resumen las condiciones de operación para las diferentes zonas de los equipos de combustión.

**Tabla 11.6** *Condiciones de operación para las diferentes zonas de los equipos de combustión.*

Zona de combustión	Temperatura	Turbulencia	Oxígeno disponible
Flama	Máxima	Máxima	Máximo
Cámara de combustión	Alta	Mediana	Bajo
Zona de post combustión			
Chimenea	Mediana	Baja	Bajo

Para que se formen los óxidos de nitrógeno se requiere:

- Un átomo de nitrógeno en forma iónica
- Oxígeno disponible
- Turbulencia o mezclado de las dos especies

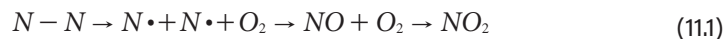
Los óxidos de nitrógeno, se forman como:

- NO en la flama y cámara de combustión
- NO<sub>2</sub> en la cámara de combustión y en la chimenea (zona de postcombustión)

Los óxidos de nitrógeno se forman por los mecanismos descritos a continuación.

### 11.5.1 NOx térmico

En la ecuación (11.1) se muestra la disociación de moléculas de N<sub>2</sub> del aire a altas temperaturas para formar nitrógeno en forma iónica y la oxidación del nitrógeno atómico para formar NOx (EPA, 1999; Lyon, 1987).



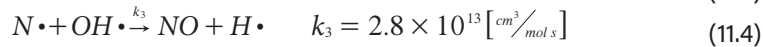
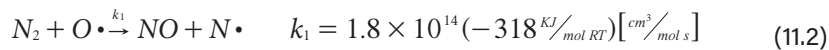
Los NOx térmicos provenientes de la combustión, principalmente en la forma de NO, son formados por la reacción a altas temperaturas del nitrógeno con el oxígeno, hasta el límite del oxígeno disponible vía el mecanismo de Zeldovich.

El NO se genera (alrededor de 200,000 ppm) en el aire al alcanzar temperaturas por encima de 1,300 °C. A temperaturas menores de 760 °C se genera en concentraciones mucho más bajas o no se genera en absoluto.

Los NOx térmicos se incrementan exponencialmente con la temperatura por encima de los 1,100 °C, mecanismo predominante en el proceso de la combustión.

Este mecanismo actúa cuando se precalienta el aire o existe exceso de oxígeno en el aire de combustión, lo cual normalmente incrementa la temperatura de la flama.

El NO térmico o de Zeldovich se forma de acuerdo con las siguientes reacciones:



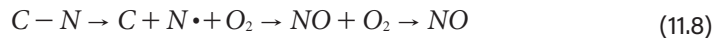
### 11.5.2 NOx temprano o inmediato (fenimore)

Se forma por combinación del nitrógeno con los hidrocarburos en el frente de flama, principalmente en flamas ricas en combustible, involucrando una serie de reacciones con compuestos intermediarios como se muestra en las siguientes reacciones (EPA, 1999):



### 11.5.3 NOx combinado

Se forma por la ruptura de moléculas C-N o liberación de moléculas de nitrógeno combinado, con generación de nitrógeno libre que reacciona con el oxígeno circundante para formar óxidos de nitrógeno (Ecuación 11.8). En México el combustóleo tiene un 2% de nitrógeno combinado.



Se ha reportado que del 50 al 90% de los óxidos de nitrógeno provenientes de fuentes de combustión que utilizan combustibles pesados (con 1 a 3% en peso de nitrógeno), se generan por el mecanismo de nitrógeno combinado que requiere de 60 a 150 kcal/mol para disociar la molécula C-N, contra 225 Kcal/mol para disociar la molécula N-N atmosférica (Seinfeld, 1986).

Dado que los óxidos de nitrógeno son el resultado de una combustión a alta temperatura en una atmósfera rica en oxígeno, el control de los mismos se basa en:

- Reducir la presencia de nitrógeno
- Reducir la temperatura
- Reducir la presencia de oxígeno disponible

## 11.6 Control químico de las emisiones de NOx en fuentes fijas

Como estrategias de control, existen dos alternativas:

- Prevenir la formación de los óxidos de nitrógeno a través de la modificación de los procesos de combustión
- Controlar los óxidos de nitrógeno formados con sistemas de control

En la Tabla 11.7 se resumen las opciones de modificación del proceso de combustión como estrategia de control preventivo de las emisiones de NOx. Por otro lado, en la Tabla 11.8 se muestran los diferentes procesos de control de las emisiones de NOx.

