

CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | RESUMEN EJECUTIVO | 1 |
| 2. | OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 | Objetivo General | 3 |
| 2.2 | Objetivo Específicos..... | 3 |
| 3. | NOMENCLATURA | 4 |
| 4. | IDENTIFICACIÓN DE FUENTES EMISIONES | 6 |
| 4.1 | Grupo de Motor | 6 |
| 4.2 | Tipo de Combustible | 7 |
| 4.3 | Tipo de Naves | 7 |
| 4.4 | Revisión de Información | 9 |
| 5. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES..... | 11 |
| 5.1 | Estimación de Emisiones de MP10 y MP2.5..... | 15 |
| 5.1.1 | Factor de Emisión de MP10 y MP2.5 | 15 |
| 5.1.2 | Tasa de Emisión de MP10 y MP2.5 | 16 |
| 5.2 | Estimación de Emisiones de COVs..... | 17 |
| 5.2.1 | Factor de Emisión de COVs..... | 17 |
| 5.2.2 | Tasa de Emisión de COVs..... | 18 |
| 5.3 | Estimación de Emisiones de SO ₂ | 19 |
| 5.3.1 | Factor de Emisión de SO ₂ | 19 |
| 5.3.2 | Tasa de Emisión de SO ₂ | 20 |
| 5.4 | Estimación de Emisiones de NO _x | 20 |
| 5.4.1 | Factor de Emisión de NO _x | 20 |
| 5.4.2 | Tasa de Emisión de NO _x | 22 |
| 5.5 | Estimación de Emisiones de CO..... | 23 |
| 5.5.1 | Factor de Emisión de CO..... | 23 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.5.2 | Tasa de Emisión de CO | 23 |
| 5.6 | Estimación de Emisiones de NH₃ | 24 |
| 5.6.1 | Factor de Emisión de NH ₃ | 24 |
| 5.6.2 | Tasa de Emisión de NH ₃ | 25 |
| 5.7 | Resumen Tasas de Emisión | 26 |
| 6. | CONCLUSIONES | 27 |
| 7. | REFERENCIAS | 28 |
| 8. | EQUIPO DE TRABAJO | 29 |
| | ANEXO 1: EJEMPLOS DE CÁLCULO | 30 |
| | ANEXO 2: PLANILLAS DE CÁLCULO | 30 |
| | ANEXO 3: FICHAS TÉCNICAS | 30 |
| | ANEXO 4: DOCUMENTACIÓN | 30 |

1. RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal del presente documento consiste en la estimación de las emisiones de los contaminantes atmosféricos (MP10, MP2.5, NOX, SO₂, COV, CO y NH₃), generadas por las embarcaciones marítimas que ingresaron durante el año 2020 a la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso.

Se caracterizaron las naves marítimas junto con los remolcadores identificando la potencia y tipo de motor (principal y auxiliar), además del combustible utilizado. Para el caso de las naves que no contaban con ficha técnica, se realizó una homologación a partir del largo, ancho y peso muerto de la embarcación, verificando que el límite de influencia no superará el 12%. Además, se identificó el tiempo de operación del motor de propulsión y auxiliar para cada nave registrada, siendo el mes de julio de 2020 donde se registró el valor más elevado en la distribución de la suma de tiempo de las embarcaciones en la Bahía de Quintero.

Cabe señalar que, para la elaboración de este inventario, se consideraron las emisiones generadas por los motores de propulsión y auxiliares, principales fuentes generadoras de emisiones en embarcaciones marítimas. Los factores de emisión fueron utilizados en base a la “*Metodología de Estimación de Emisiones para las Naves que Hacen Ingreso a la Bahía de Quintero*”, cuya versión final se presentó en septiembre del año 2021. Por otra parte, los niveles de actividad fueron estimados a partir del producto entre la potencia de cada motor de la nave y el tiempo de operación de estos.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las tasas de emisiones generadas por las embarcaciones marítimas que ingresaron a la Bahía de Quintero durante el 2020.

Tabla 1: Resumen tasa de emisión anual de embarcaciones marítimas que ingresaron a la Bahía de Quintero durante el 2020.

| CONTAMINANTE | EMISIÓN (ton/año) |
|---------------------|------------------------------|
| MP ₁₀ | 31.04 |
| MP _{2.5} | 28.55 |
| COV | 47.65 |
| SO ₂ | 41.93 |
| NO _x | 815.28 |
| CO | 119.47 |
| NH ₃ | 0.51 |

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Realizar una estimación de las emisiones atmosféricas generadas por las naves que ingresaron a la Bahía de Quintero durante el año 2020.

2.2 Objetivo Específicos

- Caracterizar las embarcaciones marítimas que hicieron ingreso a la Bahía de Quintero durante el año 2020, mediante la identificación de la potencia y tipo de motor, además del combustible utilizado.
- Estimar las emisiones de material particulado (MP_{10} y $MP_{2.5}$) y gases (NO_x , SO_2 , COV, CO y NH_3), generadas por las naves durante el año 2020 en la Bahía de Quintero

3. NOMENCLATURA

AIS: Sistema de Identificación Automática.

BSFC: Consumo de Combustible Específico del Freno.

CO: Monóxido de Carbono.

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.

E: Emisiones Atmosféricas.

FABC: Factor de Ajuste de Baja Carga.

FC: Factor de Carga Motor de Propulsión.

FE: Factor de Emisión.

FSC: Fracción de Azufre en el Combustible que se convierte en Sulfato MP.

GLP: Gas Licuado del Petróleo.

GNL: Gas Natural Licuado.

GT: Turbina de Gas.

HFO: Fueloil Pesado.

HSD: Motor Diésel de Alta Velocidad.

MDO: Dieseloil Marino.

MGO: Gasoil Marino.

