

ESTUDIO: LEVANTAMIENTO DE ANTECEDENTES PARA ELABORACIÓN DE UNA GUIA DE MODELACIÓN DE OLORES

Informe entrega 1.0



Solicitante:
SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE
R.U.T.: 61.979.930-5
Dirección: San Martín 73, Santiago
Contacto: Daniela Caimanque F. / Jessica Salas Teléfono: 56-2-2240 5600

Realizado por:
The Synergy Group SpA.
R.U.T.: 96.767.690-k
Dirección: Cordillera 311 C-9, Santiago, Chile
Arturo Prat 199. Torre A, oficina 1401. Concepción. Teléfono: 56-41-383 3978
E-Mail: info@tsgenviro.com
Página Web: www.tsgenvironmental.com

Santiago, diciembre 2022.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
GLOSARIO.....	5
RESUMEN EJECUTIVO.....	12
1 CAPITULO I: RECOPIACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA LA MODELACIÓN DE OLORES – HANDBOOK ON THE ASSESSMENT OF ODOUR EXPOSURE BY USING DISPERSION MODELLING.....	14
1.1 Proceso de evaluación de impacto por olores.....	14
1.2 Aplicación de modelos meteorológicos en herramientas avanzadas de dispersión atmosférica.....	17
1.2.1 Aplicabilidad de modelos de estado estacionario y no estacionarios.....	19
1.2.2 Campo de aplicación de modelos simples.....	23
1.3 Criterios de selección de información meteorológica observada.....	26
1.3.1 Periodo meteorológico.....	27
1.3.2 Representatividad de estación meteorológica.....	28
1.3.3 Estándar de instalación de la estación meteorológica.....	28
1.3.4 Validación de registros meteorológicos.....	29
1.3.5 Registros meteorológicos horarios y subhorarios.....	30
1.3.6 Tratamiento de datos faltantes.....	31
1.3.7 Aplicabilidad de meteorología de pronóstico.....	31
1.4 Análisis de incertidumbre.....	34
1.4.1 Estimación de incertidumbre del modelo meteorológico.....	34
1.5 Parametrización del modelo.....	39
1.5.1 Caracterización de datos geofísicos.....	39
1.5.2 Aplicabilidad de flujo descendente (building downwash).....	39
1.5.3 Consideraciones en la determinación de la tasa de emisión.....	40
1.5.4 Caracterización de línea base de olor.....	41
1.6 Estimación y cuantificación de impacto odorante.....	41
1.6.1 Cuantificación de la sumatoria de los impactos (efecto sinérgico).....	41
1.6.2 Validación del modelo.....	43
1.7 Metodologías, protocolos y/o herramientas relacionadas en forma directa e indirecta con la evaluación, modelación y gestión de olores.....	45
1.7.1 Salida Dosis-Respuesta – Protocolo FIDOS.....	45
1.7.2 Calcular el impacto de los olores equilibrando el tono hedónico de múltiples fuentes.....	51
1.7.3 Cálculo del impacto por olores de fuentes intermitentes y receptores no estáticos.....	53
1.7.4 Cálculo del impacto de los olores mediante el uso de trazadores.....	55
1.7.5 Modelación inversa, retro trayectorias y modelación en tiempo real.....	55
1.8 Reportabilidad de estudios de modelación de la dispersión de olores.....	64
1.8.1 Introducción/Resumen Ejecutivo.....	64
1.8.2 Requisitos normativos.....	65
1.8.3 Descripción del proyecto.....	65
1.8.4 Selección y desarrollo de modelos.....	66
1.8.5 Criterios de evaluación del impacto por olores - Criterios de elaboración de datos.....	67
1.8.6 Resultados.....	68
2 CAPITULO II: RECOPIACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA LA MODELACIÓN DE OLORES – REFERENCIAS INTERNACIONALES.....	69
2.1 Proceso de evaluación de impacto por olores.....	71
2.2 Criterios de selección de modelos avanzados de dispersión atmosférica.....	73
2.2.1 Aplicabilidad de modelos de estado no estacionarios.....	75
2.2.2 Condiciones de terreno simple y terreno complejo.....	76
2.2.3 Campo de aplicación de modelos simples.....	77
2.3 Criterios de selección de información meteorológica observada.....	78
2.3.1 Periodo meteorológico.....	78
2.3.2 Representatividad de estación meteorológica.....	78
2.3.3 Aseguramiento de la calidad de los registros meteorológicos.....	80
2.3.4 Validación de registros meteorológicos.....	81

2.3.5	Conversión de registros meteorológicos subhorarios	83
2.3.6	Frecuencia de vientos calmos y tratamiento de datos faltantes.....	83
2.3.7	Aplicabilidad de meteorología de pronóstico.....	84
2.4	Análisis de incertidumbre	85
2.4.1	Incertidumbre del proceso de modelación.....	85
2.4.2	Estimación de incertidumbre del modelo meteorológico	87
2.5	Parametrización del modelo.....	89
2.5.1	Caracterización de datos geofísicos.....	90
2.5.2	Caracterización de receptores discretos	90
2.5.3	Aplicabilidad de grilla de receptores.....	91
2.5.4	Aplicabilidad de flujo descendente (building downwash)	92
2.5.5	Consideraciones en la determinación de la tasa de emisión	93
2.5.6	Caracterización de línea base de olor	95
2.6	Estimación y cuantificación de impacto odorante	96
2.6.1	Cuantificación de la sumatoria de los impactos (efecto sinérgico).....	96
2.6.2	Cuantificación de impacto por olores	97
3	CAPITULO III: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE MODELACIÓN DE OLORES SEGÚN CONTEXTO NACIONAL	99
3.1	Caracterización meteorológica.....	100
3.1.1	Información meteorológica observada	100
3.2	Caracterización de fuentes y emisiones de olor	101
3.2.1	Calidad de la información de entrada.....	103
3.2.2	Fuentes de emisión de alta variabilidad (estacional)	104
3.3	Análisis de incertidumbre	105
3.3.1	Criterios de ajuste en parametrización de modelo meteorológico	105
3.3.2	Criterios de selección de estación observada	105
3.3.3	Ajuste del modelo mediante factor de corrección.....	106
3.4	Parametrización del modelo.....	107
3.4.1	Grilla de receptores	107
3.4.2	Caracterización de línea base de olor	107
3.5	Estimación y cuantificación de impacto odorante	109
3.5.1	Cuantificación de la sumatoria de los impactos (efecto sinérgico).....	109
3.6	Plan de seguimiento.....	110
4	CAPITULO IV: LINEAMIENTOS DE MODELACIÓN DE OLORES.....	113
4.1	Proceso de modelación de olores.....	113
4.2	Información meteorológica	113
4.3	Modelos de dispersión	117
4.4	Caracterización de fuentes y emisiones odorantes	119
4.5	Parametrización del modelo de dispersión	121
4.6	Análisis de incertidumbre	123
4.7	Estimación y cuantificación de impacto	125
5	CAPITULO IV: CONCLUSIONES	128
6	BIBLIOGRAFIA.....	131

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1	– Características que pueden afectar la modelación de dispersión de olor según tipo de modelo	22
Tabla 2	– Indicadores estadísticos para evaluar el desempeño de las variables meteorológica pronosticada ...	35
Tabla 3	– Indicadores de desempeño para variables atmosféricas relevantes	89
Tabla 4	– Criterios propuestos – Información meteorológica de entrada al modelo (parte 1 de 2)	114
Tabla 5	– Criterios propuestos – Información meteorológica de entrada al modelo (parte 2 de 2)	115
Tabla 6	– Criterios propuestos – Parámetros del modelo de pronóstico (parte 1 de 2)	116
Tabla 7	– Criterios propuestos – Selección del modelo (parte 1 de 2)	117
Tabla 8	– Criterios propuestos – Selección del modelo (parte 2 de 2)	118
Tabla 9	– Criterios propuestos – Parámetros del modelo de dispersión (parte 1 de 2).....	119
Tabla 10	– Criterios propuestos – Parámetros del modelo de dispersión (parte 1 de 2).....	122

Tabla 11 – Criterios propuestos – Evaluación de desempeño del modelo de pronóstico (parte 1 de 2)	123
Tabla 12 – Criterios propuestos – Evaluación de desempeño del modelo de pronóstico (parte 2 de 2)	124
Tabla 13 – Criterios propuestos – Efectos acumulativos (parte 1 de 2)	126
Tabla 14 – Criterios propuestos – Cuantificación de impactos (parte 1 de 2)	127

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 – Evaluación gráfica de series de tiempo pronóstico y observada	36
Figura 2 – Evaluación gráfica de distribución espacial de campos de vientos	36
Figura 3 – Evaluación gráfica de correlación entre vientos de pronóstico y observados	37
Figura 4 – Evaluación gráfica de rosas de viento entre datos de pronóstico y observados	37
Figura 5 – Evaluación gráfica de gráfico de dispersión de velocidad del viento.....	38
Figura 6 – Relación logarítmica entre la intensidad y la concentración	47
Figura 7 – Extensión de la pluma y concentración odorante modelada	57
Figura 8 – Ángulo de influencia entre fuente y receptor.....	59
Figura 9 – Rosa de los vientos (izquierda) y Rosa de polución (derecha) de un mismo sitio	60

GLOSARIO

Término	Definición	Fuente
Albedo	El albedo es la cantidad de radiación solar que es reflejada por una superficie, y suele expresarse como un porcentaje o un valor decimal. En general, el albedo es una medida de la reflectividad de la superficie de la Tierra.	[4]
Altura de mezcla	La altura de mezcla se define como la altura de la capa adyacente al suelo sobre la que un trazador inerte no boyante emitido o arrastrado se mezclará (por turbulencia) en una escala de tiempo de aproximadamente una hora o menos. Parte Superior de la capa de mezcla. Determina el alcance vertical del proceso de dispersión de los contaminantes liberados debajo de ella.	[4], [8]
BPIPPRM	Programa para la reducción de las emisiones de los edificios (PRIME Building Downwash). Modelo normativo de la EPA de Estados Unidos.	[4]
CALMET	Modelo meteorológico de diagnóstico. Simula campos de viento, temperaturas y otras variables meteorológicas (datos observados o de pronóstico), conteniendo análisis y tratamientos parametrizados para efectos de terreno (tierra y agua) en un dominio de modelación tridimensional.	[4], [7]
CALPOST	Modelo de postprocesamiento de CALPUFF. Módulo de visualización que permite el procesamiento de los datos de salida de CALPUFF, según los percentiles definidos en el modelo de entrada.	[4], [7]
CALPUFF	Modelo lagrangiano de dispersión de puff no estacionario. Es capaz de representar el transporte y dispersión de contaminantes sobre una base de campos de viento construido con Calmet. El modelo evalúa la contribución de un "puff" en la concentración atmosférica de una especie de interés sobre un receptor, en un instante determinado.	[4], [7]
CFD	Modelos de dinámica de fluidos computacional (los modelos de ejemplo son: WRF-CFD, Open Foam, Code_Saturne, FLOW-3D, FLUENT).	[4]
Concentración de olores	La concentración de una mezcla odorante se define como el factor de dilución que debe aplicarse a un efluente para que deje de ser percibido como odorante por el 50% de las personas de una muestra de la población. La concentración de olor en el límite de detección es, por definición, de 1 [ouE/m ³]. Número de unidades de olor europeas en un metro cúbico de gas en condiciones normales.	[4], [6]
CTDMPLUS	Un modelo de pluma gaussiano de estado estacionario de la EPA de Estados Unidos. Desarrollado para condiciones convectivas. Es un modelo de penacho gaussiano refinado.	[4]

Término	Definición	Fuente
Dirección del viento	La dirección del viento se define generalmente como la orientación del vector del viento en la dirección horizontal. La dirección del viento para fines meteorológicos se define como la dirección desde la que sopla el viento, y se mide en grados en el sentido de las agujas del reloj desde el norte verdadero. La dirección del viento determina la dirección de transporte de un penacho o bocanada en las aplicaciones de modelización de la calidad del aire.	[4]
Duración	La duración de la ocurrencia del olor es el tiempo que un individuo está expuesto al olor en el ambiente.	[4]
Enfoque gaussiano	Un modelo gaussiano asume una distribución normal bidimensional de la concentración en las direcciones vertical y de viento cruzado, centrada en torno al eje a favor del viento desde la fuente puntual.	[4]
EPA	Autoridad de protección del medio ambiente. Se utiliza en el término general para aplicar a más de un país	[4]
Escenario de modelación	Conjunto de variables que conforman los datos de entrada (input) para un modelo y que en su combinación representan una condición específica de operación o emisión.	[7]
Estabilidad atmosférica	La estabilidad atmosférica está relacionada con la fuerza del movimiento vertical del aire. El movimiento vertical del aire, o estabilidad atmosférica, se ve afectado directamente por los sistemas de alta y baja presión que elevan el aire sobre el terreno y lo mezclan con la atmósfera superior. Los mecanismos que son específicamente responsables del movimiento vertical del aire son la temperatura y la presión atmosférica.	[4]
Estación superficial	Conjunto de instrumentos destinados a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.	[7]
Flujo de calor antropogénico	Medición del calor liberado por las estructuras artificiales	[4]
Frecuencia	La frecuencia de ocurrencia de los olores es la cantidad de veces en la que un individuo está expuesto a los olores en el ambiente.	[4]
Fuente Difusa	Fuentes con dimensiones definidas (mayoritariamente fuentes superficiales) que no tienen un flujo de gas residual definido.	[5]
Fuente Fugitiva	Fuentes esquivas o de difícil identificación que liberan cantidades indefinidas de sustancias olorosas (por ejemplo, fugas de válvulas y juntas, aperturas de ventilación pasiva, otros.).	[5]
Fuente Puntual	Fuente estacionaria discreta, de emisión de gases a la atmósfera a través de conductos, de dimensión y caudal de aire definidos (por ejemplo: chimeneas, ventosas, otros.).	[5]
Grilla	Subdivisión de un dominio de modelación. Define la resolución utilizada en un modelo en base a la dimensión de cada celda.	[7]
Humedad	La humedad es un término general relacionado con la cantidad de humedad en el aire.	[4]

Término	Definición	Fuente
Impacto de olor	Impacto de olor: Acción de sustancias odoríferas sobre las personas. Nota: Se puede describir por la frecuencia, duración, calidad, intensidad y acción hedónica de concentraciones de olores a partir de un umbral de reconocimiento en terreno (ver VDI 3940/1).	[2]
Inmisión de Olor	Es el impacto de olor en el ser humano (olores en el aire ambiente). Ellos pueden ser descritos en términos de frecuencia, duración, calidad (tipo), intensidad y disgusto subjetivo (efecto hedónico) de las concentraciones de olores por encima del umbral de olor.	[5]
Intensidad	La intensidad con la que se percibe un olor. La intensidad del olor describe la magnitud relativa de la sensación de olor que experimenta una persona.	[4]
Isolínea	Línea que conecta concentraciones de igual valor de una especie.	[7]
Lavado descendiente en la parte superior de la chimenea (Stack Tip Downwash)	El lavado descendiente de la parte superior de la chimenea (STD) es la captación del penacho en la parte de viento descendente de una chimenea cercana a ella. Se produce cuando la relación entre la velocidad de salida y la velocidad del viento a la altura de la chimenea es inferior a 1,5 [m/s]. El STD es más pronunciado en las chimeneas de gran diámetro.	[4]
Malestar (Annoyance)	El complejo de reacciones humanas que se produce como resultado de una exposición inmediata a un estresor ambiental (olor) que, una vez percibido, provoca una valoración cognitiva negativa que requiere de un grado de afrontamiento. NOTA: El malestar (annoyance) puede o no dar lugar a una "molestia" (nuisance) y a una acción de denuncia.	[4]
Máxima al promedio (Peak to mean)	Es la relación entre la concentración de olor a corto plazo y a largo plazo. El corto plazo se refiere normalmente a unos segundos hasta unos minutos, mientras que el largo plazo se refiere principalmente a una hora.	[4]
Meteorología pronóstico	Datos meteorológicos obtenidos a partir de un modelo de predicción que integran información meteorológica tridimensional, abarcando varias capas verticales a una resolución determinada sobre un dominio especificado.	[7]
Meteorología superficial	Registros de parámetros meteorológicos medidos por una estación superficial.	[7]
MM5	Modelo de mesoescala PSU/NCAR, ahora sustituido por el WRF	[4]
Modelo / Modelización odorante	Herramienta de pronóstico aplicada en la evaluación de impacto odorífero, que incluye las ecuaciones que describen la relación entre la concentración de olor de una zona, con la tasa de emisión de una instalación, y los factores que afectan a la dispersión y la dilución atmosférica.	[7]
Modelo de dispersión (matemático)	Modelo de dispersión (matemático): Método para el cálculo de la distribución de la concentración ambiental de un odorante emitido desde un fuente con una tasa de flujo conocida o dada.	[1]