**Tabla 11.7** *Enfoque preventivo de reducción de emisiones de NOx: Modificación del proceso de combustión.*

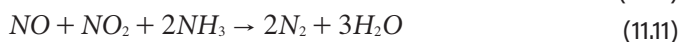
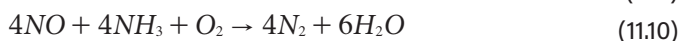
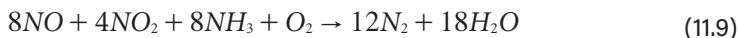
Modificación del proceso de combustión	Principios
Optimización del proceso para alcanzar el aire en exceso mínimo	El proceso se optimiza, al establecer la relación aire/combustible con el número de mancha 1 de la escala de Bacharach para diésel, el número 4 para combustóleo y 400 ppm de CO para gas (EPA, 1983).
Quemadores de baja formación de NOx	Opera con relación aire/combustible en aire rico y aire pobre alternadamente para alcanzar en promedio la relación estequiométrica reduciendo el oxígeno disponible, y la temperatura máxima (EPA, 1985; EPA 1999).
Recirculación de gases de combustión	Reduce la temperatura máxima al inyectar gases con temperatura menor a la de la flama.
Combustible ultra-bajos en nitrógeno combinado	Reduce el nitrógeno disponible para la reacción.
Inyección de agua o vapor	Reduce el tiempo de residencia a la temperatura de flama, reduce la temperatura al evaporarse el fluido.
Escalonamiento de aire o combustible	Reduce la temperatura máxima en la flama
Reducción del calentamiento del aire	Reduce la temperatura de flama.
Combustión catalítica	Ocurre la reacción en temperatura menor de 760 °C reduciendo la disociación de N <sub>2</sub> y la formación de NOx, además tiene un bajo consumo de energía y por ser reacciones de superficie el proceso es más eficiente reduciendo el consumo de combustible.

**Tabla 11.8** Control de óxidos de nitrógeno formados en la combustión.

Proceso de control	Principio
Reducción catalítica	Ver sección 11.6.1 Reducción catalítica.
Reducción no catalítica	Ver sección 11.6.2 Reducción no catalítica.
Proceso DeNOX	Proceso que puede ser calificado como economía circular al usar los NOx como materia prima para celdas (ver sección 11.6.3 Proceso DeNOX).
Oxidación de NOx para incrementar solubilidad y promover absorción	Oxidación con ozono, peróxido de hidrogeno o plasma no térmico para incrementar la solubilidad y la adsorción/absorción consecuente.
Utilización de un sorbente en la combustión o en la chimenea	Remoción por adsorción/absorción con amoníaco, cal, óxido de aluminio o carbón activado.

### 11.6.1 Reducción catalítica

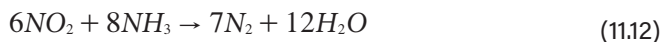
La reducción catalítica selectiva es el método más efectivo para controlar los NOx ya formados (secundarios), esta tecnología utiliza un catalizador heterogéneo de vanadio-titanio sobre una malla de panal de abeja en el intervalo de temperatura de 250-400 °C, se utiliza amoníaco como agente reductor en presencia de oxígeno, como se observa en las siguientes reacciones:



### 11.6.2 Reducción no catalítica

Esta técnica de control sin usar catalizador reduce los NOx por medio de la adición de amoníaco o urea en el intervalo de temperaturas de 870-1,090 °C.

El proceso requiere un control estricto de la temperatura. Si la temperatura es menor a 870 °C existe escape potencial de amoníaco, y si la temperatura es mayor de 1,090 °C se presenta la oxidación del amoníaco (Sanders *et al.*, 2000); las eficiencias de la reducción de NOx dependen de la relación NH<sub>3</sub>/NO<sub>2</sub> y pueden llegar a estar entre 10 y 85% (Ecuaciones 11.12 y 11.13) (Hoyos *et al.*, 2008).



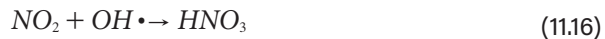
### 11.6.3 Proceso DeNOx

El proceso DeNOx, patentado por Condorchem Envitech, simula mecanismos naturales de autodepuración de la atmósfera, utilizando las emisiones, vapor de agua, ozono y radiación ultravioleta, el proceso se lleva a cabo en 4 etapas:

- 1) Se producen radicales hidroxilo



- 2) Se produce ácido nítrico



- 3) El ácido nítrico se absorbe en agua y se neutraliza con NaOH o KOH para obtener sales:



- 4) Las sales se cristalizan y se usan para almacenar energía y toda vez que se utiliza como una materia prima se puede considerar que se aplica la economía circular.

En este proceso, la generación de electricidad se forma en el nivel de sales calientes almacenadas que hace hervir agua en un intercambiador de calor para producir vapor a 540 °C y 1,000 bares (Condorchem Envitech, 2023).

### 11.6.4 Sistemas combinados

Se han desarrollado procesos catalíticos tipo adsorbente seco para remover simultáneamente SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, en donde SO<sub>2</sub> y NO se convierten en S y N<sub>2</sub> por la acción de CO; se han reportado los siguientes catalizadores para obtener estos resultados (Zhao-Qiong *et al.*, 2003):

- La<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S + CoS<sub>2</sub> con COS como intermediario de la reacción SO<sub>2</sub>-CO.
- CoMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como catalizador de la reacción SO<sub>2</sub>-NO-C, proponiendo también COS como intermediario de la reacción NO-CO.
- SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> sólido como catalizador más CO, sin la formación de COS, usando SO<sub>2</sub> en la reacción.