MM: Margen del Mar.

MP: Material Particulado.

MP10: Material Particulado Respirable.

MP2.5: Material Particulado Fino 100% Respirable.

MSD: Motor Diésel de Velocidad Media.

MWR: Relación entre el Peso Molecular Sulfato MP y Azufre.

NH3: Amoníaco.

NOX: Óxidos de Nitrógeno.

P: Potencia del Motor.

RM: Fueloil o Residual Marino.

Scomb: Contenido de Azufre en el Combustible.

SO₂: Dióxido de Azufre.

SSD: Motor Diésel de Baja Velocidad.

ST: Turbina de Vapor.

T: Tiempo de Operación.

V: Velocidad

4. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES EMISIONES

La metodología de estimación de emisiones para las naves que hicieron ingreso a la Bahía de Quintero, define las emisiones atmosféricas generadas por estas y es aplicable para todas las embarcaciones mayores que operen en la bahía, incluido los remolcadores.

Estas emisiones dependen de diversos factores que pueden influir en mayor o menor medida en el aporte de gases contaminantes a la atmósfera, como el grupo de motor, tipo de combustible y embarcación.

4.1 Grupo de Motor

Los principales elementos que otorgan autosuficiencia energética a las naves corresponden a los motores de propulsión, motores auxiliares y calderas (Cooper & Gustafsson, 2004).

- **Motores de propulsión**, también conocidos como motores principales, los cuales se encargan de suministrar la energía suficiente para el desplazamiento de la nave.
- **Motores auxiliares**, utilizados para todas aquellas actividades distintas a la propulsión de la nave, tales como, generación eléctrica, ventilación, sistemas de bombeo, etc.
- **Calderas**, estas son utilizadas para mantener la temperatura del combustible y también calentar el agua que se utiliza al interior de las naves.

Es importante reconocer las distintas categorías de motores, ya que cada uno se encuentra asociado a una potencia mecánica, la cual tiene un impacto significativo al estimar las emisiones atmosféricas.

En cuanto a la operación de las naves, es importante señalar que el motor principal se utiliza sólo en maniobras de atraque y desatraque en la bahía, siendo apoyados en estas maniobras por remolcadores, mientras que el motor auxiliar se mantiene encendido durante toda la estadía en el puerto.

Cabe destacar que el uso de incineradores en embarcaciones también son un elemento que genera emisiones atmosféricas, sin embargo, de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N°136 del año 2012, que “Promulga el protocolo de 1996 relativo al convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias, 1972”, en su artículo 5, se señala la prohibición de la incineración en el mar, por lo que en el presente inventario no se consideran las emisiones de este tipo de fuentes.

4.2 Tipo de Combustible

El combustible marino se origina a través de la mezcla homogénea de hidrocarburos procedentes del refinamiento del petróleo con sustancias aditivas que se añaden con el objeto de mejorar sus propiedades.

Existen dos tipos de combustibles marinos (Cortés del Pino, 2014).

- **Combustible residual:** se obtiene mediante el proceso de refinamiento del crudo en las refinerías. Es un producto de alta viscosidad que se adquiere luego de extraer la gasolina, gasóleo, propano, butano, etc. Existen varios tipos de fuel en función de la viscosidad. Este combustible se utiliza principalmente para motores de gran tamaño.
- **Combustible destilado:** es un combustible más ligero, de mayor calidad y de elevado costo. El gasoil tiene un contenido relativamente bajo de azufre, además posee aditivos mejoradores de flujo, por lo que puede fluir a menor temperatura sin obstruir los conductos de alimentación, filtros y el sistema de inyección.

4.3 Tipo de Naves

Existe una gran variedad de embarcaciones, los cuales se pueden clasificar en función del tipo de carga a transportar.

Los principales tipos de naves se presentan a continuación (Abrego, 2014).

- **Buques Graneleros (Bulk Carrier):** son buques que se caracterizan principalmente por transportar cargas secas a granel. Generalmente viajan a bajas velocidades y son de gran tamaño superando los 300 metros de eslora.
- **Buques Químicos (Chemical Tanker):** corresponden a buques diseñados para transportar productos químicos a granel. Su tamaño es relativamente pequeño debido a la naturaleza de la carga y a las restricciones de los terminales portuarios.
- **Buques Portacontenedores (Container Ship):** se caracterizan por transportar toda su carga en contenedores. Son buques de gran tamaño, los cuales pueden llegar a medir hasta 350 metros eslora y además poseen motores de gran envergadura.
- **Buques Petroleros (Crude Oil Tanker/Oil Products Tanker):** corresponden a buques diseñados para el transporte de petróleo o sus productos. Los petroleros de crudo transportan grandes cantidades de crudo sin refinar, mientras que los petroleros de productos transportan productos refinados y generalmente son mucho más pequeños.
- **Buques Gaseros (LNG Tanker/LPG Tanker):** son buques diseñados para el transporte de gas natural o gas licuado. La principal diferencia que existe entre ambos es que los LNG transportan el gas en estado líquido a temperaturas hasta -170 °C, mientras que los LPG transportan el gas licuado a -50 °C.
- **Buques de Cargamento de Vehículos (Vehicles Carrier):** se caracterizan por transportar vehículos automóviles o camiones.
- **Remolcadores:** se caracterizan por ser embarcaciones de menor tamaño cuya función es asistir en la maniobra de otras naves, principalmente para tirar o empujar buques o gabarras en puertos.

4.4 Revisión de Información

La información obtenida fue entregada por la Autoridad Marítima, donde se encuentran registradas las naves que ingresaron mensualmente durante el año 2020. Además, se entregó información respecto a las faenas de practicaaje y las fichas técnicas correspondientes a las naves registradas junto con los remolcadores.