Término	Definición	Fuente
Modelo lagrangiano	El enfoque lagrangiano trata con partículas individuales y calcula la trayectoria de cada partícula por separado, mientras que el enfoque euleriano trata con concentraciones de partículas y calcula la difusión y convección general de varias partículas. Ideal para transformaciones químicas.	[4]
Modelo WRF	El Modelo Weather Research and Forecasting (WRF) es un sistema de predicción numérica del tiempo de mesoescala de última generación diseñado para aplicaciones tanto de investigación atmosférica como de pronóstico operativo. El modelo sirve para una amplia gama de aplicaciones meteorológicas en escalas que van desde decenas de metros hasta miles de kilómetros.	[9]
Modelos eulerianos	Los modelos eulerianos son similares a los lagrangianos, con la excepción de que utilizan una cuadrícula de referencia fija, a diferencia de la cuadrícula móvil del modelo lagrangiano. Ambos modelos siguen el movimiento de la contaminación a lo largo del tiempo, pero el modelo euleriano observa una cuadrícula fija a medida que el penacho pasa.	[4]
Niveles de ETA	El modelo WRF utiliza niveles verticales de ETA. Una coordenada vertical para modelos atmosféricos definida con una representación escalonada de la topografía	[4]
Ofensividad	El carácter relacionado con el “tono hedónico” del olor, que puede ser agradable, neutro o desagradable.	[4]
Olfatometría	Medición de la respuesta de los panelistas a estímulos olfativos.	[5]
Olfatometría Dinámica	Olfatometría que usa un olfatómetro dinámico.	[5]
Olor	Propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias volátiles.	[5]
Olor compuesto	Es el que se percibe como consecuencia de la mezcla de más de un olor simple.	[5]
Olor Simple	Es el que percibe el olfato como consecuencia de la emisión de un compuesto químico o sustancia olorosa determinada.	[5]
Parámetros meteorológicos	Variables atmosféricas medibles, ejemplo velocidad, dirección de viento, temperatura, humedad, entre otras.	[7]
Peak to Mean	Corresponde a una fórmula simple para estimar la intensidad de la concentración de olor en periodos de tiempos de corta escala	[4]
Percentil	Es una medida estadística de posición no central, que representa los valores de cierta variable que están por debajo de un porcentaje, el cual puede ser un valor de 1% a 100% (en otras palabras, el total de los datos es dividido en 100 partes iguales). Se representa con la letra P y los más utilizados son el percentil 99.5 y 98. Dentro de un modelo de dispersión un percentil representa la excedencia permitida.	[7]
Percepción	Tomo de conciencia del efecto de un estímulo sensorial simple o complejo.	[7]

Término	Definición	Fuente
Perfiles de percepción	Caracterización de un periodo de tiempo en el cual un receptor sensible evidencia probabilidad de percepción de una emisión bajo un criterio de calidad determinado. Puede ser expresado como el número de horas del mes o del año que excede un criterio definido.	[7]
Predominio de vientos	Condición determinada por vientos que proceden con mayor frecuencia desde una dirección más que desde otra.	[7]
PRIME	Algoritmo de cálculo del lavado descendente por edificios. Desarrollado por la empresa EPRI	[4]
Proceso de dispersión odorante	Proceso de dispersión odorante: Corresponde a la liberación de odorantes desde una fuente localizada espacialmente (emisión) y son transportados por el aire ambiente (transmisión). En zona que rodea la fuente, la distribución de las concentraciones odorantes tienen variaciones espaciales y temporales.	[1]
Receptores	Punto de interés dentro del dominio de modelación, donde se evalúa el grado de percepción de las emisiones de una o más fuentes de una instalación en estudio. Un receptor podría representar una población, escuela, hospital, parque, flora, fauna, plantaciones agrícolas, entre otros.	[7]
Receptores	Punto de interés dentro del dominio de modelación, donde se evalúa el grado de percepción de las emisiones de una o más fuentes de una instalación en estudio. Un receptor podría representar una población, escuela, hospital, parque, flora, fauna, plantaciones agrícolas, entre otros.	[7]
Relación Bowen	La relación entre las densidades del flujo de calor sensible y del flujo de calor latente.	[4]
Representatividad	La representatividad se ha definido como "el grado en que un conjunto de mediciones tomadas en un dominio espacio-temporal refleja las condiciones reales en el mismo o de un dominio espacio-temporal diferente, bajo una escala apropiada para su aplicación específica".	[10]
Rosas de viento	Diagrama con líneas radiales la cuales muestran la frecuencia e intensidad de vientos desde cada dirección para un lugar determinado.	[7]
Sensibilidad	Sensibilidad (de las personas a los olores en un entorno): sensación y respuestas emocionales de las personas a una ambiente oloroso en un momento de su vida/vida diaria y el lugar donde se percibe el olor.	[4]
Sentido	Vector que indica hacia dónde va el viento.	[7]
Tasa de emisión	Cociente de masa, volumen u olor de una sustancia emitida y en el tiempo.	[3]

Término	Definición	Fuente
Terreno complejo	Se refiere a cualquier lugar en el que los efectos del terreno sobre las mediciones meteorológicas puedan ser significativos. Los efectos del terreno incluyen estelas aerodinámicas, flujos de pendiente impulsados por la densidad, canalización, aceleraciones del flujo sobre la cresta de las características del terreno, entre otros. Estos flujos afectan principalmente a las mediciones de la velocidad y la dirección del viento, aunque también pueden verse afectadas las mediciones de la temperatura y la humedad. Para las aplicaciones de modelización de la dispersión reglamentaria, la importancia se determina comparando la altura de la chimenea y/o la altura estimada del penacho con la altura del terreno: el terreno que está por debajo de la chimenea se clasifica como terreno simple, el terreno entre la altura de la chimenea y la altura del penacho se clasifica como terreno intermedio, y el terreno que está por encima de la altura del penacho se clasifica como terreno complejo	[10]
Terreno simple	Se refiere a cualquier lugar en el que los efectos del terreno sobre las mediciones meteorológicas no son significativos. Para las aplicaciones de modelización de la dispersión reglamentaria, la importancia se determina comparando la altura de la chimenea con la altura del terreno: el terreno que está por debajo de la chimenea se clasifica como terreno simple.	[10]
Topografía	La topografía es simplemente la representación de las características de la superficie como montañas, colinas, ríos y valles.	[4]
Turbulencia atmosférica	Termino genérico para un gran número de movimientos estocásticos de diferentes magnitudes con características de extensión y duración que pueden variar desde fracciones de centímetros a miles de metros o desde segundos a varios días.	[1]
Unidad de Olor	Una unidad de olor es la cantidad de (una mezcla de) sustancias olorosas presentes en un metro cúbico de gas oloroso (en condiciones normales) en el umbral del panel.	[6]
Unidad de Olor Europea	Cantidad de sustancia(s) olorosa(s) que, cuando se evapora en 1 metro cúbico de un gas neutro en condiciones normales, origina una respuesta fisiológica de un panel (umbral de detección) equivalente al que origina una Masa de Olor de Referencia Europea (MORE) evaporada en un metro cúbico de un gas neutro en condiciones normales.	[5]
Vientos calmos	Vientos caracterizados por tener una velocidad menor a 1 nudo o menos de 0,5 [m/s].	[7]

- [1] VDI 3788 – Environmental meteorology Dispersion of odorants in the atmosphere – Fundamentals.
- [2] NCh 3387 – Calidad del aire – Evaluación de la molestia por olores – Encuesta.
- [3] NCh 3431/1 - Determinación de emisiones difusas por mediciones — Parte 1: Conceptos básicos
- [4] Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling.
- [5] Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA, 2017.
- [6] NCh 3190 – Calidad del aire – Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica.
- [7] Air Quality Dispersion Modeling – Related Model Support Programs, EPA.
- [8] Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, 2012.
- [9] NCAR Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory.
- [10] Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications, EPA.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe fue preparado por Envirometrika, departamento de consultoría de TSG Environmental, para el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, con el objetivo de levantar antecedentes relevantes del proceso de modelación de olores que servirán de insumo para establecer criterios técnicos asociados a la modelación de olores en el marco del SEIA. La información recopilada contempló la revisión sistemática de documentos internacionales, cuya aplicación se enmarca en la evaluación ambiental de olores, donde se abordan las distintas etapas que conforman el proceso de modelación desde la selección del modelo de dispersión hasta cuantificación y evaluación de impactos por olores.

De los documentos internacionales consultados, se realizó un análisis de los principales requerimientos técnicos y metodológicos aplicados en modelación de olores, centrándose en el cumplimiento de buenas prácticas de modelación y en el aseguramiento de la calidad de la información de entrada al modelo de dispersión de olores.

La mayoría de las metodologías de modelación de olores se basan en el reconocimiento de las distintas fuentes de incertidumbre que intervienen en el desarrollo de las etapas que conforman el proceso de modelación. Por lo tanto, como punto de partida proponen diversos procedimientos y criterios para el control y manejo de la incertidumbre principalmente en las etapas iniciales donde se definen los datos de entrada y la para metrización del modelo de dispersión de olores.

Capítulo I contempló la revisión y recopilación de información relevante sobre los lineamientos internacionales de modelación de olores, descritos en el documento “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling¹”. La revisión del documento de referencia (versión borrador), se centró en los aspectos relevantes de la modelación de olores y su aplicabilidad en el ámbito de la evaluación de ambiental de proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). El análisis realizado abordó cada una de las etapas que integran el proceso de modelación de olores desde el procesamiento meteorológico hasta la obtención de resultados para la cuantificación y evaluación de impactos en el marco regulatorio.

Capítulo II revisión bibliográfica de documentos regulatorios internacionales asociados a la evaluación de impacto por olores a través de la aplicación de herramientas de modelación atmosférica. Abordó los lineamientos aplicados por diversos países y estados en materia de evaluación y regulación ambiental de olores a través de herramientas de modelación. Analizando los requerimientos mínimos de las etapas del proceso de modelación en función de las características de cada proyecto y de las condiciones de entorno.

Capítulo III corresponde a un diagnóstico, en el contexto nacional, de las principales necesidades en términos de lineamientos metodológicos y requerimientos técnicos asociados tanto a la modelación como a la evaluación de impacto por olores.

El levantamiento de puntos críticos contempló la realización de entrevistas a profesionales con vasta experiencia en modelación de olores como de calidad del aire. Las visión y experiencia del sector público fue representada por la Superintendencia del Medio Ambiente y Servicio de Evaluación Ambiental. Mientras que el sector privado fue representado por profesionales provenientes de las empresas Envirosuite, Aqom y Proterm.

¹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

Los puntos levantados forman parte de los principales desafíos a los cuales se ven enfrentados los profesionales (sector público y privado) en el desarrollo del proceso de evaluación de impacto por olores. Debido a la complejidad y multidimensionalidad del olor, los profesionales identifican ciertos elementos y criterios que requieren un enfoque específico en esta componente, permitiendo una estandarización metodológica tanto para la modelación como para la evaluación de impacto.

Capítulo IV considera un resumen de los principales aspectos críticos identificados en el proceso de modelación de olores tanto a nivel internacional como nacional. A partir del análisis de estos puntos, se revisaron distintas referencias internacionales donde se establecieran criterios o procedimientos que permitieran abordar técnicamente cada requerimiento. De esta forma proponer diversos lineamientos y alternativas metodológicas, aplicables a nuestra realidad nacional, con el objeto de asegurar tanto la calidad de la modelación como la representatividad de los resultados para la evaluación de impacto por olores.

1 CAPITULO I: RECOPIACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA LA MODELACIÓN DE OLORES – HANDBOOK ON THE ASSESSMENT OF ODOUR EXPOSURE BY USING DISPERSION MODELLING

El presente capítulo se centra en la revisión e interpretación de la información contenida en el “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling-Draft”². En términos generales, obedece a la recopilación de antecedentes relevantes de cómo se aborda la modelación de olores a nivel internacional. El capítulo en sí se basó en la revisión específica del Handbook, permitiendo contar con una visión simple y práctica del estado del arte a nivel internacional junto con una mirada técnica en relación con la modelación específicamente de olores.

1.1 Proceso de evaluación de impacto por olores

El Handbook señala que “...Dado que el comportamiento de los olores depende de forma crucial de las características de la atmósfera, ésta se trata, de forma similar a lo que se supone para otras cuestiones de calidad del aire, como un problema relacionado con el transporte y la dispersión de sustancias gaseosas en la capa límite atmosférica turbulenta”³. Es por ello, que “...la modelación de dispersión atmosférica se considera, por diversas razones, una herramienta de apoyo fundamental para el estudio y reconstrucción del impacto de los olores”⁴.

Del mismo modo señala “...son varias las razones por las que se utilizan las técnicas de modelización de la dispersión en el ámbito de la evaluación del impacto de los olores. Los modelos se utilizan para predecir cuantitativamente el impacto de la contaminación sobre la calidad del aire en zonas geográficas relativamente amplias, ampliando potencialmente la información a un número muy elevado de puntos en comparación con lo que suelen ofrecer los sistemas de medición existentes, constituyendo así una red de receptores con un coste sustancialmente nulo”⁵.

El uso de estas herramientas matemáticas permite “...separar las contribuciones generadas por las diferentes fuentes de emisión situadas en una determinada zona”; “...estudiar los efectos de cualquier medida de mitigación sobre las fuentes de emisión”; “...estudiar los efectos de cualquier medida de mitigación sobre las fuentes de emisión”; “...minimizar el impacto de las emisiones sobre la población”; “...optimizar el diseño de las fuentes de emisión para obtener un resultado de mínimo impacto, definir la posible inserción y la correcta localización de las zonas buffer y las líneas de separación, organizar las posibles redes de vigilancia y diseñar el uso del suelo para minimizarla exposición de la población a los contaminantes”; “...objetivar los impactos de las fuentes de olor, contribuyendo a eliminar el efecto “emocional” que suele asociarse a las molestias por olores”⁶; y por último “...son la única herramienta capaz de tener en cuenta simultáneamente aspectos como las emisiones, la meteorología y los usos del suelo, que son responsables, mediante una interacción mutua y compleja, de los efectos de las molestias por olores en la población”⁷.

² International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*

⁷ *Ibid.*

En este sentido señala que los modelos de dispersión “...son una herramienta matemática útil para conectar una fuente de emisión con un receptor, simular el comportamiento de la sustancia (gas o aerosol) y predecir su destino”⁸. Esto mediante “...conjunto de ecuaciones diferenciales que describen los mecanismos de transporte, difusión turbulenta, transformación química y deposición en el suelo (seca y húmeda) en los que intervienen las sustancias emitidas a la atmósfera. Integrando estas ecuaciones numéricamente (o analíticamente en los casos más sencillos) en el tiempo y el espacio, es posible cuantificar las concentraciones que se generan alrededor y lejos de la/s fuente/s emisora/s”⁹.

Para un desarrollo adecuado del proceso de modelación de olores, el Handbook señala que se debe tener en consideración “...la dificultad de resolver este proceso de forma completa y correcta es bien conocida debido a las incertidumbres y aproximaciones presentes en los datos de entrada (adquisición de campos tridimensionales de variables meteorológicas, definición de los términos de las fuentes, caracterización del territorio) y a la variabilidad estocástica intrínseca de los procesos de dispersión turbulenta que tipifican el medio atmosférico”¹⁰. A lo cual complementa que “...este método "dinámico" de cálculo del impacto de una fuente es el único que puede garantizar un resultado válido (dada una descripción correcta de las variables implicadas): los métodos estadísticos simplificados de correlación entre las mediciones de concentración y las fuentes contaminantes no son capaces de tener en cuenta la no linealidad atmosférica, como la variación de la dirección del viento, la transición repentina de condiciones estables a inestables, las transformaciones químicas en las que intervienen diferentes sustancias, etc.”¹¹.

En la aplicación de los modelos de dispersión señala que “...son herramientas de conocimiento indispensables para predecir el impacto para proyectos aún no construidos: en función de las emisiones generadas, es posible calcular las concentraciones en el suelo, estudiar la distribución espacial alrededor de la planta y su variación temporal (día/noche, día de la semana/vacaciones, estacional, tendencia climática)”¹².

En el caso de una planta o fuente emisora existente indica que “...el uso de los modelos puede proporcionar una estimación de su impacto en el territorio, de forma continua (hora a hora) o en momentos fijos (evaluaciones mensuales o anuales), utilizando los datos meteorológicos adecuados (procedentes de mediciones o del campo modelizado en 3D) y las estimaciones de emisiones disponibles; de esta forma es posible”¹³.

El Handbook señala que una de las características del uso de herramientas de modelación de dispersión es que “...permite separar las contribuciones de las distintas fuentes en el territorio y evaluar su impacto diferenciado en el tiempo y el espacio; en el caso de que una emisión incluya varias sustancias olorosas, la separación de los efectos puede calcularse inmediatamente en el caso de las sustancias que no interactúan químicamente (al menos durante un tiempo breve); en presencia de reacciones químicas significativas es necesario utilizar modelos con algoritmos de reparto de fuentes. En el caso de las

⁸ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁹ *Ibid.*

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ *Ibid.*

¹² *Ibid.*

¹³ *Ibid.*

*simulaciones referidas a la unidad de olores, la separación de las contribuciones no es fácilmente derivable*¹⁴.

*Del mismo modo, los modelos de dispersión también pueden utilizarse “...para la estimación del término fuente, en caso de que éste sea difícil de cuantificar o incluso desconocido: a partir de las mediciones meteorológicas y de concentración de un trazador distribuido en un territorio, es posible invertir la integración y estimar la cantidad que generó estas concentraciones; el procedimiento, como todas las operaciones inversas, es muy crítico (en particular en ausencia de información sobre la localización de la fuente) y sensible a las incertidumbres de las mediciones iniciales (meteorológicas y químicas), pero puede dar indicaciones importantes en situaciones de peligro (Ej. informes de olores intensos e inesperados por parte de la población)”*¹⁵.

