



## GENERADORES DE EMERGENCIA Y CALIDAD DE AIRE: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA PROBLEMÁTICA

Dos líneas en blanco (todas las líneas en blanco en Arial tamaño 10)

### Rodrigo Junes, Mag. Ing. Civil (\*)

Estudio Ingeniería Ambiental SRL.

En 2017 se graduó de Ingeniería Civil Hidráulica Ambiental de la UdelaR, y en 2021 de la Maestría de Mecánica de los Fluidos Aplicada en la misma institución. Cuenta con 10 años de experiencia en el área de evaluación y gestión ambiental.

### Carlos De María, Ing. Civil

Estudio Ingeniería Ambiental SRL.

**TEMA: TEMA 5: Calidad de aire: olor, ruido, radiaciones, gases, material particulado.**



(\*): Av. Del Libertador 1532/801 – Montevideo – Montevideo – 11100 – Uruguay - Tel.:+598 2903 1191 – e-mail: rodrigo.junes@eia.com.uy

### RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis exploratorio de la afectación potencial a la calidad del aire por la emisión de NO<sub>x</sub> por la operación de motores de combustión interna para la generación de energía eléctrica en baja potencia (menor a 10 MW), en aplicaciones de respaldo por interrupción del suministro de la red o cumplimiento de requerimientos de potencia firme mínima. Se explora una grilla de posibilidades, considerando combinaciones de los siguientes parámetros: tasas de emisión asociadas a la tecnología del motor de acuerdo a su clasificación "Tier" de la US EPA, potencia del motor, altura de chimenea, y cantidad de motores. Utilizando el software de modelación de dispersión atmosférica de sustancias AERMOD de la US EPA, se simulan las combinaciones de escenarios, y se analizan las concentraciones obtenidas. En función de los resultados, se cuantifica el impacto potencial sobre la calidad del aire en términos de los objetivos establecidos en el Decreto 135/021, y se establecen las condiciones límite de configuración de los parámetros considerados para lograr el cumplimiento de dichos objetivos.

**Palabras Clave: AERMOD, calidad de aire, fuentes fijas, NO<sub>x</sub>, modelación computacional, generadores de emergencia.**

### INTRODUCCIÓN

Con la entrada en vigencia del Decreto 135/021 de normas reglamentarias sobre la calidad del aire, surgió la figura de la Autorización de Emisión a la Atmósfera (AEA), estableciendo que requieren de esta autorización, entre otras, *"la generación de energía eléctrica, cuando de esta actividad se generen emisiones a la atmósfera"*. Esto hace que, actividades que previamente no requerían autorización del Ministerio de Ambiente en la forma de Autorización Ambiental Previa (el punto de corte para esta actividad es de 10 MW de potencia), ahora deban solicitar la AEA. Esta determinación alcanza de ese modo a grupos de generadores de respaldo de potencia total inferior a 10 MW, por lo que se entiende de interés elaborar un análisis de casos considerando una grilla de combinaciones variando los parámetros de tasas de emisión de NO<sub>x</sub>, potencia del motor, altura de su chimenea, y cantidad total de motores. El análisis se enfoca en los NO<sub>x</sub>, dado que, en la experiencia, son los contaminantes que restringen en mayor medida las configuraciones posibles del grupo de generadores para alcanzar el cumplimiento de los objetivos de calidad de aire para NO<sub>2</sub>.



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

## OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

El objetivo general del presente trabajo es establecer en una primera aproximación, las restricciones de diseño para grupos de motores de combustión interna para generación de energía eléctrica de respaldo con menos de 10 MW de potencia total, en términos de cantidad de motores, altura de chimeneas, tasa de emisión de NO<sub>x</sub>, y potencia individual de los motores.

Los objetivos específicos son:

1. Implementar los modelos de dispersión atmosférica necesarios para determinar las concentraciones ambiente esperadas para cada combinación de parámetros considerada.
2. Definir las configuraciones que permitan dar cumplimiento a los objetivos de calidad de aire de NO<sub>2</sub>.