En base a los antecedentes recopilado, en primer lugar, se identificaron los tipos de embarcaciones que ingresaron a la Bahía de Quintero.

El nivel de participación de cada tipo de nave se observa en la Figura 1.

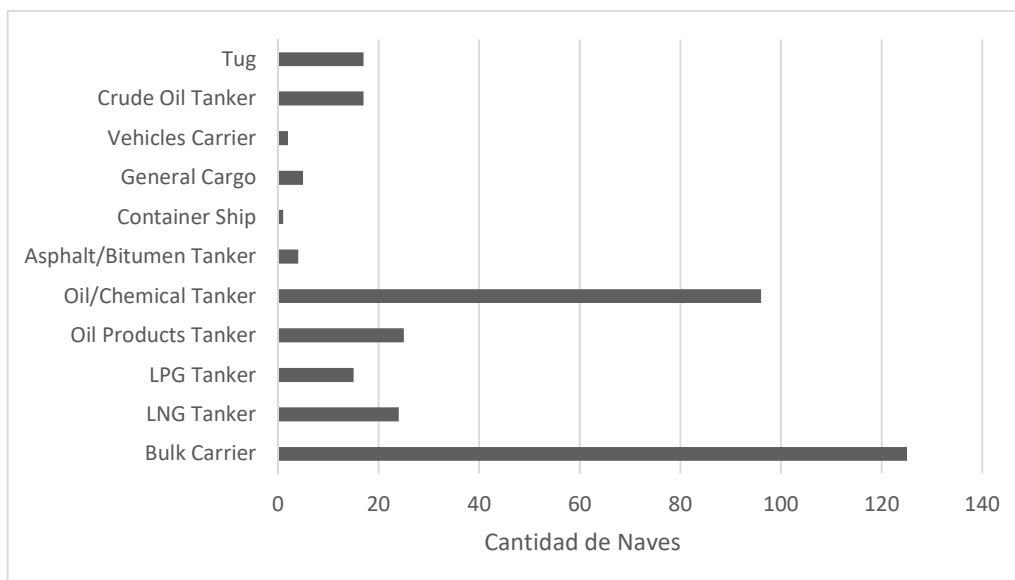


Figura 1: Cantidad de naves ingresadas a la Bahía de Quintero año 2020 según tipo de embarcación.

En la **Figura 1** es posible observar que el tipo de embarcación que más ingresó a la Bahía de Quintero durante el año 2020 fueron los buques graneleros (Bulk Carrier), los cuales representan el **38% del total**. Le siguen las naves tipos buques químicos (Chemical Tanker) y buques petroleros (Oil Products Tanker), con **29% y 8% respectivamente**. El nivel de participación de los tipos de naves es el esperado debido a las características del terminal portuario Quintero y al tipo de empresas que se encuentran en el sector.

Además, se identificaron la cantidad de horas que permanecieron en la costa las embarcaciones marítimas que ingresaron a la Bahía de Quintero. La distribución del tiempo en la bahía se puede observar en la **Figura 2** para cada mes.

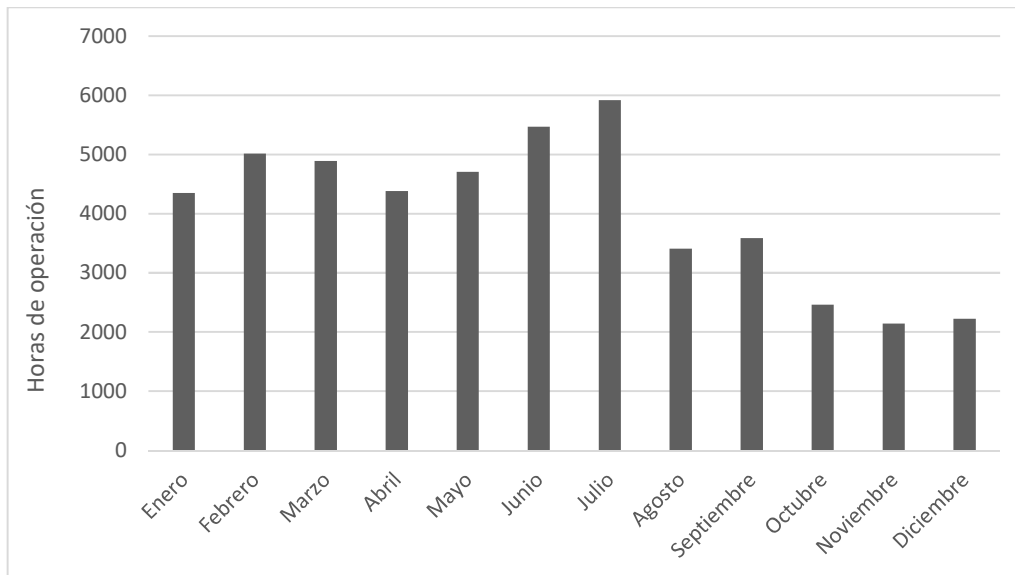


Figura 2: Distribución mensual de las embarcaciones marítimas que ingresaron a la Bahía de Quintero durante el año 2020.

En la **Figura 2** es posible observar que la distribución de la suma de tiempo de las naves en puerto por mes se mueve en un rango de **2.000 y 6.000 horas** aproximadamente y que el mes que presenta un mayor valor de suma de tiempo en puerto es julio.

Cabe destacar que se contó con aproximadamente el **40%** de las fichas técnicas de las naves registradas durante el año 2020. Con el objeto de obtener los datos del combustible utilizado y las potencias de los motores principales y auxiliares, se homologaron las naves que sí disponían de sus fichas técnicas con aquellas donde no fue posible reunir esta información, considerando tres factores que se indican a continuación: largo, ancho y peso muerto de la nave. Para ello se verificó que el límite de influencia no superara el 12%.