*El Handbook describe que el uso de los modelos de dispersión atmosférica para la caracterización de los impactos por olores plantea algunos desafíos específicos en comparación con su aplicación en simulaciones de contaminación atmosférica. En particular, señala que “...es bien sabido que los problemas relacionados con los olores se perciben durante intervalos de tiempo cortos y, en este sentido, es necesario modelar las concentraciones “instantáneas” en lugar de las concentraciones promediadas en el tiempo en escalas temporales del orden de una hora, un día o un año, como en un marco típico de calidad del aire. Dado que los modelos de dispersión suelen desarrollarse para simular concentraciones promediadas en el tiempo (normalmente del orden de una hora) o conjuntos (sobre muchas realizaciones del mismo conjunto estadístico), hay que tener en cuenta algunas correcciones específicas, como la introducción del concepto peak to mean o la simulación directa del momento de orden superior para la distribución estadística de la concentración. Otros problemas están relacionados con la entrada meteorológica que, en principio, debería ser capaz de reproducir esta variabilidad temporal específica particularmente evidente en condiciones estables de poco viento, o conectado a la descripción de las emisiones”*¹⁶.

*En casos donde se requiere evaluar instalaciones de baja complejidad, el Handbook señala que es posible aplicar modelos simples teniendo en consideración que “... sólo son útiles si simplifican en gran medida el proceso de modelación de dispersión, proporcionando resultados razonables pero conservadores y son rápidas y de bajo coste de uso”*¹⁷. Sin embargo, al igual que otros modelos, “...es importante que cumplan los requisitos de que la tasa de emisión de olores se cuantifique de la misma manera que se hace para los modelos de dispersión y que las distancias de separación se determinen para los criterios de impacto por olores igual que para los modelos de dispersión”¹⁸. En este sentido, las tasas de emisión podrían provenir de emisiones de referencia o factores de emisión, según se recomienda en la guía de predicción y evaluación de impactos por olor del SEA.

Por lo tanto, tal como indica el Handbook “...si las herramientas y los modelos simples cumplen estos criterios, no hay razón para que no se incorporen de forma útil como herramientas de análisis, en niveles en los marcos reguladores de evaluación de olores por niveles. Un marco escalonado reconoce que herramientas como las ecuaciones simples basadas en la función de potencia pueden ser suficientes

¹⁴ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ *Ibid.*

para demostrar que una propuesta presenta un bajo riesgo de impacto sobre los receptores sensibles cercanos y que, si se cumplen los criterios del nivel, no es necesario un trabajo más avanzado”¹⁹. No obstante, señala que “...si la evaluación no se cumple, puede ser necesaria una herramienta más refinada que utilice la modelización de la dispersión”²⁰.

1.2 Aplicación de modelos meteorológicos en herramientas avanzadas de dispersión atmosférica

En relación con los datos meteorológicos el Handbook señala que “...son una de las entradas más importantes en cualquier modelo de dispersión del aire. Las concentraciones de contaminantes a nivel del suelo están controladas principalmente por dos elementos meteorológicos: la dirección y la velocidad del viento (para el transporte), y la turbulencia y la altura de mezcla de la capa límite inferior (para la dispersión)”. Debido a la relevancia de la meteorología es que el SEA actualmente está trabajando en un documento de criterios técnicos asociados a la modelación refinada, donde se abordará este tipo de entrada.

Por lo tanto, en la selección del modelo se debe considerar el uso de herramientas que permitan representar de la mejor manera posible las condiciones locales de dispersión atmosféricas, tal como señala el Handbook, “...esto es especialmente importante para las evaluaciones de olores que a menudo se sitúan en entornos meteorológicos complejos, es decir, cerca de masas de agua, como las PTAS y en entornos de terreno complejo como fábricas de celulosa y papel”²¹.

Algunos de los fenómenos atmosféricos característicos de terreno complejo descritos en el Handbook corresponden a “...las brisas marinas, la fumigación de la capa límite interna térmica, la fumigación de inversión, los efectos de canalización del terreno, los eventos de estancamiento y retención, los efectos de causalidad y los efectos de cizalladura del viento horizontal y vertical”²². A lo cual indica que “... las características tridimensionales complicadas requieren modelos meteorológicos sofisticados para simular de forma realista estos eventos. Estos fenómenos son acontecimientos cotidianos importantes que afectan a todos los tipos de fuentes, desde las fuentes de olor a nivel del suelo hasta fuentes puntuales en altura”²³.

Señalando además que “...la única manera de captar estos fenómenos es modelar utilizando sofisticados modelos meteorológicos de diagnóstico y numéricos. La interconexión de los campos de viento 3D de los modelos meteorológicos tradicionales con un modelo meteorológico de diagnóstico de resolución fina como CALMET permite captar los flujos regionales con la ventaja adicional de incluir múltiples estaciones de observación. En muchos casos, los datos de los modelos numéricos 3D (Ej. WRF), es más útil que un único lugar de observación”²⁴, siendo necesario que el usuario deba realizar un esfuerzo adicional para “...recoger, formatear y controlar la calidad de los datos. Además, el usuario debe hacer elecciones específicas del modelo sobre varios parámetros críticos relativos a los factores de ponderación de la “distancia de las observaciones de superficie”²⁵.

¹⁹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

²⁰ *Ibid.*

²¹ *Ibid.*

²² *Ibid.*

²³ *Ibid.*

²⁴ *Ibid.*

²⁵ *Ibid.*

Destacando además que, “...esta ejecución requiere un esfuerzo significativo por parte del modelador que necesita decidir múltiples opciones relativas a los datos de las estaciones, así como gestionar la calidad de los datos y los datos que faltan”²⁶.

Previo a su procesamiento, el usuario debe considerar el ajuste de “...los efectos cinemáticos del terreno, los flujos de pendiente y los efectos del terreno para producir un campo de viento...”²⁷ y luego en un siguiente paso considerar “...un procedimiento de análisis para introducir datos de observación...”²⁸ y dar curso al procesamiento para producir un campo de viento final.

En ciertos casos, el Handbook señala que “...si se dispone de datos meteorológicos de pronóstico reticular de buena calidad. Se recomienda el modo NOOBS de CALMET como el método preferido para la modelización reguladora”²⁹. Este módulo permite “...que el modelo de pronóstico se ejecute con un espacio de rejilla horizontal significativamente mayor que el utilizado en el modelo de diagnóstico. Los datos de la malla 3D suelen contener vientos, velocidad vertical, presión, temperatura y parámetros de humedad”³⁰. Respecto a las ventajas de este tipo de aplicación, el Handbook indica “...puede funcionar con una resolución horizontal mucho más fina que el modelo de pronóstico”; “...variabilidad espacial en la horizontal y en la vertical”; “...simplicidad de la ejecución de NOOBS, rápida y eficaz”; “...no se necesitan datos adicionales”³¹, entre otras.

El objetivo principal de la utilización de los resultados del modelo de pronóstico como entrada a un procesador meteorológico como CALMET, según lo descrito en el Handbook es, “...aumentar la resolución horizontal de los campos meteorológicos, lo cual es necesario en entornos meteorológicos complejos, como las zonas cercanas a la costa o las regiones de terreno moderado”³².

Del mismo modo, el Handbook señala que “...existe la opción de ejecutar CALPUFF con meteorología de una única estación”; “La ejecución de CALPUFF con meteorología de una sola estación tiene importantes ventajas en comparación con un enfoque de estado estacionario”³³, entre las cuales se encuentran³⁴:

- El tiempo necesario para que el material de la pluma llegue a un receptor (efecto de causalidad) se tiene en cuenta en el transporte de puff, a diferencia de los modelos de penacho en los que la pluma se extiende hasta el infinito incluso después de 1 hora con un viento de [1 m/s].
- Memoria en el sentido de que las emisiones y la meteorología de cada hora se conservan y pueden influir en las concentraciones de una hora posterior.
- Capacidad de modelar las calmas, a diferencia de los modelos regulares de penachos.

²⁶ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

²⁷ *Ibid.*

²⁸ *Ibid.*

²⁹ *Ibid.*

³⁰ *Ibid.*

³¹ *Ibid.*

³² *Ibid.*

³³ *Ibid.*

³⁴ *Ibid.*

Del mismo modo el Handbook indica que “...el procedimiento de combinación de datos numéricos avanzados en cuadrícula 3D en un modelo meteorológico de diagnóstico permite que el modelo de pronóstico se ejecute con un espaciado de grilla horizontal significativamente mayor y una resolución de grilla vertical diferente a la utilizada en el modelo de diagnóstico, que puede ejecutarse con una resolución mucho más fina (< 250 [m]) incorporando datos de terreno y uso del suelo a escala fina”³⁵. Por lo tanto, este tipo de procedimiento permite, “...introducir en los resultados del campo de viento de diagnóstico las características tridimensionales de flujo, como la circulación de la brisa marina con el flujo de reverso en el aire, que puede no ser capturado en los datos de observación de la superficie”³⁶.

Con relación a los recursos necesarios para su aplicación el Handbook señala, “...la combinación de los datos del modelo de pronóstico grueso en un modelo de diagnóstico a escala fina es mucho menos exigente desde el punto de vista computacional que la ejecución de un modelo meteorológico de pronóstico (con o sin asimilación de datos) a resoluciones de < 1 [km]. Además, el modelo de diagnóstico también puede incorporar datos de observación”³⁷.

En caso de que no se dispongan de observaciones, el Handbook señala que “...los datos de los modelos de pronóstico se utilizan ahora de forma rutinaria en las evaluaciones de olores, normalmente como proveedor de datos meteorológicos en regiones donde los datos meteorológicos son escasos. Los datos son normalmente de alta calidad, con pocos o ningún valor perdido”³⁸. Este tipo de entrada es generada por el programa MMIF (Mesoscale Model Interface Program), tal como se indica en el Handbook “...es una herramienta desarrollada por la EPA de EE.UU. para transformar directamente los datos de salida de los modelos de pronóstico en un formato de entrada para dos conocidos modelos de dispersión, AERMOD y CALPUFF”³⁹.

En su aplicación en modelos de tipo gaussianos el Handbook indica que “...la ventaja práctica de extraer datos meteorológicos de un solo punto para un modelo de penacho es que no hay datos que falten, y, el modelo de pronóstico además de proporcionar datos de superficie también proporcionará un perfil vertical de temperatura y velocidad y dirección del viento”⁴⁰. Se debe tener en consideración que “...una posible desventaja de este método es que, si la resolución del modelo de pronóstico es demasiado gruesa, es poco probable que la pseudoobservación capte de forma realista el terreno local y/o el uso variable del suelo”⁴¹.

1.2.1 Aplicabilidad de modelos de estado estacionario y no estacionarios

Los modelos de estado estacionario (Ej. modelo de penacho gaussiano) son descritos en el Handbook como herramientas que “...asumen que los datos de la estación única de superficie son aplicables a todo el dominio de modelación, tanto espacial como verticalmente. Desde la superficie hasta la parte superior de la capa límite se supone que las condiciones meteorológicas no varían

³⁵ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

³⁶ *Ibid.*

³⁷ *Ibid.*

³⁸ *Ibid.*

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ *Ibid.*

⁴¹ *Ibid.*

con la altura”⁴². Este tipo de modelos considera que “...las condiciones meteorológicas son horizontalmente homogéneas dentro del dominio de modelación. Esto significa que las variables meteorológicas, como la velocidad y la dirección del viento, la altura de mezcla, la temperatura, la humedad y las variables de turbulencia, como la velocidad de fricción superficial (u^*), la escala de velocidad convectiva (w^*) y la longitud Monin-Obukhov (L), tienen el mismo valor en un momento determinado en el dominio”⁴³. En algunos modelos de penacho gaussiano más avanzados, el handbook indica que “...suelen requerir datos meteorológicos bidimensionales de una única estación de superficie y de una estación de altura”⁴⁴.

Otras características descritas en el Handbook para este tipo de modelos son: “...durante el período de tiempo necesario para que la pluma llegue a cada receptor, se supone que las condiciones meteorológicas son constantes”; y que “...cada hora es separada e independiente de otras horas: no hay memoria de la ubicación de los contaminantes ni de las emisiones de otras horas”⁴⁵.

Por otra parte, los modelos de estado no estacionarios (Ej. modelos lagrangianos avanzados), son descritos como herramientas que “...a menudo se interconectan con sofisticados modelos meteorológicos tridimensionales de diagnóstico y pronóstico. Estos modelos utilizan todos los datos relevantes disponibles en el suelo y en altura junto con la física atmosférica para interpolar y desarrollar variables meteorológicas en lugares donde no se dispone de información”; “...describen una emisión continua como una serie de paquetes discretos de material contaminante que se mueven independientemente”. Dicho movimiento está determinado por “...advección según el campo de viento local”; “...el efecto de la turbulencia atmosférica al aumentar el tamaño del puff a medida que se desplaza”; como también por “...la división del puff tanto en la dirección vertical como en la horizontal”⁴⁶.

En relación con lo anterior, el Handbook señala que “...entre los modelos utilizados actualmente en el mundo para la evaluación de olores, los modelos de penacho gaussiano se utilizan en gran medida junto con los modelos lagrangianos de tipo puff y partículas. Ambos son capaces de estimar las concentraciones ambientales a favor del viento de los contaminantes atmosféricos procedentes de diferentes tipos de fuentes. Los modelos lagrangianos funcionan bien tanto para condiciones homogéneas y estacionarias en terrenos planos como para condiciones no homogéneas y no estacionarias en terrenos complejos, mientras que los modelos gaussianos son ideales para condiciones homogéneas en terrenos planos”⁴⁷.

⁴² International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁴³ *Ibid.*

⁴⁴ *Ibid.*

⁴⁵ *Ibid.*

⁴⁶ *Ibid.*

⁴⁷ *Ibid.*

De acuerdo con lo descrito, los modelos de estado estacionario (Ej. modelos de penacho gaussiano), “...no deben utilizarse en situaciones de flujo complejas (es decir, condiciones en las que no se cumplen los criterios de estado estacionario)”⁴⁸, entre las cuales señala⁴⁹:

- Terreno complejo.
- Regiones costeras/ interfaz tierra-mar.
- Transporte sobre el agua.
- Condiciones de dispersión no homogéneas.
- Variación del uso del suelo/cobertura del suelo.
- Distancia (> 10-20 [km]).
- Condiciones de estancamiento.
- Dispersión de la velocidad del viento, condiciones de calma.
- Inversiones de flujo.
- Brisa tierra-mar.
- Flujo ascendente/descendente, flujos de valle.
- Recirculación.

En este sentido, el Handbook señala que “...el enfoque lagrangiano es mucho más adecuado para modelar los olores que los modelos de pluma gaussiana en estado estacionario. Son ideales para modelizar el campo cercano, desde unas decenas de metros hasta cientos de kilómetros. Además, la modelización de la dispersión alrededor de terrenos elevados y complejos es relativamente sencilla, y pueden modelizar eventos de calma que suelen ser las peores condiciones de olor. Cuando se vinculan a la meteorología tridimensional derivada de los modelos numéricos o de diagnóstico, pueden producir resultados de modelos muy fiables para las evaluaciones de olores”⁵⁰.

Del mismo modo, señala que “...el enfoque lagrangiano también se utiliza de forma rutinaria y con éxito para la mayoría de todas las evaluaciones de olores en Australia y Nueva Zelanda, y es el modelo regulatorio de olores preferido en esos países, ya que las limitaciones del modelo de penacho gaussiano para las evaluaciones de olores son generalmente bien reconocidas”⁵¹.

⁴⁸ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁴⁹ *Ibid.*

⁵⁰ *Ibid.*

⁵¹ *Ibid.*

Tabla 1 – Características que pueden afectar la modelación de dispersión de olor según tipo de modelo

Característica	Modelo gaussiano (Estado estacionario)	Modelo Lagrangiano-Puff (Estado no estacionario)
Efectos de causalidad	No considera efectos de causalidad, las plumas se extienden inmediatamente en línea recta hasta el infinito.	Considera efectos de causalidad, permitiendo trayectorias curvas y variables.
Variabilidad espacial de las características de la superficie (uso del suelo)	Permite la variabilidad del uso del suelo en los sectores de viento centrados sobre una estación meteorológica.	El uso suelo y los parámetros físicos (Ej. coeficiente de Bowen, Zo, albedo, etc.) varían en cada celda de grilla del dominio.
Variabilidad espacial de las variables meteorológicas (velocidad y dirección del viento, temperatura, etc.)	No considera variabilidad espacial de la meteorología en el dominio. Proyección uniforme de variables meteorológica en base a datos una estación (meteorología homogénea).	Considera variabilidad espacial de las variables meteorológicas y de turbulencia en todo el dominio.
Capacidad para tratar los vientos calmos	No permite manejar vientos con velocidad "cero". La velocidad mínima del viento se debe fijar, de lo contrario el modelo se saltará las horas de calma.	Permite el manejo de vientos calmos o de velocidad "cero".
Acumulación de masa en condiciones de estancamiento	Incapaz de manejar condiciones de estancamiento o la acumulación de masa contaminante.	Conserva las emisiones de las horas anteriores y permite la acumulación de contaminantes en caso de condiciones de estancamiento.
Efecto memoria (horas anteriores) de las emisiones o de la meteorología	Sin efecto memoria, cada hora y tasa de emisión se tratan independientemente de la hora anterior.	Considera efecto memoria.
Efectos costeros y recirculación	Ninguno o muy limitado.	Estos modelos más avanzados están vinculados a modelos meteorológicos tridimensionales avanzados de diagnóstico y pronóstico. Permitiendo incluir la capacidad de cálculo de la capa límite térmica interna (TIBL) y brisa mar-tierra en 3D.

Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022.⁵²

⁵² International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

Algunos de los criterios descritos en el Handbook para la selección del modelo se relacionan con su capacidad para representar vientos de baja intensidad, las calmas y meandros laterales de la pluma⁵³, dado que:

- Los olores pueden alcanzar sus niveles más altos en condiciones de calma;
- Son difíciles de modelar, debido a que los modelos tienen dificultades para captar la turbulencia por movimientos de mesoescala;
- Todos los modelos se basan en la advección;
- La difusión de la turbulencia nunca desaparece por completo (nunca es estrictamente laminar), pero puede ser extremadamente lenta;
- El flujo tiende a ser impulsado por el terreno, en combinación con el calentamiento y enfriamiento del aire cercano a la superficie;
- Se desarrollan inversiones muy fuertes bajo condiciones de cielos despejados;
- El flujo en horas estables suele ser descendente, pero puede ser multicapa debido a las diferentes temperaturas potenciales de los distintos flujos contribuyentes;
- Cobertura de nubes genera un flujo de calor negativo inmediato que establece una turbulencia que suprime la estratificación cerca del suelo;

1.2.2 Campo de aplicación de modelos simples

Tal como señala el Handbook, las ecuaciones empíricas, los modelos screening y los modelos simples, “...suelen requerir datos meteorológicos unidimensionales (velocidad del viento, dirección del viento y temperatura) de una única estación de superficie.” Por lo que, “...asumen que los datos de la estación única de superficie son aplicables a todo el dominio de modelación, tanto espacial como verticalmente”⁵⁴.

Este tipo de modelos proporcionan, según el Handbook, “...una opción sencilla para ejecutar el modelo de dispersión del aire y pueden aplicarse en la mayoría de los lugares. La concentración máxima a nivel del suelo prevista mediante un conjunto de datos de idealizados se considera normalmente conservadora. Esto significa que es probable que el modelo sobrepase las concentraciones que se espera que se produzcan en la realidad, suponiendo que otros datos de entrada sean de buena calidad”⁵⁵.

Del mismo modo, el Handbook señala que “...suelen producir estimaciones de las concentraciones “más desfavorables” de una hora para una sola fuente, sin necesidad de un conjunto de datos meteorológicos de todo el año, ni de un terreno o uso del suelo detallados”⁵⁶. Uno de los objetivos principales de los modelos simples es “...producir estimaciones de concentración iguales o superiores a las de un modelo reglamentario que disponga de un conjunto de datos meteorológicos y del terreno totalmente desarrollado”⁵⁷.

⁵³ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁵⁴ *Ibid.*

⁵⁵ *Ibid.*

⁵⁶ *Ibid.*

⁵⁷ *Ibid.*

Previo a su aplicación, es necesario tener en consideración los requisitos de datos en base a lo siguientes elementos descritos en el Handbook⁵⁸:

- Datos meteorológicos disponibles;
- Propósito para el que se utiliza el modelo;
- Escala e importancia de los efectos potenciales de la emisión;
- Exactitud de la información y el nivel de detalle exigido por la autoridad reguladora.

Cuando el objetivo es representar condición operacional como la peor situación, el Handbook señala que “...los modeladores tienen la opción de utilizar un conjunto de datos meteorológicos estándar de screening como entrada en una evaluación simple del modelo de dispersión del aire”⁵⁹. Es decir que para un dominio se puede utilizar “...un conjunto de datos horarios idealizados de velocidad del viento, clase de estabilidad y alturas de mezcla, con el objetivo de imitar las condiciones atmosféricas que es probable que se den en cualquier lugar”⁶⁰. De este modo, “...proporcionan una opción sencilla para ejecutar el modelo de dispersión y pueden aplicarse en la mayoría de los lugares. La concentración máxima proyectada a nivel del suelo mediante un conjunto de datos de screening se considera normalmente conservadora. Esto significa que es probable que el modelo sobrepase las concentraciones que se espera que se produzcan en la realidad, suponiendo que los otros datos de entrada son de buena calidad”⁶¹.

Con relación a los datos idealizados, el Handbook señala que “...sólo pueden modelar promedios de una hora, y no pueden proporcionar una indicación de la frecuencia con la que podría ocurrir un evento. Estos conjuntos de datos sólo deberían utilizarse para obtener una estimación de inicial de la magnitud de la concentración máxima de olor a nivel del suelo para una fuente concreta”⁶². Del mismo modo señala que “...algunos conjuntos de datos meteorológicos urbanos y regionales ya preparados están disponibles en algunas autoridades reguladoras locales y regionales de todo el mundo”; “...suelen ser almacenados por la autoridad local y pueden obtenerse fácilmente”⁶³.

Entre las ventajas de utilizar este tipo de información, el Handbook menciona:

- Suelen ser representativos de al menos uno o más años;
- Cumplen los criterios de los requisitos de calidad del aire ambiente de la autoridad reguladora local, en el sentido de que han sido evaluados adecuadamente;
- Son lo suficientemente precisos;
- Pueden utilizarse directamente en modelos de cribado y ecuaciones empíricas;
- Resuelven la necesidad de un componente complejo, costoso y puntual de la modelización de la dispersión.

⁵⁸ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁵⁹ *Ibid.*

⁶⁰ *Ibid.*

⁶¹ *Ibid.*

⁶² *Ibid.*

⁶³ *Ibid.*

En este sentido, el Handbook señala que *“...la ordenación de los datos en el formato necesario para el modelo suele ser sencilla. Normalmente, estos datos son simples datos unidimensionales con énfasis en la velocidad y dirección del viento, la estabilidad atmosférica y la temperatura”*⁶⁴.

El Handbook menciona entre las ventajas de utilizar un modelo screening es que *“...pueden evaluar el potencial impacto en el peor de los casos de un olor conocido cuando se conoce la tasa de emisión”*⁶⁵. De este modo, el modelo *“...calculará la concentración de olor a varias distancias discretas a favor del viento (Ej. Límite de la propiedad, receptor sensible y residencia más cercana)”*⁶⁶. Considerando para ello, *“... información del terreno local y los datos meteorológicos generados para calcular las peores condiciones”*⁶⁷ y suponiendo que *“...las emisiones son continuas”*⁶⁸.

Por otra parte, señala que *“...si estos resultados están generalmente por debajo de los niveles de los criterios de olor a corto plazo, entonces normalmente no es necesario hacer más trabajo, ahorrando tiempo y dinero de una evaluación con un modelo de dispersión completo, que probablemente produzca resultados más bajos. Sin embargo, los modelos screening no son adecuados para escenarios complejos de emisión de olores, que son los típicos de la mayoría de las actividades”*⁶⁹.

Tal como señala el Handbook, la U.S. EPA respalda el uso de varios modelos screening, sin embargo, señala que *“...sólo uno o dos de ellos son útiles para la evaluación de los olores”*⁷⁰. Entre los cuales se encuentran AERSCREEN y ADMS-Screen. Estos modelos se caracterizan por su capacidad de *“...simular una única fuente en cálculos a corto plazo. El modelo incluye los efectos de flujo descendente y puede estimar las concentraciones debidas a la inversión e incorporar los efectos del terreno simple”*⁷¹. Se debe tener en consideración que estas herramientas, si bien son utilizadas en el campo de los olores *“...ninguno de los dos modelos permite la entrada de emisiones específicas de olor y la salida de la concentración de olor”*⁷². Por lo tanto, *“...la tasa de emisión deberá ser modificada para cumplir con requisitos de entrada del modelo”*⁷³.

Del mismo modo el Handbook señala para estos dos modelos que *“...sólo se recomiendan para una evaluación rápida, en una hora, del peor caso de un odorante conocido”*⁷⁴. No siendo adecuada su aplicación en las siguientes condiciones: *“...para evaluar una mezcla compleja de compuestos odorantes cuya tasa de emisión se desconoce en gran medida”; “...para comparar los resultados del modelo con los criterios de olor que utilizan percentiles”; “...para evaluar las superaciones de un criterio de impacto por olores”; “...no son capaces de evaluar internamente la fluctuación de la concentración y requerirían un procesamiento externo”*⁷⁵.

⁶⁴ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁶⁵ *Ibid.*

⁶⁶ *Ibid.*

⁶⁷ *Ibid.*

⁶⁸ *Ibid.*

⁶⁹ *Ibid.*

⁷⁰ *Ibid.*

⁷¹ *Ibid.*

⁷² *Ibid.*

⁷³ *Ibid.*

⁷⁴ *Ibid.*

⁷⁵ *Ibid.*

Si los modelos screening cumplen con los mismos requisitos de cuantificación de la tasa de emisión y que los criterios de impacto que otros modelos de dispersión, el Handbook señala que “...no hay razón para que no se incorporen de forma útil como herramientas de análisis de nivel inicial en los marcos reguladores de evaluación de olores por niveles”⁷⁶. Por lo tanto, en la aplicación de un marco de evaluación escalonado o por niveles, “...se reconoce que herramientas como las simples ecuaciones basadas en la función de potencia pueden ser suficientes para demostrar que el proyecto presenta un bajo riesgo de impacto sobre los receptores sensibles cercanos y que, si se cumplen los criterios del nivel, no es necesario un trabajo más avanzado. Pero, a la inversa, si la evaluación del nivel inicial no se supera, puede ser necesaria una herramienta más refinada”⁷⁷.

Para algunas zonas geográficas, el Handbook señala que “...las agencias medioambientales locales recomiendan métodos de screening adaptados localmente en combinación con datos meteorológicos para calcular aspectos como las distancias de separación, lo que simplifica aún más la aplicación de dichas herramientas, ya que no es obligatorio disponer de información meteorológica específica para ejecutarlas. Estas herramientas de screening pueden funcionar muy bien a nivel local como control normativo”⁷⁸.

1.3 Criterios de selección de información meteorológica observada

En relación con la meteorología, el Handbook señala “...la definición de los parámetros meteorológicos no sólo es funcional para la modelación de la dispersión de las sustancias olorosas en la atmósfera, sino que también es útil para la estimación de las emisiones”⁷⁹. Debido a que las variables atmosféricas como “...la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar influyen en la tasa de emisión de muchas sustancias generadoras de olores, así como en sus transformaciones químicas en la atmósfera”. Por lo tanto, “...es esencial que cerca de las fuentes emisoras haya una estación meteorológica próxima al suelo, equipada con sensores para la medición continua de estos parámetros”⁸⁰.

Según la localización de la instalación industrial, el Handbook describe que “...el tipo de fuente y las características del emplazamiento determinan el número de sensores y el método de medición. Las pequeñas instalaciones con emisiones areales a nivel de suelo en emplazamientos llanos y sin obstáculos significativos a su alrededor, requieren una sola estación meteorológica en la instalación o en sus proximidades; las fuentes muy distribuidas (vertederos extensos o grandes instalaciones industriales) requieren más de un punto de medición”⁸¹.

En situaciones donde el emplazamiento industrial se inserta en una zona de orografía compleja, “...es necesario utilizar campos tridimensionales de las variables meteorológicas. La reconstrucción modelizada de los campos de viento puede realizarse con modelos de diagnóstico, si se dispone de varias mediciones en el territorio de estudio (evidentemente, es necesario que las mediciones sean fiables y estén dispuestas en emplazamientos representativos y libres de obstáculos)”⁸².

⁷⁶ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁷⁷ *Ibid.*

⁷⁸ *Ibid.*

⁷⁹ *Ibid.*

⁸⁰ *Ibid.*

⁸¹ *Ibid.*

⁸² *Ibid.*

Respecto a la confiabilidad de los datos ingresados al modelo, el Handbook señala “...*siempre que sean de buena calidad, los datos medidos in situ son siempre la fuente preferida de datos meteorológicos de entrada*”⁸³. Entre las ventajas de disponer de datos medidos *in situ* menciona “...*es que también pueden utilizarse para la evaluación del modelo de dispersión*”, además su aplicación “... *mejora en gran medida la precisión de los resultados del modelo de dispersión, especialmente a la hora de tomar decisiones sobre las distancias de separación*”⁸⁴.

Por lo tanto, la confiabilidad de la información meteorológica para la dispersión de olores según el Handbook, “...*depende de la correcta ubicación de las estaciones de medición y/o de la reconstrucción fiable de los campos con los modelos meteorológicos. Si la estación de observada está situada cerca de la fuente y no tiene obstáculos a su alrededor, podemos estar seguros de que describe las variables meteorológicas relacionadas con la fuente*”.

Por el contrario, el Handbook indica que, si la estación si está situada lejos, “...*debemos utilizar un modelo tridimensional para reconstruir los campos meteorológicos en el dominio y comprobar si el modelo reproduce los valores medidos en el punto de la estación. En este caso estaremos razonablemente seguros de que ocurre lo mismo en la fuente y podremos utilizar los campos como entrada a los modelos de dispersión; la confiabilidad aumenta en el caso de comprobaciones con múltiples medidas*”⁸⁵.

En lo que respecta a la modelación de olores, señala “...*hay que tener en cuenta que el impacto de las sustancias olorosas suele ser más intenso en los primeros 1.000 metros alrededor de la planta, salvo que haya emisiones canalizadas a chimeneas altas. Esto requiere un mayor detalle en esta zona si hay obstáculos o edificios. En estos casos, la reconstrucción de los campos meteorológicos debe tener en cuenta el uso de modelos de microescala con una resolución de unos pocos metros y la descripción de los obstáculos, en particular si están presentes en las proximidades de las fuentes*”⁸⁶.

En las siguientes secciones se describen algunos de los lineamientos descritos en el Handbook que nos permiten establecer la representatividad y calidad de la información observada para su incorporación y procesamiento en el modelo meteorológico.

1.3.1 Periodo meteorológico

Respecto a la elaborar un conjunto de datos meteorológicos para su ingreso al modelo, el Handbook señala “...*hay que evaluar y demostrar la representatividad del conjunto de datos en términos de medias y extremos climáticos. Esto puede establecerse esencialmente de dos maneras: realizando un seguimiento a largo plazo (de tres a cinco años) de los registros in situ, o estableciendo correlaciones entre los datos in situ, las medias climáticas y los extremos regionales*”⁸⁷.

⁸³ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁸⁴ *Ibid.*

⁸⁵ *Ibid.*

⁸⁶ *Ibid.*

⁸⁷ *Ibid.*

Con relación a los datos observados, el Handbook señala que “...según los requisitos normativos de la U.S. EPA (y de Australia), cualquier conjunto de datos que no cumpla con la cobertura de datos del 90% debe utilizar un procesador meteorológico (u otro método) para volver a procesar las lecturas de las estaciones meteorológicas automáticas de 1 a 10 minutos para producir una nueva velocidad y dirección del viento horaria, que es diferente de los datos horarios normalmente registrados”⁸⁸.

1.3.2 Representatividad de estación meteorológica

De acuerdo con los lineamientos del Handbook, “...por regla general, siempre se prefieren los datos específicos del lugar cuando se desarrolla un perfil de datos meteorológicos para una fuente específica. Sin embargo, cuando no se dispone de datos in situ, normalmente se permite utilizar la estación adecuada más cercana a la fuente, siempre que se encuentre en un régimen meteorológico similar al de la fuente, o bien, a menos de 5 [km] de la fuente”⁸⁹.

En el caso de la modelación simple, el Handbook señala “...los datos de fuera de la instalación sólo deben utilizarse si el lugar de emplazamiento de la estación cercana tiene características topográficas similares que probablemente den lugar a condiciones meteorológicas similares para el emplazamiento en cuestión. Por ejemplo, cuando ambos emplazamientos están situados en el mismo sistema de valles, o en la proximidad de una línea de costa. La representatividad de los datos fuera de la instalación debe establecerse antes de utilizarlos en cualquier estudio de dispersión”⁹⁰.

1.3.3 Estándar de instalación de la estación meteorológica

De acuerdo con lo descrito en el Handbook “...la presencia de una estación con mástil de 10 metros equipada con un anemómetro / termómetro ultrasónico permitiría un seguimiento óptimo con la posibilidad de determinar los flujos de contaminantes emitidos por fuentes de área o fuentes fugitivas difíciles de medir”⁹¹. En este sentido señala que “...los anemómetros sónicos (incluso sólo bidimensionales) se recomiendan en lugares con altos porcentajes de vientos calmos o estancamiento para tener medidas de viento y turbulencia utilizables. Además, si las fuentes corresponden a chimeneas elevadas, y en particular las emisiones son de alta temperatura, es necesario disponer de perfiles verticales de viento y temperatura hasta la altura de nivelación de la pluma. Estas mediciones se pueden obtener con instrumentación de teledetección o mediante modelos meteorológicos tridimensionales”⁹².

Respecto a las mediciones meteorológicas en la instalación, el Handbook señala “...en general, una estación meteorológica debe estar situada lejos de las influencias de los obstáculos, como edificios y árboles, para garantizar la mejor representación de la condición general del entorno (dirección del viento y temperatura). Se recomienda un mástil de 10 [m] de altura para medir la dirección y la velocidad del viento y los diferenciales de temperatura. Sin embargo, si el mástil está

⁸⁸ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁸⁹ *Ibid.*

⁹⁰ *Ibid.*

⁹¹ *Ibid.*

⁹² *Ibid.*

situado en buenas condiciones de flujo libre y hay restricciones de altura por parte de las ordenanzas municipales, se puede utilizar un mástil de 6 [m] de altura”⁹³.

En el caso de fuentes industriales relevantes con chimeneas altas o emplazadas en un entorno de terreno complejo, el Handbook señala “... se recomiendan mástiles de vigilancia más altos (30 [m] y más) para monitorear adecuadamente los vientos más bajos de la capa límite y los perfiles de temperatura. En estas situaciones puede ser necesario complementar o incluso sustituir un mástil alto con un monitoreo a través de instrumentos de teledetección como SODAR/RASS o sistemas de sonda anclada”⁹⁴.