## METODOLOGÍA

Se considera el espacio de parámetros dado por las tasas de emisión asociadas a la clasificación de estándares de emisión de la US EPA para motores de ignición por compresión acoplados a generadores de emergencia, donde se definen las categorías "Tier" con sus respectivas tasas de emisión (US EPA, 2016, 2004; 1998; 1994), la potencia individual de los generadores considerando un espectro discreto desde los 500 a los 2.500 kW de potencia, la altura de chimenea considerando un espectro discreto desde los 0 a los 30 m de altura, y la cantidad total de generadores, combinando generadores con la misma potencia hasta un número máximo tal que la potencia total sea inferior o igual a los 10 MW. El espacio de combinaciones consideradas se puede representar de la siguiente forma como unión de productos cartesianos de conjuntos:

$$\begin{aligned} & \{3\text{ m}, 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}\} \times \{1, 2, \dots, 20\} \times \{500\text{ kW}\} \times \{\text{Tier 1, Tier 2, Tier 3, Tier 4}\} \cup \\ & \{3\text{ m}, 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}\} \times \{1, 2, \dots, 10\} \times \{1.000\text{ kW}\} \times \{\text{Tier 1, Tier 2, Tier 4}\} \cup \\ & \{3\text{ m}, 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}\} \times \{1, 2, \dots, 7\} \times \{1.500\text{ kW}\} \times \{\text{Tier 1, Tier 2, Tier 4}\} \cup \\ & \{3\text{ m}, 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}\} \times \{1, 2, 3, 4, 5\} \times \{2.000\text{ kW}\} \times \{\text{Tier 1, Tier 2, Tier 4}\} \cup \\ & \{3\text{ m}, 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}\} \times \{1, 2, 3, 4\} \times \{2.500\text{ kW}\} \times \{\text{Tier 1, Tier 2, Tier 4}\} \end{aligned}$$

### Ecuación 1

Donde el primer conjunto corresponde a las alturas de chimenea consideradas, el segundo a las cantidades de generadores, el tercero a la potencia individual de cada generador, y el último a la clasificación de cada generador en términos de sus emisiones. Se tiene así un total de 1.106 combinaciones dentro del espacio de parámetros considerado. Cabe señalar que únicamente los motores con potencias inferiores a los 560 kW cuentan con estándares de emisión Tier 3 (US EPA, 2016).

Considerando la relación lineal entre la concentración ambiente y la de emisión de los modelos gaussianos de dispersión atmosférica (US EPA, 2022) dado que como primera aproximación no se utilizan ecuaciones de conversión de NO a NO<sub>2</sub>, basta con simular una tasa de emisión constante para cada altura y cantidad de generadores, y ajustar las concentraciones ambientes de forma proporcional a la tasa de emisión correspondiente en la etapa de post procesamiento. De este modo, las combinaciones que efectivamente se simulan en AERMOD son 140, y corresponden a:

$$\{3\text{ m}, 5\text{ m}, 10\text{ m}, 15\text{ m}, 20\text{ m}, 25\text{ m}, 30\text{ m}\} \times \{1, 2, \dots, 20\}$$

### Ecuación 2

Se considera en todos los casos anteriores una tasa de emisión de NO<sub>x</sub> igual a 1 g/s, asumiendo que todo se emite en forma de NO<sub>2</sub>. De este modo, la corrección de las concentraciones ambiente corresponde a



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

multiplicarlas por la tasa de emisión del tipo de generador. Las tasas de emisión por unidad de potencia y por unidad de tiempo (emisión másica total de cada tipo de generador), se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1: Tasas de emisión por unidad de potencia, y por segundo para motores individuales.**

Potencia (kW)	500	1000	1500	2000	2500
Tier	Tasa NO <sub>x</sub> (g/kW.h)				
1	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
2	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
3	4	ND	ND	ND	ND
4	0,4	0,67	0,67	0,67	0,67
Tier	Tasa NO <sub>x</sub> (g/s)				
1	1,28	2,56	3,83	5,11	6,39
2	0,89	1,78	2,67	3,56	4,44
3	0,56	ND	ND	ND	ND
4	0,06	0,19	0,28	0,37	0,47