Los datos de largo, ancho y peso muerto de cada nave fueron obtenidos mediante la página web “MarineTraffic”.

5. ESTIMACIÓN DE EMISIONES

Para realizar las estimaciones generadas por las embarcaciones se utilizó la Guía Metodología de Estimación de Emisiones para las Naves que Hacen Ingreso a la Bahía de Quintero, presentada en septiembre de 2021.

La ecuación que define el cálculo de la emisión por cada nave está dada por el producto entre el factor de emisión y el nivel de actividad correspondiente al factor utilizado que, en este caso, se trata del producto entre la potencia del motor de la nave y el tiempo de operación del motor, además es necesario considerar el factor de ajuste de baja carga, lo cual se refleja en la siguiente ecuación:

$$E = P \cdot t \cdot FE \cdot FABC$$

Donde

- E : Emisiones por Nave [g/año]
- P : Potencia de Funcionamiento del Motor [kW]
- t : Tiempo de Operación Anual del Motor [h/año]
- FE : Factor de Emisión [g/kWh]
- FABC : Factor de Ajuste de Baja Carga. Corresponde a un factor sin unidades que refleja un aumento de la propulsión de emisiones durante operaciones de baja carga (siempre 1 para motores auxiliares)

El cálculo de las emisiones de los motores principales se ha realizado de forma independiente de los motores auxiliares, ya que poseen características distintas y difieren en su tiempo de operación, debido que al ingresar las naves a la bahía los motores principales se utilizan por un tiempo equivalente al 10% de las maniobras de atraque y desatraque, mientras que los motores auxiliares son los que se mantienen encendidos durante la estadía de la nave en el puerto.

El presente inventario se obtuvo a partir de la suma de las emisiones determinadas para cada motor de las distintas naves que ingresaron a la Bahía de Quintero.

En base a la guía U.S.EPA el factor de ajuste de baja carga (FABC) se obtuvo a partir de la Tabla 2.

Tabla 2: Factor de Ajuste de Baja Carga

| FACTOR DE CARGA MOTOR DE PROPULSIÓN (FC) | FACTOR DE AJUSTE BAJA CARGA | | | | |
|--|-----------------------------|-------|------------|------|-----------------|
| | NO _x | COVS | MP10 MP2.5 | CO | NH ₃ |
| ≤2% | 4.63 | 21.18 | 7.29 | 9.68 | 0.14 |
| 3% | 2.92 | 11.68 | 4.33 | 6.46 | 0.08 |
| 4% | 2.21 | 7.71 | 3.09 | 4.86 | 0.06 |
| 5% | 1.83 | 5.61 | 2.44 | 3.89 | 0.05 |
| 6% | 1.60 | 4.35 | 2.04 | 3.25 | 0.04 |
| 7% | 1.45 | 3.52 | 1.79 | 2.79 | 0.03 |
| 8% | 1.35 | 2.95 | 1.61 | 2.45 | 0.03 |
| 9% | 1.27 | 2.52 | 1.48 | 2.18 | 0.03 |
| 10% | 1.22 | 2.20 | 1.38 | 1.96 | 0.03 |
| 11% | 1.17 | 1.96 | 1.30 | 1.79 | 0.03 |
| 12% | 1.14 | 1.76 | 1.24 | 1.64 | 0.02 |
| 13% | 1.11 | 1.60 | 1.19 | 1.52 | 0.02 |
| 14% | 1.08 | 1.47 | 1.15 | 1.41 | 0.02 |
| 15% | 1.06 | 1.36 | 1.11 | 1.32 | 0.02 |
| 16% | 1.05 | 1.26 | 1.08 | 1.24 | 0.02 |
| 17% | 1.03 | 1.18 | 1.06 | 1.17 | 0.02 |
| 18% | 1.02 | 1.11 | 1.04 | 1.11 | 0.02 |
| 19% | 1.01 | 1.05 | 1.02 | 1.05 | 0.02 |
| ≥20% | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.02 |

El factor de carga del motor de propulsión (FC), se calculó para cada nave mediante la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{P_o}{P_{ref}} \cdot 100$$

Donde

- FC : Factor de Carga del Motor de Propulsión
- P_o : Potencia Operativa del Motor de Propulsión [kW]
- P_{ref} : Potencia de Propulsión Total Instalada de la Nave [kW]

La potencia operativa del motor de la nave se calculó mediante la ley de la hélice, la cual indica que la potencia operativa del motor de propulsión varía con el cubo de la velocidad del barco, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_O = P_{ref} \times \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^3 \times MM$$

Donde

- V : Velocidad Real Informada por AIS [kn]
- Vref : Velocidad Máxima de la Nave [kn]
- MM : Margen del Mar que representa las condiciones meteorológicas medias, cuyo valor es de 1,10 para operaciones costeras

Los valores del **FABC han resultado 1** para todos los motores principales del inventario al presentar un valor de factor de carga del motor sobre el 20%. En la planilla de cálculo adjunta en el **Anexo 1** se pueden observar los valores del FABC para cada nave.

Para el caso del SO₂ el factor de ajuste de baja carga depende del contenido de azufre del combustible, el cual se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$FABC_{SO_2} = \frac{2.3735 \times \left(\frac{14.1205}{FC} + 205.7169 \right) \times S_{comb} - 0.4792}{655.8441 \times S_{comb} - 0.4792}$$

Donde

- FABC_{SO2} : Factor de Ajuste de Carga para el SO₂
- FC : Factor de Carga del Motor (entre 0.02 y 0.2)
- Scomb : Contenido real de azufre en el combustible (relación de peso). Para la mayor parte de la actividad de las naves dentro de la zona de control de emisiones, desde el 2015 y más allá, utilizar: 0.001

Por otra parte, el factor de emisión para naves depende principalmente del tipo de motor, donde se identificó que todos los motores principales son del tipo diésel de baja velocidad (SSD), mientras que los motores auxiliares corresponden al tipo diésel de media velocidad (MSD), lo cual se determinó a partir de la velocidad o carrera como se indica en la **Tabla 3**.