Las variables observadas que deben ser controladas, el Handbook destaca: “...la temperatura, diferencia de temperatura (entre 1,5 [m] y 10 [m] o más), humedad relativa [%], velocidad del viento [m/s], dirección del viento [grados], radiación solar o nubosidad y altura del techo de nubes”⁹⁵. En este sentido, también menciona que “...aunque todas las variables anteriores proporcionan información valiosa para la modelación, las más importantes son la velocidad y dirección del viento y la temperatura. La información sobre la nubosidad, la presión y la humedad relativa suele obtenerse de un aeropuerto cercano o de una estación meteorológica automática”⁹⁶.

1.3.4 Validación de registros meteorológicos

Respecto al tratamiento y validación de los datos observados el Handbook señala “...la recopilación de datos meteorológicos específicos del emplazamiento se trata en su totalidad en documentos como el *On-site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modelling Applications* (U.S. EPA, 1987) y la *Parte 51 de la Guideline on Air Quality Models* (US EPA, 1999). La primera proporciona detalles sobre la ubicación de la estación, los mecanismos de registro, la comunicación de los datos, las tasas de muestreo, la precisión de los sistemas, el manejo de los datos, el control de calidad y el tratamiento de los datos que faltan. Se recomienda que esta guía se adopte como mejor práctica para la recogida y el tratamiento de datos meteorológicos para su uso en aplicaciones de modelación de dispersión”⁹⁷.

Se debe tener en consideración que en el marco de la revisión del Handbook, este aún se encuentra en versión borrador, cuyo capítulo de validación aún esta una etapa de desarrollo.

⁹³ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁹⁴ *Ibid.*

⁹⁵ *Ibid.*

⁹⁶ *Ibid.*

⁹⁷ *Ibid.*

1.3.5 Registros meteorológicos horarios y subhorarios

Tal como señala el Handbook, “...la actualización frecuente y precisa de los datos meteorológicos es necesaria y demandada por muchos campos técnicos, incluyendo la modelación de olores. Durante los últimos años, se han producido numerosos avances claves en los métodos de predicción y registro de datos, permitiendo disponer de datos a largo plazo y más confiables. Esto también ha permitido una actualización más frecuente de los datos. Por ejemplo, la teledetección por satélite de la atmósfera actualiza y proporciona datos cruciales varias veces al día”⁹⁸.

Respecto a la importancia de los datos meteorológicos señala que se hace necesario “...no sólo actualizaciones más frecuentes, sino también datos de alta resolución. La resolución es un factor muy importante para el avance de la capacidad de predicción de datos, ya que se dispone de más información y detalles en los datos de alta resolución”⁹⁹. El aumento de la inteligencia informática ha permitido “...reducir el tamaño de las celdas de la cuadrícula, lo que supone una mayor resolución de los datos. Esto proporciona previsiones más precisas y datos confiables para estudiar la dinámica atmosférica. Los datos de alta resolución ayudan a predecir los cambios a gran escala en los patrones de datos, como los efectos topográficos, así como las pequeñas perturbaciones”¹⁰⁰.

En este sentido, el Handbook señala que el proceso de modelación de olores “...debe llegar a determinar los valores máximos que pueden generarse en torno a las fuentes odoríferas y para ello es necesario conocer las variables meteorológicas del lugar con el mayor detalle temporal posible, compatible con los parámetros que podrán utilizar los modelos de dispersión”¹⁰¹.

Tal como señala el Handbook, la mayoría de los modelos regulatorios no fueron desarrollados para la modelación de olores ni para las emisiones accidentales de contaminantes, “...por lo que suponen una distribución promediada de la pluma en el tiempo de una hora, lo que no tiene en cuenta las fluctuaciones turbulentas de la concentración de olores, que son del orden de segundos, ni los meandros de la pluma desde la dirección media”. Sin embargo, cuando se dispone de datos meteorológicos subhorarios señala que “...el uso de vientos y datos de turbulencia específicos del lugar en escalas temporales pequeñas puede aliviar la necesidad de aplicar cualquier factor adicional de Peak-to Mean”¹⁰². Del mismo modo, cuando se dispone de registros subhorarios y de ser requerido datos horarios como entrada al modelo es posible “...utilizar un procesador meteorológico (u otro método) para volver a procesar las lecturas de las estaciones meteorológicas automáticas de 1 a 10 minutos para producir una nueva velocidad y dirección del viento media de 1 hora”¹⁰³. En cualquier caso, “...las observaciones deben proporcionar la entrada meteorológica a los modelos e indicar el grado de incertidumbre con el que se describe la situación real. Así, es posible distinguir las situaciones meteorológicas que representan bien la dinámica de la atmósfera de las situaciones más inciertas en las que la aproximación de la descripción meteorológica sólo puede generar una adhesión limitada a las concentraciones reales proyectadas”.

⁹⁸ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

⁹⁹ *Ibid.*

¹⁰⁰ *Ibid.*

¹⁰¹ *Ibid.*

¹⁰² *Ibid.*

¹⁰³ *Ibid.*

1.3.6 Tratamiento de datos faltantes

Al momento evaluar los datos meteorológicos observados para su ingreso al modelo meteorológico, se debe prestar especial atención a la calidad de los datos de entrada, como señala el Handbook, *“...para cada hora de simulación (asumiendo para simplificar las simulaciones con resolución de 1 hora) cada variable meteorológica debe tener un valor válido al menos en una estación de superficie, de lo contrario el modelo detiene la simulación con un mensaje de error. Esto significa que el usuario debe comprobar la calidad y la validez de los datos de entrada y, si es necesario, define un procedimiento para recuperar los valores que faltan”*¹⁰⁴.

Con relación a lo anterior, el Handbook señala que *“...cuando los valores que faltan son escasos, las variables escalares (por ejemplo, la temperatura, la precipitación o la humedad relativa) pueden recuperarse simplemente promediando los valores que contienen los datos que faltan o repitiendo el último valor válido. El mismo procedimiento puede adoptarse para la velocidad y la dirección del viento, aunque la situación es un poco más complicada (por ejemplo, hay que decidir si hay que realizar un promedio escalar o vectorial). Cuando los valores que faltan son continuos durante un tiempo relativamente largo, si no hay otras estaciones con datos válidos para ese periodo de tiempo, una posible opción es crear una pseudo estación, posiblemente cerca de los límites del dominio de simulación, a partir de la salida de un modelo de pronóstico como el WRF”*¹⁰⁵.

Sin embargo, el Handbook menciona que *“...cuando los datos que faltan son los perfiles verticales, la situación es aún más difícil. Los perfiles verticales suelen estar disponibles dos veces al día, y en las simulaciones se suele utilizar una única estación de altura. A veces falta un perfil vertical completo, que podría ser sustituido, por ejemplo, por el perfil vertical de la misma hora del día anterior. Cuando se utiliza la salida de un modelo de pronóstico como entrada, el problema del perfil vertical se resuelve automáticamente”*¹⁰⁶.

1.3.7 Aplicabilidad de meteorología de pronóstico

Según lo señalado por el Handbook, *“...el uso de datos de modelos de pronóstico para impulsar la modelación de la dispersión de los olores ya sea como una única pseudoestación o como datos tridimensionales, es cada vez más frecuente, y es el enfoque preferido para obtener datos representativos si no se dispone de datos medidos in situ”*¹⁰⁷. Su aplicación toma especial relevancia en presencia de emplazamientos con una orografía compleja, ante lo cual señala que *“...en los casos en que las fuentes se encuentran en sitios con condiciones evolutivas frecuentes, por ejemplo, en presencia de brisas, donde los modelos de diagnóstico generalmente no son capaces de reconstruir la dinámica del fenómeno”*¹⁰⁸. Del mismo modo, señala que es razonable su uso cuando la estación observada disponible dentro del dominio se encuentra distante de la instalación, indicando que *“...debemos utilizar un modelo tridimensional para reconstruir los*

¹⁰⁴ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁰⁵ *Ibid.*

¹⁰⁶ *Ibid.*

¹⁰⁷ *Ibid.*

¹⁰⁸ *Ibid.*

campos meteorológicos en el dominio de cálculo y comprobar si el modelo reproduce los valores medidos en el punto de la estación”¹⁰⁹.

Algunos modelos pueden incorporar directamente la salida de datos de los modelos de pronóstico, tal como señala el Handbook, “...pueden ser totalmente independientes, por ejemplo, el sistema de meteorología y predicción avanzada, comúnmente conocido como WRF”¹¹⁰. Los modelos de pronóstico, “...basan en análisis sinópticos a gran escala y resuelven numéricamente las ecuaciones de la dinámica atmosférica para determinar las condiciones meteorológicas locales. No necesitan datos meteorológicos locales para funcionar, aunque si los datos están disponibles, como ocurre en las ejecuciones de modelos de reanálisis (en contraposición a la predicción), los modelos de pronóstico utilizan estos datos históricos para impulsar la solución numérica hacia la observación”¹¹¹.

Entre las capacidades de los modelos de pronóstico, el Handbook señala que, “...son capaces de representar todas las escalas, desde la global hasta las características en el rango de 1-10 [km]. La mayoría se ejecuta en un formato anidado con el dominio exterior que cubre distancias del orden de 500-1000 [km] (para la escala regional), y al menos 3 nidos interiores”; “... todos los dominios de los modelos se inicializan utilizando análisis grueso (modelos globales) o de área limitada, generalmente gestionados por los servicios meteorológicos nacionales. Estos son proporcionados por muchas agencias de predicción o instituciones similares, como el Centro Meteorológico Nacional de los Estados Unidos, el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo, la Oficina Meteorológica del Reino Unido o la Oficina Australiana de Meteorología”¹¹².

En la última década, se ha pasado de utilizar de MM5 a WRF, el cual es un modelo numérico de predicción meteorológica a mesoescala de última generación, diseñado para servir tanto a las necesidades de predicción operativa como de investigación atmosférica, según lo señalado por el Handbook “...el WRF es un modelo de predicción meteorológica tridimensional y contiene una dinámica no hidrostática, una variedad de opciones físicas y la capacidad de realizar la asimilación de datos en cuatro dimensiones (Four Dimensional Data Assimilation o FDDA). El modelo es capaz de simular una variedad de fenómenos meteorológicos como ciclones tropicales, tormentas convectivas severas, brisas marinas y terrestres y flujos forzados por el terreno, como los sistemas de vientos de valles de montaña”¹¹³. Además, señala que este modelo “...es muy adecuado para realizar simulaciones FDDA retrospectivas con el fin de desarrollar un conjunto de datos meteorológicos tridimensionales de alta resolución para apoyar la modelación de la calidad del aire”¹¹⁴.

¹⁰⁹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹¹⁰ *Ibid.*

¹¹¹ *Ibid.*

¹¹² *Ibid.*

¹¹³ *Ibid.*

¹¹⁴ *Ibid.*

El Handbook que el modelo WRF “...se utiliza habitualmente para generar datos meteorológicos, ya sea en forma de una única estación de superficie o de un único perfil vertical de datos, o bien en forma de grilla de datos tridimensionales en regiones con escasez de datos”¹¹⁵. Generalmente su aplicación se inicia normalmente “...con un modelo de previsión global como el ECMWF (Centro Europeo de Previsiones a Medio Plazo), o el Sistema de Predicción Global (GFS) a una resolución de aproximadamente 0,5 [grados]. El primer dominio grueso suele tener un tamaño de grilla de 36 km, seguido de dos o tres dominios anidados con una resolución de grilla cercana a la proporción de 3,3. El WRF se ejecuta habitualmente con 30 - 40 capas verticales desde la superficie hasta los 100 [hPa]”¹¹⁶. Describiendo de este modo, “...los campos tridimensionales de temperatura, velocidad y dirección del viento y humedad a través de la región con una resolución espacial mucho mayor que el análisis inicial proporcionado al modelo”¹¹⁷.

Como se indica en el Handbook, “...normalmente, los modelos de pronóstico se ejecutan en múltiples nidos en los que el más interno se encuentra en la región de 1 [km] a 4 [km]. Si la resolución es lo suficientemente fina como para resolver características meteorológicas importantes como las brisas marinas y terrestres, los ciclones y frentes en desarrollo, el terreno y los usos del suelo no homogéneos, entonces es apropiado utilizar directamente los datos de la grilla de pronóstico. Sin embargo, si estas características no pueden resolverse y no es práctico desde el punto de vista computacional ejecutar el pronóstico con resoluciones de grilla mucho más finas, entonces se puede utilizar un modelo meteorológico de diagnóstico con una resolución espacial mucho mayor, por ejemplo, de 150 [m], sin ineficiencias computacionales. La salida del modelo de diagnóstico se pasa al modelo de dispersión que evaluará la dispersión del olor a la misma escala fina que el modelo de diagnóstico”¹¹⁸.

El programa MMIF (Mesoscale Model Interface Program), es una herramienta desarrollada por la EPA de EE.UU., según lo descrito en el Handbook, “...tiene la capacidad de dar salida a los datos del modelo de pronóstico en un formato que se puede introducir directamente en los modelos de dispersión lagrangianos avanzados”¹¹⁹. De este modo el programa MMIF “... elimina efectivamente la necesidad de cualquier modelo meteorológico intermedio. El efecto de esto es que el modelo de dispersión ahora utiliza directamente la salida del modelo de pronóstico en la resolución y el terreno en el que se produjeron los datos”¹²⁰.

¹¹⁵ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹¹⁶ *Ibid.*

¹¹⁷ *Ibid.*

¹¹⁸ *Ibid.*

¹¹⁹ *Ibid.*

¹²⁰ *Ibid.*

1.4 Análisis de incertidumbre

1.4.1 Estimación de incertidumbre del modelo meteorológico

En modelos de dispersión que utilizan datos meteorológicos de pronóstico, se requiere según lo señalado por el Handbook, de *“...una evaluación cuantitativa y gráfica de los datos meteorológicos que proporcione cierta confianza en la precisión de los campos meteorológicos para la modelización de la dispersión de olores”*¹²¹. Además, señala que *“...se puede esperar que el nivel de evaluación cuantitativa sea significativamente mayor, que para aquellos modelos que utilizan datos observacionales de una sola estación, donde el análisis gráfico puede ser suficiente”*¹²².

Como señala el Handbook *“...el objetivo de la evaluación de los datos meteorológicos es determinar si se puede confiar, y en qué medida, en los campos de salida del modelo (por ejemplo, el viento, la temperatura, la razón de mezcla, la difusividad, las nubes/la precipitación y la radiación) que se utiliza como entrada en los modelos de dispersión”*¹²³.

Respecto a la confiabilidad del modelo meteorológico el Handbook señala que esta *“...puede abordarse desde el punto de vista fenomenológico (es decir, ¿el modelo simula correctamente los procesos clave?) y normativo. Una de las cuestiones más importantes es si los campos meteorológicos modelados son adecuados para su uso en apoyo de diversos ejercicios de modelación de la calidad del aire”*¹²⁴. Para ello, *“...es necesario cuantificar el ajuste de los campos meteorológicos proyectados para juzgar su idoneidad para su uso en la modelación de olores”*¹²⁵.

Tanto para las simulaciones de eventos como para las anuales, el Handbook señala que *“...es importante que las bases de datos de observación con las que se comparen los resultados del modelo consistan exclusivamente en mediciones rutinarias en superficie y en altura realizadas por el Servicio Meteorológico Nacional de cada país y otros organismos estatales. La evaluación debe centrarse en la capacidad del modelo meteorológico para estimar correctamente la velocidad del viento en superficie y en altura, la dirección del viento, la temperatura, la razón de mezcla y la precipitación en las escalas temporales y espaciales pertinentes”*¹²⁶.

En complemento a lo anterior, señala que *“...los procedimientos estadísticos incluyen velocidades medias escalares y vectoriales del viento, desviaciones estándar en vientos medidos y observados, errores RMSE (total más componentes sistemáticos y no sistemáticos), dos medidas de habilidad del modelo, el índice de acuerdo, así como la media y las desviaciones estándar en las velocidades del viento modeladas y observadas. Las medidas estadísticas para la temperatura, la razón de mezcla y la precipitación deben incluir las medias, los sesgos, los errores brutos y el índice de acuerdo”*¹²⁷. Del mismo modo señala que *“...las medidas estadísticas se complementan con una variedad de visualizaciones gráficas que incluyen gráficos de series de tiempo de variables,*

¹²¹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹²² *Ibid.*

¹²³ *Ibid.*

¹²⁴ *Ibid.*

¹²⁵ *Ibid.*

¹²⁶ *Ibid.*

¹²⁷ *Ibid.*

campos de parámetros bidimensionales, perfiles verticales de variables de pronóstico y observadas, diagramas de tipo Skew-T, diagramas de dispersión y rosas de viento”¹²⁸.