Las fuentes de emisión asociadas a los generadores se disponen en una grilla de 4 en dirección Norte-Sur por 5 en dirección Este-Oeste, separadas por una distancia de 5 m entre sí en ambas direcciones. Al aumentar la cantidad de fuentes en la simulación, se incluyen secuencialmente las fuentes desde la esquina Noroeste, avanzando primero hacia el Este y saltando de fila cuando es necesario. Se considera una velocidad de salida de los gases de combustión de 25 m/s y una temperatura de 733 K.

Se utiliza una grilla de receptores de tipo polar, centrada en las fuentes, con un paso angular de 10 °, y un paso radial de acuerdo a la siguiente secuencia: 20 m 30 m 40 m 50 m 60 m 70 m 80 m 90 m 100 m 150 m 200 m 250 m 300 m 400 m 500 m 600 m 700 m 800 m 900 m 1000 m. Se considera terreno plano, donde tanto los receptores como la base de las fuentes de emisión tienen elevación nula.

Como datos meteorológicos de entrada se utilizan datos de reanálisis del modelo WRF (Skamarock *et al*, 2019) procesados con el MMIF (Karamchadani *et al*, 2022) para una estación virtual ubicada en las coordenadas 34,68976 ° Sur, 54,57178 ° Oeste, tomando la totalidad del año 2019, con valores cada 1 hora. Los datos se procesan con el AERMET (US EPA, 2022) para generar los archivos de entrada requeridos por AERMOD (US EPA, 2022).

Se ejecutan las simulaciones para cada escenario, y luego se extrae la concentración horaria máxima en cada uno. Esta concentración horaria máxima se corrige por la tasa de emisión correspondiente, generando así una matriz de resultados de concentración horaria máxima para cada una de las combinaciones de parámetros considerada.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

De la simulación y post procesamiento, según se mencionara anteriormente, se obtiene resultados de concentración máxima para cada escenario simulado, considerando las combinaciones de parámetros (Tier, Potencia, Cantidad, Altura de chimenea). En la Figura 1 a continuación se presentan “mapas de calor” indicando el valor de concentración máxima para una combinación dada, graficando la concentración obtenida en función de la cantidad de generadores traducida en términos de potencia total, y la altura de chimenea para una combinación dada de potencia individual y Tier.