En la planilla de cálculo adjunta en el **Anexo 1** se puede observar el tipo de motor principal y auxiliar para cada nave.

Tabla 3: Tipo de Motor según Velocidad o Carrera

| TIPO DE MOTOR DIESEL | RANGO VELOCIDAD TÍPICA | TIEMPOS DEL MOTOR |
|----------------------|------------------------|-------------------|
| SSD | < 500 rpm | 2 |
| MSD | 500 a 1400 rpm | 4 |
| HSD | > 1400 rpm | 4 |

Antes de proceder a calcular el factor de emisión y las emisiones generadas para cada contaminante, se han determinado las tasas de consumo de combustible específico del freno (BSFC) para todas las embarcaciones, las cuales son necesarias para determinar el factor de emisión del material particulado y dióxido de azufre.

En la **Tabla 4** se presentan los valores para el factor de consumo de combustible.

Tabla 4: Factor de Consumo de Combustible Específico de Freno

| GRUPO DEL MOTOR | TIPO DE COMBUSTIBLE | TIPO DE MOTOR | BSFC (g/KWh) |
|---------------------|------------------------------|---------------|--------------|
| Motor de propulsión | Gasoil / Dieseloil (MGO/MDO) | SSD | 185 |
| | | MSD | 205 |
| | | ST | 300 |
| | | GT | 300 |
| | Fueloil (RM/HFO) | SSD | 195 |
| | | MSD | 215 |
| | | ST | 395 |
| | | GT | 395 |
| | Gas Natural Licuado (GNL) | GNL | 166 |

| GRUPO DEL MOTOR | TIPO DE COMBUSTIBLE | TIPO DE MOTOR | BSFC (g/KWh) |
|-----------------|------------------------------|---------------|--------------|
| Motor auxiliar | Gasoil / Dieseloil (MGO/MDO) | MSD | 217 |
| | | HD | 217 |
| | Fueloil (RM/HFO) | MSD | 217 |
| | | HSD | 217 |
| | Gas Natural Licuado (GNL) | GNL | 166 |

Las emisiones de material particulado (MP10 y MP2.5) y gases (NO_x, SO₂, COV_s, CO y NH₃) generadas por las naves se presentan a continuación.

La planilla de cálculo de la estimación de emisiones se adjunta en el **Anexo 2**.

5.1 Estimación de Emisiones de MP10 y MP2.5

5.1.1 Factor de Emisión de MP10 y MP2.5

Los factores de emisión de MP10 y MP2.5, para motores del tipo SSD y MSD, se ajustan de acuerdo con el contenido de azufre del combustible, debido que parte de este azufre se convierte en sulfatos, los cuales terminan siendo parte del material particulado. El factor de emisión de MP₁₀ ajustado para motores SSD y MSD se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$FE_{MP} = MP_{base} + (S_{comb} \times BSFC \times FSC \times MWR)$$

Donde

FE_{MP} : Factor de emisión de MP10 o MP2.5 ajustado para el azufre del combustible [g/kWh]

MP_{base} : Factor de emisión base asumiendo cero azufre en el combustible, donde:

Para combustible destilado (MGO y MDO), utilizar: **0,1545** [g/kWh]

Para combustible residual (RM y HFO), utilizar: **0,5761** [g/kWh]

S_{comb} : Contenido real de azufre en el combustible (relación de peso), donde:

Para la mayor parte de la actividad de las naves dentro de la zona de control de emisiones (ECA sigla en inglés), en 2015 y más allá, utilizar: **0,001**

Para toda actividad de las naves fuera de la zona de control de emisiones (ECA sigla en inglés), antes de 2020, utilizar: **0,027**

Para toda actividad de las naves fuera de la zona de control de emisiones (ECA sigla en inglés), en 2020 y más allá, utilizar: **0,005**

BSFC : Consumo de combustible específico del freno [g/kWh], de acuerdo con lo indicado en **Tabla 4**

FSC : Fracción de azufre en el combustible que se convierte en sulfato MP directo, utilizar el siguiente valor: **0.02247**

MWR : Relación entre el peso molecular sulfato MP y azufre, utilizar: **7 (224/32)**

Para todos los grupos de motor, los factores de emisión de MP_{2.5}, se calcularon como el **92% de los factores correspondientes al MP₁₀**. En la planilla de cálculo adjunta en el **Anexo 2**, se presentan los factores de emisión estimados para el material particulado.

5.1.2 Tasa de Emisión de MP10 y MP2.5

La tasa de emisión anual de material particulado (MP10 y MP2.5) se obtiene a partir del producto entre el factor de emisión y el nivel de actividad (producto entre la potencia del motor de la nave y el tiempo de operación del motor).