Se han encontrado resultados prometedores para la reducción catalítica simultánea de los óxidos de azufre y nitrógeno.

## 11.7 Reflexiones y conclusiones

La mejor solución para el control de los óxidos de nitrógeno es evitar su formación, a través de la modificación del proceso de combustión. Optimizar los procesos de combustión no solo reduce las emisiones sino también el consumo de combustibles con beneficios económicos muy valiosos.

La US EPA ha documentado que al evaluar 129 plantas de energía en un intervalo de 85 - 276 MW, las emisiones de NO<sub>x</sub> se reducen a la mitad con la instalación de quemadores de baja formación de NO<sub>x</sub> de un máximo de 0.514-0.908 lb/mmBtu a 0.352-0.418 lb/mmBtu, siendo esta alternativa la tecnología recomendada para plantas de energía.

De igual manera, es necesario reducir el contenido de nitrógeno en los combustibles para evitar la formación de NO<sub>x</sub> combinados, de manera similar a los procesos de reducción del azufre para obtener combustibles con bajo contenido de azufre (y nitrógeno), evitando efectos negativos sobre la calidad del aire local y la salud de los habitantes.

Asimismo, promover la combustión con gas natural y con combustibles alternativos como el hidrógeno verde, reducen las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Finalmente, promover la investigación con el enfoque de cuna-cuna para que las emisiones de óxidos de nitrógeno sean considerados materia prima y no contaminantes que afecten la salud humana y la calidad de los ecosistemas.

## Referencias

1. Catalytica. (1992). environmental report number e1, USA Catalytica
2. CFR, (1996) 40 CFR Part 76 Federal Register / Vol. 61, No. 13 / USA
3. Comisión para la Cooperación Ambiental, (1977) "*Rutas continentales de los contaminantes*" USA CCA
4. Condorchem Envitech. (2023), Recuperado el 05 de Septiembre de 2023 de Condorchem@condorchem.mx
5. Directiva (UE), 2015/2193 del Parlamento Europeo de 25 de noviembre de 2015, Belgic, UE
6. EPA-340/11-83-023 (1983) "*Combustion Efficiency Optimization Manual for Operators of Oil-and Gas -Fired Boilers*", USA, USEPA
7. EPA-625/57-85/013 (1985) "*Evaluation and Demonstration of Low-NO<sub>x</sub> Systems for Teor Steam Generator*". Final Report-field Evaluation of Commercial Prototype Burner, USA, USEPA
8. EPA. (1999). EPA-456-F-00-002 "*Boletín Técnico Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), ¿Por Qué y Cómo Se Controlan?*", USA, USEPA
9. EEA. (2013). Technical Report No 9/2013 "*Reducing air pollution from electricity-generating large combustion plants in the European Union. An assessment*

- of potential emission reductions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and dust", Belgic, European Environment Agency
10. Hoyos Barreto A.E., Jiménez Correa M. M., Ortiz Muñoz A. y Montes de Correa C. (2008) "Tecnologías para la reducción de emisiones de gases contaminantes en plantas cementeras", *Revista Ingeniería e Investigación*, 28(3) Diciembre de 2008 (4)-46.
  11. Lyon R. (1987). Thermal NO<sub>x</sub>. *Environmental Science and Technology*, 21(3).
  12. Ootsuka K., Arashi N., Hishinuma Y., Matsuda S., Nakajima F., Mukai M, Ishikawa T., KumuraT., Narita T., y Arikawa Y. (1979). A New Catalytic Reactor for Nitrogen oxides Removal, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 29(10).
  13. Pauling L (1964). *Química General*, Madrid, 1964 Editorial Aguilar
  14. Sanders D., Battye R., Walsh S., Lee-Greco J., (2000) "NO<sub>x</sub> Control Technologies For The Cement Industry", U.S., U.S. EPA
  15. Seinfeld J. (1986). *Air Pollution Chemistry*. USA, J. Wiley,
  16. Seinfeld J H. y Pandis S. N. (2015). *Atmospheric Chemistry*. USA, J. Wiley,
  17. SEDEMA, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2020). Informe de Calidad del Aire.
  18. SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Inventario nacional de contaminantes criterio, 2016*, México
  19. SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). *Inventario Nacional de Emisiones de México 2008*. México.
  20. SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1985). NOM 085-SEMARNAT-2011, Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición" México.
  21. WHO, World Health Organization. (1977). *Nitrogen oxides environmental health criteria*, Ginebra.
  22. Zhao-Qiong Liu, Jun Ma, Zhao -Liang Zhang y Xi-Yao Yang (2003) "SO<sub>2</sub> Assisted Simultaneous Reduction of SO<sub>2</sub> y NO by CO on SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Solid Solution", *Catalysis Letters*, 86, 87-95