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

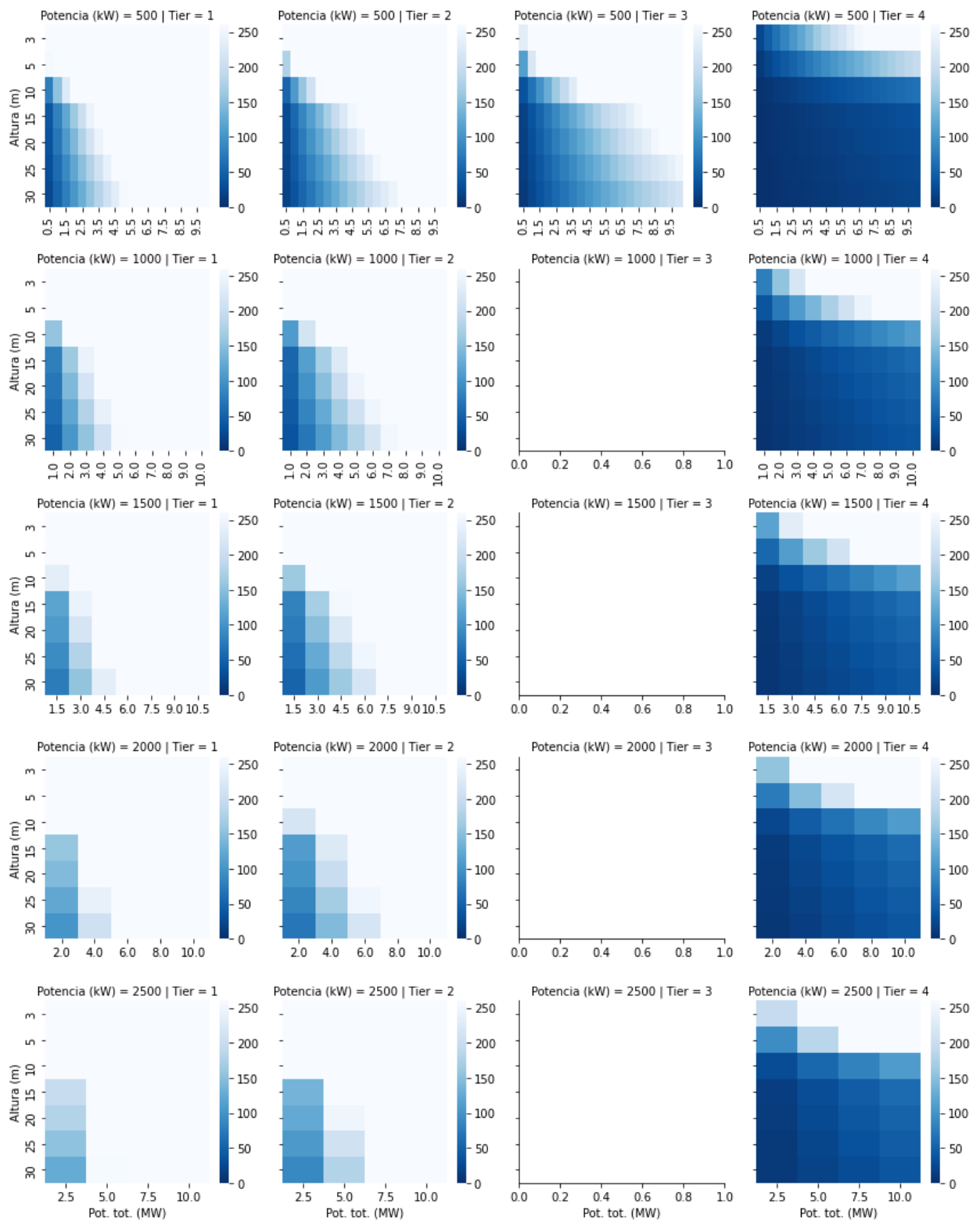


Figura 1: Concentración máxima en función de potencia individual, Tier, potencia total y altura.



25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país

En la escala de colores de la Figura 1, el azul oscuro corresponde a concentración nula, mientras que los tonos más claros a concentraciones más altas, hasta llegar al valor de  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los valores por encima de este último quedan representados por la tonalidad más clara de azul. El valor de  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  corresponde al límite de tolerancia establecido en el Decreto 135/021 para el objetivo de calidad de aire de concentración horaria ambiente de  $\text{NO}_2$ , el cual no debe ser excedido en ningún caso. Por otra parte, se puede tener valores de concentración ambiente de entre 200 a  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por un máximo de 18 horas/año, y el resto del tiempo la concentración ambiente debe ser inferior a los  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De los gráficos de la figura anterior se observa que, para una misma potencia individual de motor, se logra cumplir con el objetivo de calidad de aire para  $\text{NO}_2$  en una mayor cantidad de combinaciones a medida que incrementa el Tier. Para el caso de motores de 500 kW Tier 4, con altura de chimenea de 3 m, comienzan a generarse incumplimientos a partir de los 14 generadores instalados, mientras que, con alturas de chimenea de 5 m en adelante, se logra el cumplimiento en todos los casos. Por otro lado, para motores de 500 kW Tier 1, comienzan a existir situaciones de cumplimiento a partir de los 10 m de altura de chimenea, no lográndose el cumplimiento para potencias totales superiores a los 10 MW, ni siquiera con 30 m de altura de chimenea. El cumplimiento para una potencia total de 10 MW se logra con una altura de chimenea de 25 m utilizando generadores de 500 kW Tier 3.