En la **Tabla 5** se presenta la tasa de emisión anual de MP10 generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Tabla 5: Tasa de Emisión mensual de MP10 Generadas por las Embarcaciones Marítimas Durante el año 2020

| MES | EMISIÓN MP10 [ton/año] |
|---------|------------------------|
| Enero | 2.57 |
| Febrero | 2.93 |
| Marzo | 2.88 |
| Abril | 2.47 |
| Mayo | 3.07 |
| Junio | 3.79 |
| Julio | 3.93 |
| Agosto | 1.72 |

| | |
|------------|------|
| Septiembre | 2.71 |
| Octubre | 1.66 |
| Noviembre | 1.37 |
| Diciembre | 1.94 |

En la **Tabla 6.** se presenta la tasa de emisión anual de MP_{2.5} generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Tabla 6: Tasa de Emisión mensual de MP_{2.5} Generadas por las Embarcaciones Marítimas Durante el año 2020

| MES | EMISIÓN MP _{2.5} [ton/año] |
|------------|--|
| Enero | 2.36 |
| Febrero | 2.69 |
| Marzo | 2.65 |
| Abril | 2.28 |
| Mayo | 2.82 |
| Junio | 3.49 |
| Julio | 3.62 |
| Agosto | 1.58 |
| Septiembre | 2.49 |
| Octubre | 1.53 |
| Noviembre | 1.26 |
| Diciembre | 1.79 |

5.2 Estimación de Emisiones de COV

5.2.1 Factor de Emisión de COV

Los factores de emisión de COV para las embarcaciones dependen del grupo y tipo de motor. En la **Tabla 7** se presentan los factores de emisión utilizados.

Tabla 7: Factor de Emisión para COV_s

| GRUPO MOTOR | TIPO DE MOTOR | FE COV [g/KWh] |
|-------------|---------------|----------------|
| Propulsión | SSD | 0.632 |
| | MSD | 0.527 |
| | ST | 0.105 |
| | GT | 0.105 |
| | GNL | 0.000 |
| Auxiliar | MSD | 0.421 |
| | HSD | 0.421 |
| | GNL | 0.000 |
| Caldera | Caldera | 0.105 |

En la planilla de cálculo adjunta en el Anexo 2, se presentan los factores de emisión estimados para los compuestos orgánicos volátiles.

5.2.2 Tasa de Emisión de COV

La tasa de emisión anual de COV se obtiene a partir del producto entre el factor de emisión y el nivel de actividad (producto entre la potencia del motor de la nave y el tiempo de operación del motor).

En la **Tabla 8** se presenta la tasa de emisión anual de COV generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Tabla 8: Tasa de Emisión mensual de COVs Generadas por las Embarcaciones Marítimas Durante el año 2020

| MES | EMISIÓN COVs [ton/año] |
|---------|------------------------|
| Enero | 4.24 |
| Febrero | 5.28 |
| Marzo | 4.94 |
| Abril | 4.86 |
| Mayo | 5.00 |
| Junio | 4.68 |
| Julio | 5.51 |

| | |
|------------|------|
| Agosto | 3.43 |
| Septiembre | 3.27 |
| Octubre | 2.67 |
| Noviembre | 1.74 |
| Diciembre | 2.04 |

5.3 Estimación de Emisiones de SO₂

5.3.1 Factor de Emisión de SO₂

Los factores de SO₂ se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación:

$$FE_{SO_2} = BSFC \times S_{comb} \times FSC \times MWR$$

Donde

FE_{SO₂} : Factor de emisión de SO₂ [g/kWh]

BSFC : Consumo de combustible específico del freno [g/kWh], calculado de acuerdo con lo indicado en **Tabla 4**.

S_{comb} : Contenido real de azufre en el combustible (relación de peso), donde:

Para la mayor parte de la actividad de las naves dentro de la zona de control de emisiones (ECA sigla en inglés), en 2015 y más allá, utilizar: **0,001**

Para toda actividad de las naves fuera de la zona de control de emisiones (ECA sigla en inglés), antes de 2020, utilizar: **0,027**

Para toda actividad de las naves fuera de la zona de control de emisiones (ECA sigla en inglés), en 2020 y más allá, utilizar: **0,005**

FSC : Fracción de azufre en el combustible que se convierte en SO₂, utilizar el siguiente valor: **0,97753**

MWR : Relación entre el peso molecular del SO₂ y azufre, utilizar: **2 (64/32)**

En la planilla de cálculo adjunta en el Anexo 2, se presentan los factores de emisión estimados para el dióxido de azufre.

5.3.2 Tasa de Emisión de SO₂

La tasa de emisión anual de SO₂ se obtiene a partir del producto entre el factor de emisión y el nivel de actividad (producto entre la potencia del motor de la nave y el tiempo de operación del motor).

En la **Tabla 9** se presenta la tasa de emisión anual de SO₂ generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Tabla 9: Tasa de Emisión mensual de SO₂ Generadas por las Embarcaciones Marítimas Durante el año 2020

| MES | EMISIÓN SO ₂ [ton/año] |
|------------|--------------------------------------|
| Enero | 3.79 |
| Febrero | 4.69 |
| Marzo | 4.34 |
| Abril | 4.43 |
| Mayo | 4.32 |
| Junio | 4.25 |
| Julio | 4.78 |
| Agosto | 3.00 |
| Septiembre | 2.87 |
| Octubre | 2.29 |
| Noviembre | 1.48 |
| Diciembre | 1.70 |

5.4 Estimación de Emisiones de NO_x

5.4.1 Factor de Emisión de NO_x

Los factores de emisión de los NO_x dependen del grupo de motor, tipo de combustible y la tecnología del motor, la cual varía según el año de construcción de la quilla. En la **Tabla 10** se presentan los factores de emisión utilizados.