1.4.1.1 Indicadores de desempeño

En la evaluación de desempeño de las variables meteorológicas el Handbook señala que “...es necesario contar con algunos puntos de referencia con los que comparar las nuevas simulaciones de modelos de pronóstico. En dos estudios (Tesché et al 2001, 2001b¹²⁹; Emery et al 2001¹³⁰), se intentó formular un conjunto de puntos de referencia para la evaluación de modelos de mesoescala basados en la literatura de evaluación de desempeño más reciente en ese momento”¹³¹. Algunos de los indicadores de desempeño propuestos en el Handbook para las variables atmosféricas más relevantes se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2 – Indicadores estadísticos para evaluar el desempeño de las variables meteorológica pronosticada

Indicador	Velocidad del viento	Dirección del viento	Temperatura	Humedad
IOA	≥ 0,6	-	≥ 0,8	≥ 0,6
RMSE	≤ 2 [m/s]	-	-	-
Sesgo medio	≤ ± 0,5 [m/s]	≤ ± 10 [°]	≤ ± 0,5 [°K]	≤ ± 1 [g/kg]
Error bruto	-	≤ 30 [°]	≤ 2 [°K]	≤ 2 [g/kg]

Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022.¹³²

1.4.1.2 Herramientas de evaluación gráfica

Como señala el Handbook, “...a lo largo de los años se ha desarrollado una gran variedad de métodos de análisis y visualización de gráficos para evaluar el rendimiento de los modelos meteorológicos. Hay una serie de procedimientos para representar gráficamente y comparar directamente los resultados de los modelos y las observaciones”; “...Algunas de las representaciones gráficas más conocidas son: a) la correlación temporal (serie de tiempo) entre las estimaciones puntuales y las observaciones; b) la distribución espacial (campos de viento) de las cantidades estimadas; c) la correlación entre los pares horarios pronosticados, observaciones, residuos y distribuciones; d) la variación de la media, el sesgo y las estimaciones de error en función del tiempo y el espacio; e) el grado de desajuste entre las estimaciones del modelo y las mediciones en un punto”.

¹²⁸ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

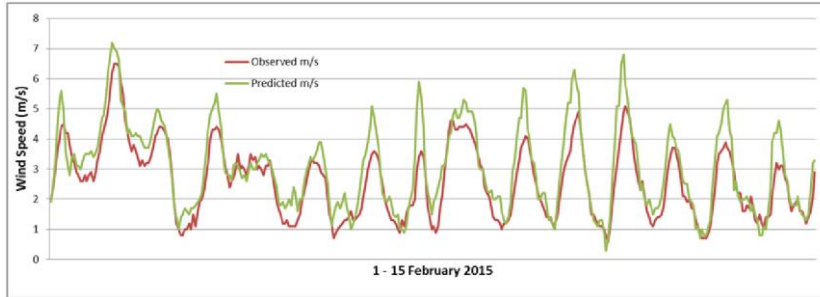
¹²⁹ Tesché. T.W., et al. (2001). *Evaluation of the MM5 Model Over the Midwestern U.S. for Three 8-hour Oxidant Episodes*. Kansas City Ozone Technical Workgroup. United States.

¹³⁰ Emery, C., Tai, E. (2001). *Enhanced Meteorological Modeling and Performance Evaluation for Two Texas Ozone Episodes*. Texas Natural Resources Conservation Commission - ENVIRON, International Corp. United States.

¹³¹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

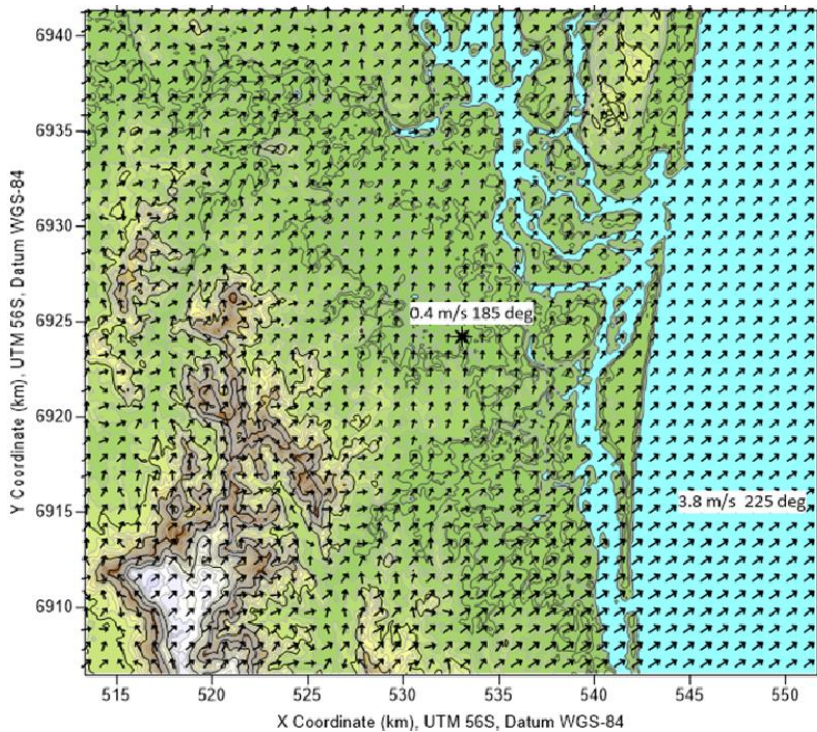
¹³² Ibid.

Figura 1 – Evaluación gráfica de series de tiempo pronóstico y observada



Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022¹³³.

Figura 2 – Evaluación gráfica de distribución espacial de campos de vientos

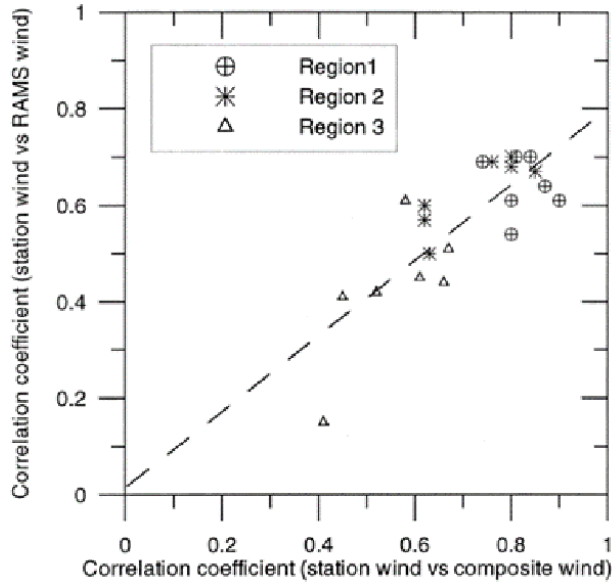


Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022.¹³⁴

¹³³ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

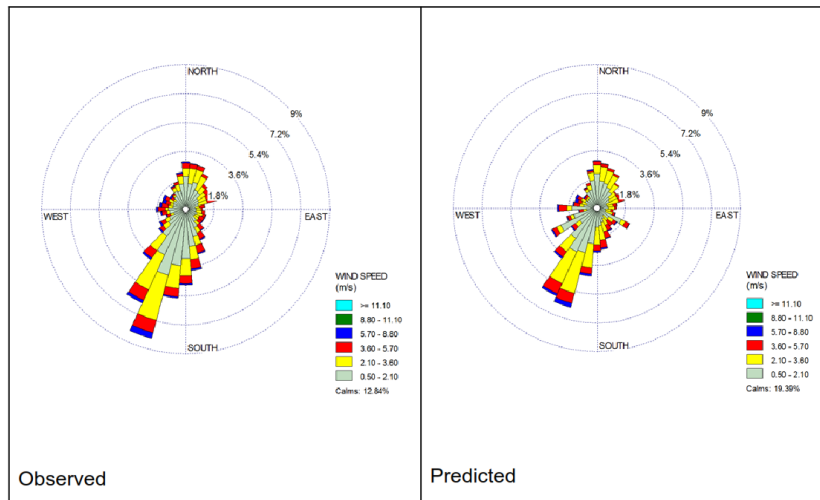
¹³⁴ *Ibid.*

Figura 3 – Evaluación gráfica de correlación entre vientos de pronóstico y observados



Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022.¹³⁵

Figura 4 – Evaluación gráfica de rosas de viento entre datos de pronóstico y observados

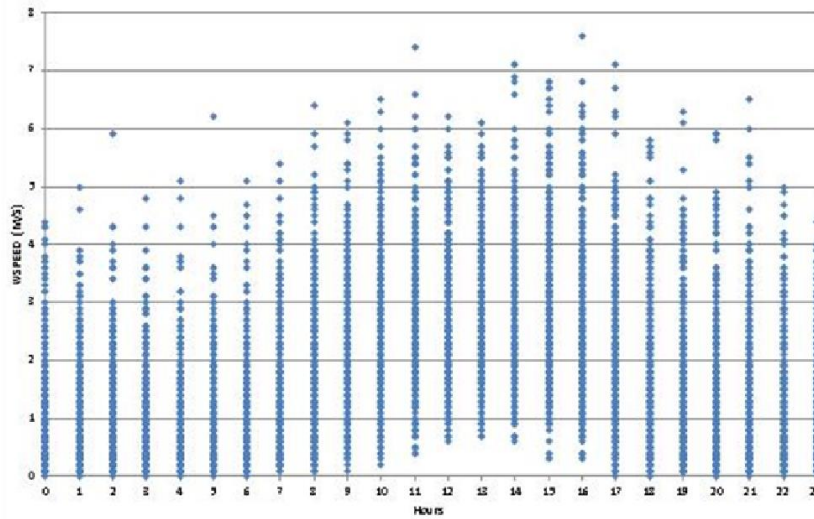


Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022.¹³⁶

¹³⁵ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹³⁶ *Ibid.*

Figura 5 – Evaluación gráfica de gráfico de dispersión de velocidad del viento



Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022.¹³⁷

¹³⁷ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

1.5 Parametrización del modelo

1.5.1 Caracterización de datos geofísicos

Tal como señala el Handbook, una de las dificultades de la parametrización de los datos de entrada, “...está relacionada con la preparación del campo meteorológico. Hay que afrontar y resolver problemas prácticos. Por ejemplo, dentro de un dominio de terreno complejo, el usuario debe decidir cuál es la resolución de la grilla capaz de describir las características del terreno sin que se requiera de un enorme número de puntos de cálculo. Una sugerencia empírica en estos casos es describir cada característica del terreno con cuadrículas de $5/10^{138}$). Por ejemplo, si el ancho de un valle es de 2 [km], el usuario debería utilizar una cuadrícula meteorológica de entre 400 [m] y 200 [m]”¹³⁹.

Una vez definido el dominio y la grilla meteorológica, se debe determinar la elevación media del terreno y de uso de suelo de cada celda de la grilla. Con relación a ello, el Handbook señala “...los datos del terreno (en bruto) deben tener una resolución espacial igual o superior a la celda de la grilla. Por ejemplo, los datos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) pueden utilizarse para este fin para prácticamente cualquier dominio del mundo¹⁴⁰. La misma operación debe realizarse para los datos de uso del suelo”. Donde cada celda “...debe definirse como el predominante, no el promedio como en el caso del terreno”; “...Se debe realizar una comprobación final para evaluar la exactitud de los valores cuadrículados del terreno y del uso del suelo, por ejemplo, mediante herramientas como Google Earth”¹⁴¹.

1.5.2 Aplicabilidad de flujo descendente (building downwash)

En la proyección de las emisiones de una instalación que cuenta con fuentes odorantes de tipo puntual (Ej. chimeneas), es necesario evaluar la influencia que pueden tener edificios o estructuras relevantes sobre el comportamiento de la pluma odorante. Como señala el Handbook, “...el flujo descendente da lugar a un aumento de los valores de concentración inmediatamente a sotavento de la chimenea”¹⁴².

Según lo definido por el Handbook, este tipo de situación tiene lugar “...cuando la relación entre la velocidad de salida y la velocidad del viento a la altura de la chimenea es inferior a 1,5. El efecto es más pronunciado en las chimeneas de gran diámetro”¹⁴³.

¹³⁸ <http://www.src.com/calpuff/FAQ-answers.htm>

¹³⁹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁴⁰ <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>

¹⁴¹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁴² *Ibid.*

¹⁴³ *Ibid.*

1.5.3 Consideraciones en la determinación de la tasa de emisión

Como describe el Handbook, “...para la modelización de la dispersión de olores, la entrada principal es la tasa de emisión de olores (OER¹⁴⁴). Este parámetro necesita, en primer lugar, recoger y analizar el olor para su concentración y, en segundo lugar, determinar un caudal de aire”¹⁴⁵. Del mismo modo señala que “...el método de muestreo influirá mucho en la caracterización y es importante vincular los parámetros de la fuente con el protocolo de muestreo propuesto. Según la técnica aplicada, existen diferentes formas de estimar la OER. El valor obtenido está estrictamente relacionado con los detalles técnicos específicos del muestreo y debe considerarse entonces como un valor "relativo". Esto significa que otro protocolo de muestreo puede dar otros valores. Por lo tanto, la tasa de emisión de olores de una fuente puede ser diferente debido al método de muestreo adoptado. Esto, a su vez, afectará a la entrada de la tasa de emisión y a las predicciones del modelo”¹⁴⁶. En relación al protocolo de muestreo señala que “...es esencial para la determinación de la concentración de olor, ya que, si la olfatometría puede presentar una incertidumbre, el método de muestreo y su rigurosidad son puntos clave para el resultado global del análisis”¹⁴⁷.

Una aplicación metodológica adecuada de los protocolos de muestreo permitirá asegurar la representatividad de las emisiones y su vinculación con los parámetros operacionales de fuentes caracterizadas. Siendo de gran relevancia el manejo de los principios técnicos del muestreo, en relación con la selección del punto muestreo, al uso idóneo de equipos e instrumentos de medición, variabilidad operacional, entre otros. Del mismo modo, el valor muestreado debe ser considerado como relativo y específico de una condición operacional, dado que al ejecutar otro protocolo de muestreo en la misma fuente y bajo el supuesto de las mismas condiciones operacionales, podría dar lugar a valores de concentración distintos¹⁴⁸. Por lo tanto, la Tasa de Emisión de Olor de una fuente puede ser diferente debido al método de muestreo adoptado, lo que afectará tanto la tasa de emisión que ingresa al modelo como los resultados de la proyección de olor¹⁴⁹.

Para una caracterización representativa de la fuente emisora, el Handbook señala que “...para la modelación de la dispersión se necesitan otros datos importantes de la fuente, como la altura de emisión, la temperatura de los gases de salida, la velocidad de los gases de salida y la superficie de emisión”¹⁵⁰. El desarrollar un plan de muestreo adecuado y representativo tanto de la instalación como de sus fuentes odorantes, señalando que “...deberá tener en cuenta que la zona muestreada es representativa de la totalidad de las emisiones de la fuente de la zona”. Del mismo modo, es necesario “...comprobar las heterogeneidades y definir una estrategia de muestreo. Seleccionando los puntos de muestreo en función de los caudales representativos de las fuentes”¹⁵¹.

¹⁴⁴ Odour Emission Rate o Tasa de Emisión de Olor (TEO).

¹⁴⁵ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁴⁶ *Ibid.*

¹⁴⁷ *Ibid.*

¹⁴⁸ *Ibid.*

¹⁴⁹ *Ibid.*

¹⁵⁰ *Ibid.*

¹⁵¹ *Ibid.*

Otro elemento de importancia en la incertidumbre de los datos de entrada tiene relación según lo señalado por el Handbook con “...una degradación significativa (por ejemplo, una reducción de > 50%) de la concentración de olores en las muestras dentro de las 30 horas posteriores al muestreo”; “Esta es una de las razones por las que la norma alemana VDI 3880 permite un tiempo máximo de 6 horas entre el muestreo y el análisis”¹⁵².

1.5.4 Caracterización de línea base de olor

Una forma de caracterizar la línea base de olor en una zona de estudio corresponde según lo señalado en el Handbook con “...el método de la grilla correspondiente a un método de estudio estadístico que se aplica durante un periodo de tiempo suficientemente largo, para proporcionar un mapa representativo de la exposición a un olor reconocible, y su distribución espacial en el área de evaluación. Estas mediciones en cuadrículas se utilizan para determinar la distribución de la frecuencia horaria de olores reconocibles en el aire ambiente, en un área de evaluación, bajo condiciones meteorológicas que se suponen representativas de una meteorología local”¹⁵³. En este sentido señala que la frecuencia horaria de olores “...es un indicador de exposición a los olores, y puede utilizarse para evaluar la exposición a olores reconocibles procedentes de una o varias fuentes de olores específicas que se emiten en una zona de estudio concreta”¹⁵⁴.

En la aplicación del método de la grilla señala que “...la evaluación tiene lugar en 104 días del año”; “Se planificar una duración más corta por razones prácticas, pero la medición será de al menos seis meses, con una escala mínima de 52 mediciones individuales para cada cuadrícula de evaluación. En este caso, los meses más fríos y los más cálidos deberán estar igualmente representados para denotar un año completo”; “...para efectos estadísticos, a lo largo de la medición, todos los días de la semana deberán estar representados de forma aproximadamente igual en la planificación de la medición. El inicio diario de una medición deberá modificarse y, tras cuatro mediciones, se cubrirán todas las horas del día (mañana, tarde, noche y noche)”¹⁵⁵.

1.6 Estimación y cuantificación de impacto odorante

1.6.1 Cuantificación de la sumatoria de los impactos (efecto sinérgico)

Como señala el Handbook, “...en el medio ambiente, hay un número importante de situaciones en las que las molestias por olores se deben a la emisión de múltiples fuentes. Por ejemplo, un centro municipal de tratamiento de residuos se caracteriza por varios tipos de fuentes: fuentes de área/volumen (pila de compost; existencias de residuos, etc.), fuentes puntuales (salida de biogás), fuentes difusas (fugas de los edificios). Además, la ubicación de la fuente puede ser estática o en movimiento (por ejemplo, camiones, volteo de una pila de compost, etc.)”¹⁵⁶.