Para el caso de los generadores de mayor potencia individual, de 2.500 kW, los Tier 1 logran cumplimiento para alturas de chimenea superiores a los 15 m, y únicamente para configuraciones de 1 único generador. Para Tier 2, se logra cumplimiento con 2 generadores y alturas de chimenea superiores a los 20 m, mientras que para Tier 4 se logra cumplimiento para una potencia total de 10 MW a partir de alturas de chimenea de 10 m.

Cabe resaltar que, con la configuración considerada, para lograr potencias totales mayores dando cumplimiento al objetivo de calidad de aire, con alturas de chimenea menores o Tier menores, parece ser más favorable optar por generadores de potencia individual menor. Esto se debe fundamentalmente a que la configuración elegida para la ubicación de las fuentes es dentro de una grilla de 4 por 5, espaciada cada 5 m en ambas direcciones, asumiendo que cada generador tiene su propia chimenea. Lo anterior hace que la concentración alcanzada por una mayor cantidad de generadores con tasas de emisión individuales menores, sea menor, dado que la masa total se emite en un área inicial mayor. A modo de ejemplo, un generador de 2,5 MW Tier 1 emite 6,39 g/s de  $\text{NO}_x$ , por una única chimenea, mientras que 5 generadores de 0,5 MW emiten la misma cantidad, pero por 5 chimeneas espaciadas cada 5 m entre sí, por lo que alcanzan una concentración máxima menor. Esta configuración no necesariamente refleja las condiciones reales de instalación y de emisión de un grupo de generadores, dado que varios pueden converger a una misma chimenea.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El análisis realizado en el presente trabajo permite establecer, en primera aproximación y dentro de las hipótesis consideradas, una frontera de cumplimiento de los objetivos de calidad de aire para  $\text{NO}_2$  establecidos en el Decreto 135/021, en el espacio de parámetros de potencia individual de cada generador, potencia total del grupo de generadores, altura de chimeneas y clasificación Tier de los generadores. Se entiende que este resultado puede ser tomado como una indicación al momento de seleccionar la combinación adecuada de parámetros para el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica de respaldo con motores de ignición por compresión.

Cabe señalar, de todos modos, que cada caso particular debe ser analizado individualmente, dado que las condiciones del entorno, características particulares del motor, chimenea, presencia de obstáculos, meteorología, etc., tienen influencia en el resultado final de la modelación predictiva.



## XI Congreso Nacional de AIDIS

Cambios, desafíos y soluciones:

El rol de la Ingeniería Ambiental en el desarrollo sostenible

25 al 27 de octubre de 2022

Cámara Mercantil de productos del país



Asimismo, se debe tomar en cuenta la dimensión económica, que no fue analizada en el presente. Por un lado, los costos asociados a la instalación de chimeneas incrementan de forma no lineal, teniendo un costo por metro instalado mayor, a medida que aumenta la altura total de la chimenea. Por otro, el costo anterior se debe balancear con el costo de un motor con una categoría Tier mayor, teniendo en cuenta que para una misma potencia, un motor Tier 4 puede costar hasta 5 veces más que un motor Tier 1, de acuerdo a la experiencia en proyectos de esta índole.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Karamchadani, P., Emery, C., Brashers, B., Ramboll US Consulting Inc. 2022. The Mesoscale Model Interface (MMIF) Program Version 4.0, 2022-06-09.
2. Skamarock, C., Klemp, B., Dudhia, J., Gill, O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, G., Duda, G., Barker, D.M., & Huang, X. 2019. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4.
3. US EPA. 2022. AERMOD Model Formulation.
4. US EPA. 2016. Nonroad Compression/Ignition Engines> Exhaust Emission Standards.
5. US EPA. 2004. Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines and Fuel; Final Rule.
6. US EPA. 1998. Control of Emissions of Air Pollution From Nonroad Diesel Engines.
7. US EPA. 1994. Determination of Significance for Nonroad Sources and Emission Standards for New Nonroad Compression-Ignition Engine At or Above 37 Kilowatts.