Tabla 10: Factor de Emisión para NO_x

| GRUPO DE MOTOR | TIPO DE COMBUSTIBLE | TECNOLOGÍA | TIPO DE MOTOR | FE NO _x [g/KWh] | |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|-----|
| Motor de propulsión | Gasoil / Dieseloil (MGO/MDO) | Cualquiera | ST | 2.0 | |
| | | | GT | 5.7 | |
| | | 1999 y antes | SSD | 17.0 | |
| | | | MSD | 13.2 | |
| | | 2000-2010 (Tier I) | SSD | 16.0 | |
| | | | MSD | 12.2 | |
| | | 2011-2015 (Tier II) | SSD | 14.4 | |
| | | | MSD | 10.5 | |
| | | 2016 en adelante (Tier III) | SSD | 3.4 | |
| | | | MSD | 2.6 | |
| | | Fueloil (RM/HFO) | Cualquiera | ST | 2.1 |
| | | | | GT | 6.1 |
| | 1999 y antes | | SSD | 18.1 | |
| | | | MSD | 14.0 | |
| | 2000-2010 (Tier I) | | SSD | 17.0 | |
| | | | MSD | 13.0 | |
| | 2011-2015 (Tier II) | | SSD | 15.3 | |
| | | | MSD | 11.2 | |
| 2016 en adelante (Tier III) | SSD | | 3.4 | | |
| | MSD | | 2.6 | | |
| Gas Natural Licuado (GNL) | Cualquiera | GNL | 1.3 | | |
| Motor de auxiliar | Gasoil / Dieseloil (MGO/MDO) | 1999 y antes | MSD | 10.9 | |
| | | | HSD | 13.8 | |
| | | 2000-2010 (Tier I) | MSD | 9.8 | |
| | | | HSD | 12.2 | |
| | | 2011-2015 (Tier II) | MSD | 7.7 | |
| | | | HSD | 10.5 | |
| | | 2016 en adelante (Tier III) | MSD | 2.0 | |
| | | | HSD | 2.6 | |
| | Fueloil (RM/HFO) | 1999 y antes | MSD | 14.7 | |
| | | | HSD | 11.6 | |

| GRUPO DE MOTOR | TIPO DE COMBUSTIBLE | TECNOLOGÍA | TIPO DE MOTOR | FE NO _x [g/KWh] |
|----------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------------|
| | | 2000-2010 (Tier I) | MSD | 13.0 |
| | | | HSD | 10.4 |
| | | 2011-2015 (Tier II) | MSD | 11.2 |
| | | | HSD | 8.2 |
| | | 2016 en adelante (Tier III) | MSD | 2.0 |
| | | | HSD | 2.6 |
| | Gas Natural Licuado (GNL) | Cualquiera | GNL | 1.3 |
| Caldera | Gasoil / Dieseloil (MGO/MDO) | Cualquiera | Boiler | 2.0 |
| | RM/HF Fueloil (RM/HFO) | | | 2.1 |

En la planilla de cálculo adjunta en el Anexo 2, se presentan los factores de emisión estimados para los óxidos de nitrógeno (NO_x)

5.4.2 Tasa de Emisión de NO_x

La tasa de emisión anual de NO_x se obtiene a partir del producto entre el factor de emisión y el nivel de actividad (producto entre la potencia del motor de la nave y el tiempo de operación del motor).

En la **Tabla 11** se presenta la tasa de emisión anual de NO_x generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Tabla 11: Tasa de Emisión mensual de NO_x Generadas por las Embarcaciones Marítimas Durante el año 2020

| MES | EMISIÓN XO _x [ton/año] |
|---------|-----------------------------------|
| Enero | 68.17 |
| Febrero | 91.03 |
| Marzo | 79.75 |
| Abril | 87.22 |

| | |
|------------|-------|
| Mayo | 79.69 |
| Junio | 74.18 |
| Julio | 99.31 |
| Agosto | 61.83 |
| Septiembre | 63.89 |
| Octubre | 42.66 |
| Noviembre | 34.19 |
| Diciembre | 33.36 |

5.5 Estimación de Emisiones de CO

5.5.1 Factor de Emisión de CO

Los factores de emisión de CO dependen del grupo del motor y tipo de motor. En la **Tabla 12** se presentan los factores de emisión utilizados.

Tabla 12: Factor de Emisión para CO

| GRUPO MOTOR | TIPO DE MOTOR | FE CO [g/KWh] |
|-------------|---------------|---------------|
| Propulsión | SSD | 1.4 |
| | MSD | 1.1 |
| | ST | 0.2 |
| | GT | 0.2 |
| | GNL | 1.3 |
| Auxiliar | MSD | 1.1 |
| | HSD | 0.9 |
| | GNL | 1.3 |
| Caldera | Caldera | 0.2 |

En la planilla de cálculo adjunta en el Anexo 2, se presentan los factores de emisión estimados para el monóxido de carbono (CO).

5.5.2 Tasa de Emisión de CO

La tasa de emisión anual de CO se obtiene a partir del producto entre el factor de emisión y el nivel de actividad (producto entre la potencia del motor de la nave y el tiempo de operación del motor).

En la **Tabla 13** se presenta la tasa de emisión anual de CO generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Tabla 13: Tasa de Emisión mensual de CO Generadas por las Embarcaciones Marítimas Durante el año 2020

| MES | EMISIÓN CO [ton/año] |
|------------|----------------------|
| Enero | 10.66 |
| Febrero | 13.29 |
| Marzo | 12.40 |
| Abril | 12.28 |
| Mayo | 12.45 |
| Junio | 11.90 |
| Julio | 13.68 |
| Agosto | 8.56 |
| Septiembre | 8.19 |
| Octubre | 6.64 |
| Noviembre | 4.36 |
| Diciembre | 5.05 |

5.6 Estimación de Emisiones de NH₃

5.6.1 Factor de Emisión de NH₃

Los factores de emisión de Amoníaco (NH₃), se calculan a partir del factor de MP2.5, siendo el amoníaco una fracción de 0.019247 del factor de emisión del MP2.5, como se muestra en la siguiente ecuación

$$FE_{NH_3} = FE_{MP2.5} \cdot 0.019247$$

Donde

FE_{NH₃} : Factor de Emisión de NH₃ [g/KWh]

En la planilla de cálculo adjunta en el Anexo 2, se presentan los factores de emisión estimados para el amoníaco (NH₃)

5.6.2 Tasa de Emisión de NH₃

La tasa de emisión anual de NH₃ se obtiene a partir del producto entre el factor de emisión y el nivel de actividad (producto entre la potencia del motor de la nave y el tiempo de operación del motor).