¹⁵² International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁵³ *Ibid.*

¹⁵⁴ *Ibid.*

¹⁵⁵ *Ibid.*

¹⁵⁶ *Ibid.*

Además, señala que, “...éstas pueden tener características temporales, que deben tenerse en cuenta. Si los parámetros de emisión dependen de la hora del día o de la época del año (por ejemplo, en el caso de operaciones estacionales) o de las condiciones meteorológicas (fuentes inducidas por el viento), deben considerarse, al igual que los parámetros meteorológicos, en forma de serie temporal anual en el cálculo de la dispersión de los olores”¹⁵⁷.

En el caso de actividades con fuentes que dependen del tiempo, el Handbook señala que “...en el caso de los parámetros de emisión que varían temporalmente y para los que no se pueden dar series temporales, hay que utilizar las condiciones de funcionamiento más desfavorables para el control de la contaminación atmosférica durante el funcionamiento normal de acuerdo con la normativa”¹⁵⁸. De aplicar este tipo de criterio, el Handbook señala que “...hay que explicar qué condiciones de funcionamiento se consideran las más desfavorables. Puede tratarse de condiciones temporalmente constantes, pero también de aquellas que dependen del tiempo (por ejemplo, el ciclo día-noche específico de la producción)”¹⁵⁹.

En ciertas situaciones la autoridad ambiental solicita representar un escenario desfavorable donde se evalué el impacto en base a contribución odorante de un conjunto de distintas instalaciones industriales. En este sentido se debe tener en consideración un escenario desfavorable, según lo descrito en el Handbook, “...puede que no refleje la realidad en una situación determinada con quejas. En este caso, los datos utilizados deben reflejar la realidad en la medida de lo posible. Estos datos tienen que encontrarse en inventarios de seguimiento/documentos publicados para emplazamientos similares”¹⁶⁰.

En efecto, tal como señala el Handbook, “...en los modelos de dispersión, la principal variable introducida en el software es la emisión de olor, sea cual sea su naturaleza (Ej. olor a abono, olor a granja, etc.). Sin embargo, hay muchas situaciones, especialmente en el caso de fuentes múltiples, en las que el carácter del olor es importante. Normalmente, se considera que los distintos caracteres de los olores son los mismos. Sin embargo, para evaluar la exposición a los olores, hay que tener en cuenta los diferentes tipos de olores”¹⁶¹.

De acuerdo con lo descrito en el Handbook, “...la tasa global de emisión de olores no puede determinarse mediante un simple muestreo de emisiones y mediciones olfatométricas en el laboratorio, sobre todo en el caso de emplazamientos complejos”¹⁶². Debido a que la operación de múltiples fuentes (Ej. emisiones fugitivas, de vehículos, superficies heterogéneas, etc), “...genera diversos olores en la atmósfera con un alto índice de variabilidad. Suponiendo de que cada fuente de olor diferente es independiente y no se combina con las demás”. Por lo tanto, según lo señalado en el Handbook, “...la modelación de forma independiente, de cada tipo diferente de olor de la misma instalación (por ejemplo, el olor del compost, del biogás, etc.) puede tener sentido para evaluar la contribución de cada fuente diferente al olor global”¹⁶³.

¹⁵⁷ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁵⁸ *Ibid.*

¹⁵⁹ *Ibid.*

¹⁶⁰ *Ibid.*

¹⁶¹ *Ibid.*

¹⁶² *Ibid.*

¹⁶³ *Ibid.*

Sin embargo, para acercarse a la noción de molestia (considerando FIDOS), el Handbook señala que “... el carácter hedónico es esencial y es idealmente necesario involucrar a la comunidad y aumentar la participación ciudadana”¹⁶⁴.

1.6.2 Validación del modelo

La validación de modelos es señalada en el Handbook como “...una fase fundamental en el desarrollo y la utilización de modelos matemáticos - tanto analíticos como numéricos - porque permite determinar la confiabilidad del modelo”¹⁶⁵. Sin embargo, complementa “...está claro que la validación de un modelo de dispersión de olores es bastante complicada y presenta varias incertidumbres. Sin embargo, la validación sigue siendo un proceso obligatorio, por lo que tenemos que hacer el pastel con los ingredientes que tenemos en la cocina”¹⁶⁶.

Los resultados del modelo y los procedimientos aplicados para su validación dependen en gran medida del tipo de modelo utilizado y del conjunto de datos disponibles. Algunos de los resultados utilizados con mayor frecuencia como elementos de validación corresponden a concentración de olor en receptores, percentiles, frecuencia, duración e incluso distancia de separación fuente/receptor.

Respecto a la validación, el Handbook señala “...cuando el contaminante de interés es el olor -no un contaminante oloroso como el H₂S, sino el olor, no se dispone de series de tiempo de concentración, ya que la medición del olor en el campo es una tarea complicada y prácticamente nunca se dispone de emisiones detalladas”. Del mismo modo señala que “...un problema adicional en la validación de los modelos de dispersión de olores es que el olor es ubicuo y su medición en una posición específica no puede asociarse con seguridad a la emisión de interés, especialmente cuando aumenta la distancia a la misma. Otro reto es que el olor a nivel de la emisión se suele medir utilizando miembros de un panel humano, y por tanto la medición está asociada a una gran variación”¹⁶⁷.

En los modelos de calidad del aire la validación, según lo indicado en el Handbook, “...suelen estar relacionados con las emisiones de una chimenea, donde las características de la fuente y las variables de las emisiones se miden con precisión, incluso para períodos de tiempo relativamente largos”¹⁶⁸. Por el contrario, en la validación de olores, señala que “...las concentraciones de olor (en términos de ou_E/m³) dentro de una chimenea no se miden de forma continua”. En la práctica “... ocurre que hay que utilizar una única observación para las emisiones relacionadas con períodos de tiempo relativamente largos”¹⁶⁹.

¹⁶⁴ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁶⁵ *Ibid.*

¹⁶⁶ *Ibid.*

¹⁶⁷ *Ibid.*

¹⁶⁸ *Ibid.*

¹⁶⁹ *Ibid.*

Por otra parte, muy a menudo la fuente de olor no es una chimenea, sino un estanque, una cámara o un edificio (Ej. un establo), a lo cual el Handbook indica que se debe tener en consideración que *“...la tasa de emisión es una función de las variables meteorológicas, así como de otras variables (por ejemplo, la temperatura interna del establo)”* ¹⁷⁰. Por lo tanto, se desconoce como estas variables podrían influir en las emisiones que se busca validar a menos que se realice el muestreo de la fuente para esa condición.

En este sentido, de acuerdo con lo señalado en el Handbook, *“...las narices electrónicas podrían ser de gran ayuda en las mediciones de campo de los olores, pero se debe realizar un trabajo adicional para considerarlas como dispositivos confiables”* ¹⁷¹.

Uno de los métodos de validación utilizados corresponde al método de la grilla, mediante la estimación de frecuencia de exposición de olores en una posición específica. Si bien esta metodología requiere de un amplio número de mediciones de campo a lo largo del periodo anual para la caracterización estacional del nivel de exposición. Estos resultados pueden estar sujetos a una gran variación, debido a la naturaleza fisiológica de las mediciones de olor, incluso con miembros del panel entrenados. ¹⁷²

Otro de los métodos utilizados para validar los resultados del modelo de dispersión de olores es mediante la aplicación de encuestas, permitiendo evaluar la capacidad del modelo de reproducir aquellas zonas donde la comunidad evidencia cierto nivel de molestia. Según lo señalado por el Handbook, es posible relacionar los resultados de las encuestas con las estimaciones de olor del modelo, *“...mediante herramientas de regresión logística binomial, mientras que la capacidad de predicción puede ser evaluada mediante parámetros estadísticos”* ¹⁷³.

El análisis de quejas es utilizado como herramienta de validación de los modelos de dispersión de olores. De acuerdo con lo señalado en el Handbook, esto puede realizarse *“...relacionando las quejas registradas por la comunidad sobre una planta específica y las emisiones de olor estimadas para dicha planta. Como mínimo, este tipo de validación permite evaluar la capacidad de un modelo para predecir el olor en lugares y momentos específicos, aunque la evaluación de la intensidad del olor podría ser más compleja de integrar en el análisis”* ¹⁷⁴.

¹⁷⁰ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁷¹ *Ibid.*

¹⁷² *Ibid.*

¹⁷³ *Ibid.*

¹⁷⁴ *Ibid.*

1.7 Metodologías, protocolos y/o herramientas relacionadas en forma directa e indirecta con la evaluación, modelación y gestión de olores

Además de la evaluación periódica del proyecto o actividad, y de los posibles compromisos ambientales voluntarios que pudiese haber establecido el titular para el seguimiento de su proyecto, existen ciertas metodologías que pueden ser requisito o ayuda para la elaboración de un Plan de Seguimiento Ambiental y/o un Plan de Gestión Odorante y que van en directa relación con la modelación de olores.

Además de la evaluación periódica del proyecto o actividad, y de los posibles compromisos ambientales voluntarios que pudiese haber establecido el titular para el seguimiento de su proyecto, existen ciertas metodologías que pueden ser requisito o ayuda para la elaboración de un Plan de Seguimiento Ambiental y/o un Plan de Gestión Odorante y que van en directa relación con la modelación de olores.

1.7.1 Salida Dosis-Respuesta – Protocolo FIDOS

La Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA, 2017 (en adelante guía de olores)¹⁷⁵ menciona que: “las personas son las que perciben el olor y, por lo tanto, son las receptoras de impactos por emisiones de olor”. Luego, la evaluación de impactos por olor se podría asociar con los elementos establecidos en el artículo 11 de la Ley N° 19.300:

- Población, en cuanto a salud de la población (letra a);
- Grupos humanos, en cuanto a sus sistemas de vida y costumbres (letra c);
- Población protegida (letra d);
- Visitantes o turistas, en cuanto componen el valor turístico de una zona (letra e).

La misma guía indica que: “*para predecir los impactos por emisiones de olor es necesario levantar información sobre estos elementos en el área de influencia (AI)*”¹⁷⁶, teniendo como foco las personas como receptoras de olores.

Las modelaciones de impacto odorante son una herramienta que permite identificar la potencial existencia o no de impactos odorantes en receptores (alcance odorante que supere un nivel permisible de olor en el receptor). Sin embargo, el hecho de conocer si un nivel permisible de percepción de olores es superado o no en una coordenada, no necesariamente es indicador de afectación en el receptor ni de la significancia de los impactos, pues, la percepción de los olores no sólo depende de la concentración de olor (CO), sino también sensibilidad de cada individuo o comunidad, del número de veces que se produce ese olor, de su intensidad, de su desagrado y de la duración de los episodios de olor una vez que se perciben. La percepción de los olores también varía dependiendo de la experiencia, las expectativas, la motivación y el grado de alerta del receptor.¹⁷⁷

Actualmente en Chile, la guía de olores (2017)¹⁷⁸ establece que para estimar impacto por olor o el grado de molestia se utiliza la herramienta o protocolo conocido por su sigla FIDOL, cuyos

¹⁷⁵ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

¹⁷⁶ *Ibid*

¹⁷⁷ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

¹⁷⁸ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

parámetros son Frecuencia, Intensidad, Duración, Ofensividad y Localización. Este último factor (Localización) hace referencia a las actividades que desarrollan las personas y sus características como sensibilidad, vulnerabilidad u otras condiciones que determinan su percepción y respuesta al olor generado por las emisiones del proyecto.

En este contexto, debe considerarse la condición más desfavorable para los receptores, lo que se representa en criterios como:

- La consideración de la ubicación más expuesta del o los receptores a las emisiones de olor.
- Relacionar el tiempo en que se producen las emisiones con el ciclo vital de las personas. Por ejemplo, un olor percibido en la noche puede tener una respuesta distinta al que se percibe durante el día¹⁷⁹.

El “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling-Draft”¹⁸⁰, se refiere al protocolo FIDOL como FIDOS, modificando el factor Localización (L) como Sensibilidad (S). Este enfoque incluye el análisis de la situación de la persona en el periodo de exposición al olor. Esto significa que esta sensibilidad depende de la ubicación (lugar de trabajo, hogar), la actividad (tiempo de trabajo, fin de semana, vacaciones), el sentimiento del momento (felicidad o no), entre otros aspectos.

Como se ha mencionado, el solo hecho de ocurrir alcance odorante en un receptor no supone molestia, pues para efectos del modelo de dispersión, el receptor es una coordenada en un plano, pero no nos entrega mayor información sobre la presencia o no de los habitantes representativos de ese punto receptor. Los resultados del modelo de dispersión tampoco observan comportamientos y costumbres que efectivamente aseguren que ese receptor es afectado por la presencia de olores en la zona en estudio, pues los olores causan molestia cuando son percibidos y no solamente emitidos.

Frecuencia: Los modelos de dispersión son relevantes, ya que permiten calcular la concentración de olor en determinados puntos receptores (inmisión), permitiendo estimar las *frecuencias* de percepción de olor en función del tiempo modelizado¹⁸¹. La guía SEA (2017) describe este factor como: “*la frecuencia que la o las personas están expuestas al olor*”¹⁸².

El “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling-Draft”¹⁸³, describe que la frecuencia es una función de las variaciones de las emisiones de olor a lo largo del tiempo (variable operacional), y de las condiciones meteorológicas en el área alrededor de una fuente de olor (variable meteorológica).

¹⁷⁹ Ibid.

¹⁸⁰ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

¹⁸¹ Ibid.

¹⁸² Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

¹⁸³ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org.

Por lo tanto, el factor Frecuencia permite evaluar si el impacto de un olor en un punto receptor es significativo o no en función de los comportamientos y actividades rutinarias del receptor y la frecuencia de percepción de olor modelada para ese mismo punto.

Por otro lado, al considerar la temporalidad de las posibles exposiciones a determinados olores, el Handbook menciona que *“la exposición a los olores suele cuantificarse en términos de frecuencia de aparición de concentraciones medias horarias de un determinado olor por encima de una concentración límite definida. Considerando que los criterios de máximo impacto horario, o condición más desfavorable, no son representativos de una condición de exposición permanente sintetizada en un año, debido a la variación del estado meteorológico estacional de un determinado lugar, se recomienda el uso del criterio del percentil, que permite visualizar los porcentajes de horas en que se supera el valor definido para las 8.760 horas del año (es la relación entre frecuencia y percentil).”*¹⁸⁴

Intensidad: La guía SEA (2017) describe este factor como: *“la percepción de la fuerza del olor. Por ejemplo, un olor que en principio no se considera desagradable, pero que es percibido a una elevada intensidad, puede convertirse en molesto, a pesar de que la frecuencia a la que se está expuesto sea reducida”*¹⁸⁵.

De la misma forma, el Handbook se refiere a esta variable de la evaluación del olor como *“La percepción de la intensidad de un olor es lo fuerte que se percibe un olor. La intensidad de un olor describe la magnitud relativa de la sensación de un olor que experimenta una persona. La percepción de la intensidad de un olor en relación con la concentración del mismo sigue una relación logarítmica (la misma relación se da para otros sentidos humanos, como el oído y la sensibilidad a la luz). Por lo tanto, para entender el concepto de intensidad, debemos definir primero el concepto de concentración de olor. Según la norma EN 13725, la concentración de olor es “el número de unidades europeas de olor por metro cúbico en condiciones normales”. La concentración de olor se mide en unidades europeas de olor y su símbolo es ou_E ”*¹⁸⁶.

De lo anterior, se tiene que como la intensidad de un olor está relacionada logarítmicamente con la concentración de un olor, implica que la reducción o disminución en la concentración de olor medida por olfatometría un determinado número de veces, no implica una disminución en la misma proporción en la intensidad del olor medido, y a su vez, no tiene relación directa con la molestia, es decir, pueden existir intensidades de olor altas, pero que no produzcan molestia. Por lo tanto, la misma concentración (estímulo) de diferentes odorantes no provoca la misma percepción de intensidad (respuesta) en las personas, en consecuencia, las concentraciones de olor por encima del umbral de detección no son indicadores directos de la intensidad de olor percibida y por ende de la probabilidad de causar molestia en el receptor¹⁸⁷.

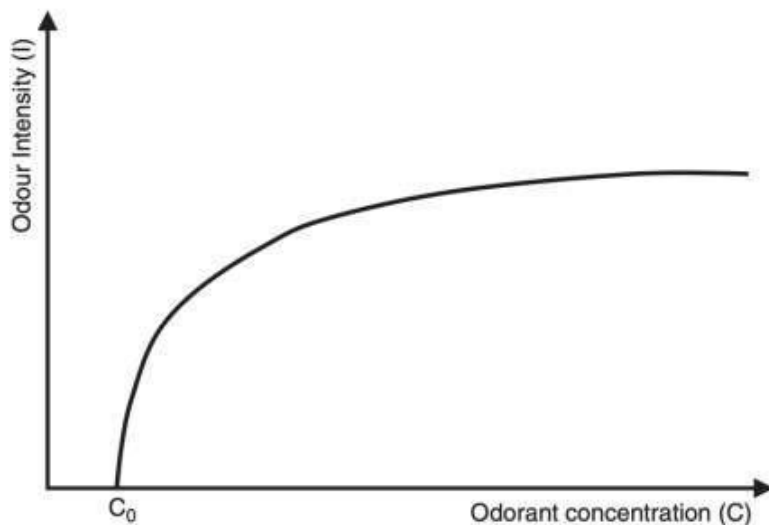
Figura 6 – Relación logarítmica entre la intensidad y la concentración

¹⁸⁴ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

¹⁸⁵ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). *Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA*. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

¹⁸⁶ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

¹⁸⁷ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org



Fuente: International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling – Draft, 2022.