En la **Tabla 14** se presenta la tasa de emisión anual de NH₃ generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Tabla 14: Tasa de Emisión mensual de NH₃ Generadas por las Embarcaciones Marítimas Durante el año 2020

| MES | EMISIÓN NH ₃ [ton/año] |
|------------|--------------------------------------|
| Enero | 0.04 |
| Febrero | 0.05 |
| Marzo | 0.05 |
| Abril | 0.04 |
| Mayo | 0.05 |
| Junio | 0.06 |
| Julio | 0.06 |
| Agosto | 0.03 |
| Septiembre | 0.04 |
| Octubre | 0.03 |
| Noviembre | 0.02 |
| Diciembre | 0.03 |

5.7 Resumen Tasas de Emisión

El total de las emisiones anuales generadas por las embarcaciones marítimas durante el año 2020, se presentan en la **Tabla 15** para cada contaminante.

Tabla 15: Tasa de Emisión Anual Embarcaciones año 2020

| PARÁMETRO | EMISIÓN [ton/año] |
|-------------------|----------------------|
| MP ₁₀ | 31.04 |
| MP _{2.5} | 28.55 |
| COV _s | 47.65 |
| SO ₂ | 41.93 |
| NO _x | 815.28 |
| CO | 119.47 |
| NH ₃ | 0.51 |

6. CONCLUSIONES

Respecto a la estimación de las emisiones generadas por las embarcaciones marítimas en la Bahía de Quintero durante el año 2020, se puede concluir lo siguiente:

- Se realizó una caracterización de las naves marítimas que ingresaron durante el año 2020 a la Bahía de Quintero, identificando la potencia y tipo de motor (principal y auxiliar), además combustible utilizado. Para las naves que no contaban con su ficha técnica, se realizó una homologación con el objeto de obtener los datos requeridos para el cálculo y estimación de sus emisiones, considerando tres factores: largo, ancho y peso muerto de la nave. Para ello se verificó que el límite de influencia no superara el 12%. Además, se identificó el tiempo de operación del motor principal y auxiliar de cada nave registrada.
- Se realizó la estimación de emisiones generadas por las embarcaciones, determinando una emisión de **31.04** [ton/año] de **MP₁₀**, **28.55** [ton/año] de **MP_{2.5}**, **47.65** [ton/año] de **COV_s**, **41.93** [ton/año] de **SO₂**, **815.28** [ton/año] de **NO_x**, **119.47** [ton/año] de **CO** y **0.51** [ton/año] de **NH₃**.
- Finalmente, de acuerdo con los antecedentes obtenidos, se evidenció que las naves que ingresaron a la Bahía de Quintero cuentan con el “Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación Atmosférica (IAAP)” y también el “Certificado de NO_x (EIAPP)”, asociado a cada uno de los motores diésel marinos (buques construidos después del año 2000). Lo anterior, objeto de dar cumplimiento a las exigencias del Anexo VI “Reglas para Prevenir la Contaminación Ocasionada por los Buques” del convenio MARPOL.

7. REFERENCIAS

U.S.EPA, 2020. *Ports Emissions Inventory Guidance: Methodologies for Estimating Port-Related and Good*

Abrego, J., 2014. El transporte marítimo en el comercio: Contribuciones a la Economía.

Cooper, D., Gustafsson, T., 2004. Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors. Norrköping. Suecia.

Cortés del Pino, A., 2014. Proceso de Refino del Petróleo para la obtención de combustibles marinos. Barcelona.

8. EQUIPO DE TRABAJO

- ❖ Luis Díaz Robles, Doctor en Ingeniería y profesor titular Universidad de Santiago de Chile.
- ❖ Valeria Campos, Ingeniero de proyectos senior
- ❖ Felipe Allende Ortiz, Ingeniero de proyectos
- ❖ Personal de Medio Ambiente Capitanía de Puerto de Quintero
- ❖ Claudio Pérez E, Ingeniero Químico, Gerente Técnico SERPRAM S.A.

ANEXO 1: EJEMPLO DE CÁLCULO

En el documento adicional entregado junto al Inventario de Emisiones llamado “*Anexo N°1 Ejemplos de Cálculo*”, se presenta el detalle para cada uno de los contaminantes objetivos (NO_x, COV, MP₁₀, MP_{2.5}, SO₂, CO y NH₃), tomando como base uno de los tipos de naves que hicieron ingreso a la Bahía de Quintero durante el año 2020.

Cabe señalar que, se hace entrega de todas las planillas de cálculo utilizadas para la estimación de emisiones, cuyas formulas son las mismas descritas en el documento “*Guía Inventario de Emisiones Naves en Bahía Quintero Ed.6*”.

ANEXO 2: PLANILLAS DE CÁLCULO

Estos registros se adjuntan en planillas Excel (archivos.xls), para mejor revisión de cada uno de los cálculos realizados para la estimación de emisiones año 2020 en las naves que ingresaron a la Bahía de Quintero.

ANEXO 3: FICHAS TÉCNICAS

Se adjuntan los registros digitales para cada una de las fichas que se pudieron obtener, así como la información recopilada desde la plataforma Marine Traffic.

ANEXO 4: DOCUMENTACIÓN

En este Anexo se encuentra la información proporcionada mes a mes de las naves que ingresaron a la Bahía de Quintero durante el año 2020, junto con planillas Excel con los antecedentes para el cálculo de emisiones y las faenas de practicaje.