Duración: La guía SEA (2017) describe este factor como “*tiempo que las personas están expuestas al olor. Indica el tiempo de un episodio de olor, es decir, cuanto tiempo la concentración de olor se mantiene por sobre el umbral de detección*”.¹⁸⁸

Las molestias por olores, en muchos casos están vinculadas a los peaks de concentración de olores a corto plazo, pues son las que generalmente alcanzan altos niveles con respecto al umbral de reconocimiento, causando una molestia inmediata. Los modelos de dispersión de olores son la herramienta estándar para las evaluaciones de impacto por olores, que se basan principalmente en la predicción de las concentraciones medias horarias. Normalmente, los modelos de dispersión no están diseñados para proporcionar concentraciones para intervalos de tiempo muy inferiores a una hora.¹⁸⁹

Debido a lo anterior, se han desarrollado métodos para poder obtener los valores de concentración de olor que pudiesen existir en el intervalo horario modelado, pues al utilizarse las medias horarias quedan fuera de análisis los valores intermedios de concentraciones de olor modeladas (minutos, segundos). Esto basado en que, en promedio, las inhalaciones humanas ocurren cada 1,6 segundos, por lo que en una hora podrían ocurrir en promedio 2.250 inhalaciones, concluyendo que los resultados de las medias horarias de concentración de olor podrían subestimar la percepción real de olores en un receptor. Generalmente estos fenómenos (variaciones de la concentración de olor en un receptor) ocurren función de los comportamientos de variables meteorológicas con conjunto con las variables operacionales (industrias con procesos batch o estacionarios).

Del planteamiento anterior es que nace el concepto de “*peak to mean*”, es el método más utilizado para adaptar las concentraciones a largo plazo (1 hora) calculadas utilizando modelos de

¹⁸⁸ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

¹⁸⁹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

dispersión, en concentraciones a corto plazo (minutos, segundos) para la evaluación sub-horaria de impactos por olor.

La determinación de la concentración máxima (corto plazo) sería más apropiada para describir la percepción de un olor que el valor medio (largo plazo), pero, como se mencionó, usualmente se utilizan modelos de dispersión que se basan en la predicción de concentraciones medias horarias, por lo que el método “*peak to mean*” permite predecir los valores de concentración de olor en el corto plazo, es decir, de la concentración media a largo plazo se puede obtener la concentración a corto plazo (peak)¹⁹⁰.

A continuación, se muestra cómo calcular los valores máximos:

$$C_p = C_m \times \left(\frac{t_m}{t_p} \right)^n$$

Donde:

C_p = concentración de olor en corto plazo

C_m = concentración de olor en largo plazo

t_m = largo plazo (1 hora)

t_c = corto plazo (minutos, segundos)

n = exponente empírico (fluctúa típicamente entre 0,18 y 0,68)

De esta forma, en casos en que los episodios de percepción de olor no estén representados por el modelo de dispersión típicamente aplicado (promedios horarios), se pueden obtener los valores de concentración de olor intermedios para así robustecer el análisis y evaluación odorante.

Ofensividad: La guía SEA (2017) describe este factor como “*la caracterización del olor, que puede ser agradable, neutro o desagradable. Este factor es una mezcla entre la calidad, el tono hedónico y la concentración del olor*”¹⁹¹.

Es con este parámetro que se le da una mirada subjetiva a la aceptabilidad de un olor, siendo un elemento clave en la estimación de la molestia por olor. Tal como el resto de los parámetros, la ofensividad debe ser analizada en conjunto con la intensidad, concentración, duración y frecuencia de la exposición al olor. Este factor, y el cómo es percibido y evaluado por los receptores, está relacionado con las propias experiencias de las personas con la sustancia olorosa y la carga odorante, independiente de la calidad del olor (descriptores).¹⁹²

En directa relación con la ofensividad, está la evaluación del Tono Hedónico, cuya evaluación se centra en catalogar un olor según nivel de agrado o desagradado. Para ello, la directriz alemana VDI 3882, describe una escala de Tono Hedónico de nueve puntos que van desde el valor -4 descrito como “extremadamente desagradable” hasta el valor +4 “extremadamente agradable”, pasando por el valor medio 0 descrito como neutro.

¹⁹⁰ Brancher et al. (2016). A review of odour impact criterio in selectes countries around the world.

¹⁹¹ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente. Chile

¹⁹² International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

En el contexto anterior, se desprende que el solo hecho de percibir un olor por sobre un nivel umbral no necesariamente generará molestia, pues la relación del receptor con el olor percibido es indeterminada.

Sensibilidad: El “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling-Draft”¹⁹³ abarca este factor desde un punto de vista más amplio que la Localización, definida en la guía de olores¹⁹⁴, integrando otro grupo de factores al análisis para así definir la sensibilidad no solo en base a la localización, sino que también a¹⁹⁵:

- Experiencia: los individuos pueden verse enfrentados a distintas experiencias durante el tiempo y que involucren percepciones odorantes. La memoria olfativa relaciona experiencias (positivas o negativas) con los olores presentes En el minuto en que se desarrollaron esas experiencias, y con ello otorgarle una evaluación a la percepción de esos olores característicos.
- Expectativas: las instalaciones industriales y su puesta en marcha traen dudas e inquietudes a quienes residen en las cercanías de estas con respecto a los impactos (positivos o negativos) que pueden generar en la comunidad. Generalmente los industriales realizan un primer acercamiento con la comunidad o existen instancias en las evaluaciones ambientales (participación ciudadana) en donde se recogen las inquietudes de la comunidad en cuanto al desarrollo del proyecto y sus probables impactos. La discordancia entre las expectativas generadas en cuanto a impactos odorantes y el impacto real percibido por la población genera una respuesta negativa cuando en la puesta en marcha del proyecto se superan los niveles odorantes que fueron proyectados.
- Motivación: las personas desarrollan sus actividades individual o colectivamente, motivados por sus objetivos personales. Cada individuo está dispuesto (o no) a tolerar distintos grados de agentes estresores que pudiesen estar presentes en el ambiente, en este caso, el olor. Existen individuos que, influenciados por objetivos laborales, sociales, familiares u otras motivaciones, están dispuestos a tolerar estos estresores en diferentes grados, con tal de satisfacer esos objetivos o motivaciones.
- Grado de alerta del receptor: dependiendo de las experiencias en cuanto a molestia por distintos componentes, algunos individuos pudiesen ser más o menos susceptibles que otros a los estímulos que generan las percepciones de olor, pudiendo relacionarse también con las experiencias previas o contingencias actuales que haya o estén ocurriendo en su lugar de residencia, trabajo, o donde este individuo se vea enfrentado a percepción de olores.

Al momento de la evaluación de los impactos, existen otros factores que ayudan analizar la sensibilidad del receptor:

- La cantidad de población afectada (ciudad grande, pueblo, casas dispersas, etc.).

¹⁹³ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

¹⁹⁴ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). *Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA*. Ministerio del Medio Ambiente. Chile

¹⁹⁵ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

- El uso del suelo donde se encuentra (industrial, rural, hospitalario, escolar, etc.).
- Los usos de la vivienda (continuo, ocasional, fortuito, paso repetido, etc.).
- Tipo de protección que pueda tener la zona impactada (sitio histórico, sitio natural, etc.).

Estos parámetros son técnicamente inviables de incluir en una modelación de dispersión de olores, y es por ello que existen otras herramientas paralelas que permiten identificar la sensibilidad de un receptor a los impactos de olor:

1. Entrevistas (por teléfono, cara a cara)

Generalmente se realizan entrevistas cortas por teléfono o presenciales, en donde se analizan las variables molestia (respuesta sí o no) y distancia del receptor a la instalación en estudio, donde algunos casos estudio muestran que existe una relación entre la cercanía a las instalaciones y el nivel de molestia del receptor.

2. Encuesta, cuestionarios

Las encuestas tienen por objetivo analizar la sensibilidad de la población mediante metodologías estandarizadas. En Chile, la NCh 3387:2015¹⁹⁶ se utiliza para evaluar la sensibilidad de la población, principalmente recomendada cuando un modelo de dispersión no muestra impacto, pero los ciudadanos si acusan percibir olores.

3. Diarios de olores

Los diarios de olor pretenden registrar los días en que se supera cierta intensidad de olor percibida en el ambiente. Es una técnica psicométrica que gracias a la información que se va acumulando, entrega datos sobre las percepciones de olor y como puede ir variando en un mismo día o entre días.

4. Análisis de los registros de reclamaciones

Este análisis necesita ser debidamente estructurado, pues en cómo se registran y analizan las quejas estará el éxito o no del uso de esta herramienta. Una dificultad típica está en que no todos los ciudadanos estarán disponibles para realizar las quejas u observaciones, por lo que se levanta la información solo de quienes realizan la labor, obviando a un porcentaje de la población que no sabe/quiere realizar las observaciones o quejas.

Estas herramientas psicométricas ayudan a ponderar la sensibilidad en los receptores y a comparar las características psíquicas de diferentes personas para así tratar de dar un carácter objetivo a la información levantada con respecto a la sensibilidad de los receptores.

1.7.2 Calcular el impacto de los olores equilibrando el tono hedónico de múltiples fuentes

Ante una tasa de emisión odorante de múltiples fuentes, se requiere saber la contribución de cada una para saber cuáles son aquellas que aportan mayor carga odorante y un potencial impacto.

La contribución de olor de cada fuente al impacto global de los olores no sólo está relacionada con la emisión odorante de cada una, sino que también de su tono hedónico. Cuando se presentan

¹⁹⁶ Instituto Nacional de Normalización. (2015). NCh 3387:2015 - Calidad del aire - Evaluación de la molestia por olores – Encuesta. Chile.

fuentes con igual o similares concentraciones de olor, pero con diferente tono hedónico, el impacto de éstas será diferente.

El concepto de tono hedónico se define, según la “Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA”¹⁹⁷, como la propiedad de un olor relativo a su agrado y desagrado, es decir, es un juicio de categoría del placer o no placer relativo del olor y se refiere a las asociaciones mentales hechas por el sujeto al percibirlo, en forma cualitativa (negativo o positivo) en una escala que va desde 4 (extremadamente agradable) a -4 (extremadamente desagradable) siendo el cero un olor neutral. La metodología para medir el tono hedónico se describe en la norma alemana VDI 3882 Blatt 2:1994-09 (VDI, 1994).

En el “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling” se explica que existe una relación entre la concentración de olor y el tono hedónico mediante un gráfico de ejemplo para el amoníaco en que se visualiza una disminución del tono hedónico en función con la concentración.

1.7.2.1 Ejemplo de ponderación del tono hedónico

Una de las formas que el “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling”¹⁹⁸ ejemplifica la ponderación del tono hedónico es mediante la normativa de Brabante Septentrional. En ella se indica que antes de calcular el nivel de inmisión mediante un modelo de dispersión, los índices de emisión de olores deben corregirse numéricamente por el valor hedónico asociado a la fuente. Los cálculos se basan en un “valor hedónico ponderado ou_E por unidad de tiempo”.

El objetivo de realizar una ponderación de tono hedónico es para lograr identificar aquellas fuentes con similar concentración, pero con diferentes impactos de olor.

En la actualidad, dentro de los estudios de predicción e impactos por olor no se utiliza la metodología de ponderación del tono hedónico en fuentes con similares emisiones. El potencial impacto que pudiese generar cada fuente, se asocia, además de la emisión de olor, a las características sensoriales según los resultados arrojados por la olfatometría dinámica donde el indicador principal es la ofensividad.

Existe un proceso previo a la etapa de modelamiento, en que se analiza cada fuente cualitativa y cuantitativamente, es decir que, además del cálculo de emisión que se realiza en base a la concentración también se asocian los resultados arrojados por el proceso de olfatometría dinámica en cuanto a las características sensoriales, que son la ofensividad, intensidad, tono hedónico (cada una con su escala sensorial respectiva) y calidad del olor (descriptores de olor). Al relacionar todas esas variables, se puede identificar que fuentes tienen potencial impacto y deben ser incorporadas al modelo de dispersión. Todo este proceso es parte de lo que se solicita en la “Guía para la predicción y evaluación de

¹⁹⁷ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

¹⁹⁸ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

impactos por olor en el SEIA¹⁹⁹ como descripción de las emisiones, en que se deben identificar las fuentes que generen olor.

1.7.3 Cálculo del impacto por olores de fuentes intermitentes y receptores no estáticos

Al momento de determinar un impacto odorante, hay que tener especial atención y cuidado en aquellas actividades que presentan condiciones operacionales y de emisiones con poca frecuencia, debiendo evaluarse si el resultado del impacto por olores obtenido es un indicador representativo de posibles molestias en receptores.

El “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling”²⁰⁰ presenta dos ejemplos donde sería necesaria una evaluación más exhaustiva y experta de la representatividad de actividades intermitentes.

El primer caso, es de *fuentes intermitentes* las cuales se caracterizan por producir emisiones de olor a corto plazo en un momento determinado del día o aquellos que su operación es estacionaria (por ejemplo, empresas vitivinícolas, en que su operación se podría diferenciar por meses con vendimia y sin vendimia) y esto puede provocar exposición al olor significativamente mayor durante ese periodo específico de tiempo.

Como segundo ejemplo, se presenta el de *receptores no estáticos* los cuales se caracterizan por aquellos que no se encuentran presentes de manera continua en un lugar, lo que podría provocar una sobrestimación o subestimación del potencial de impacto de las molestias.

Para estimar impactos de olor para fuentes y emisiones intermitentes, es de gran importancia identificar y caracterizar de forma adecuada cada fuente, tanto en la etapa de muestro, cálculo de emisión e identificación de la operatividad de las fuentes en función de su emisión, en la etapa de datos de entrada.

1.7.3.1 Cálculo de la exposición a los olores por fuentes intermitentes / discontinuas / estacionales

Uno de los desafíos que se presentan al momento de enfrentarse a este tipo de fuentes y de emisión, es el cálculo de la exposición a los olores. Los criterios de olor establecidos por las diferentes legislaciones se basan en percentiles horarios anuales que consideran emisiones constantes.

Las fuentes intermitentes, se podrían considerar cuando presentan dos principales características: emisiones de olor a corto plazo en momento determinados del día o, para plantas que operen sólo unas horas del día en determinadas temporadas.

¹⁹⁹ Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). *Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA*. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.

²⁰⁰ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

Según lo que se aborda en el “International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling”²⁰¹, de los diferentes enfoques que se podrían adoptar para la determinación de un impacto de olor, serían principalmente:

- 1 Modelar la exposición a los olores como un percentil de las horas del año.
- 2 Modelar la exposición a los olores como un percentil de las horas de trabajo.
- 3 Calcular la carga/dosis de olores y comparar con la carga/dosis de olores de una planta normal que opera 24/7/365.

El primer enfoque para abordar la determinación de un impacto es el que se establece en las diferentes legislaciones. La tendencia es la utilización de percentil 98 promedio horario. Uno de los riesgos de utilizar percentil horario anual, es que para las actividades potencialmente generadoras de olor que contemplan fuentes y emisiones intermitentes se obtenga una sobrestimación o subestimación de los resultados. Este tipo de modelaciones a percentiles de horas del año se recomienda utilizar en operaciones continuas, teniendo resultados más representativos.

En cuando al segundo enfoque, de modelamiento de percentil de horas efectivas de trabajo, se acercaría a resultados más representativos para operaciones intermitentes como, por ejemplo, Plantas de aceite y harina de pescado, Planta de Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos en que la generación de RILes sea por temporadas (ej.: periodo vendimia), PTAS en sectores donde su población varía según temporada estival (población flotante), entre otras. El modelar las emisiones según horas efectivas, se obtendrían resultados más precisos en cuanto a los posibles impactos por olor. De todas maneras, como no hay legislación que respalde este tipo de modelamiento, se recomienda realizarlo para efectos de un análisis más profundo de manera interna y para fines de toma de decisiones en cuanto a mejoras y control operacional ante emisiones para la mitigación de posibles impactos.

El último enfoque presentado habla sobre la carga/dosis del olor, concepto que se discute hoy en día durante la revisión de la norma de los Países Bajos NTA 9065. Debido a las limitaciones que tiene el evaluar bajo un percentil fijo, el cual no se puede evaluar el impacto total y real que podría percibir un receptor, es que se estudia el calcular no solo a un percentil, sino que todos los posibles percentiles y así obtener la carga/dosis de olor total. Este cálculo se obtiene mediante un diagrama de distribución de frecuencias de olor en que la carga de olor correspondería con el número total anual de horas X con una concentración de olor Y, por encima del valor de detección.

Los criterios de impactos por olores establecidos por las diferentes legislaciones se basan en percentiles horarios de todo el año. Los percentiles tienen limitaciones, ya que sólo refleja un conjunto de concentraciones máximas en un número determinado de horas del año. Para el caso de fuentes intermitentes, es probable que éstas sí generen impactos de olor, aunque los resultados a un determinado percentil arrojen que no habría impacto.

²⁰¹ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

1.7.4 Cálculo del impacto de los olores mediante el uso de trazadores

El uso de trazadores consiste en liberar en el aire una cantidad de gas, llamado gas trazador, que viene a sustituir al gas o vapor contaminante, para estudiar su comportamiento. Para determinar su alcance o concentración se pueden utilizar diversos métodos, algunos son mediante sensores específicos según el gas a trabajar y panel sensorial debidamente seleccionado acorde a la normativa EN 13725:2003 (homologa a la norma NCh 3190:2010 en Chile) los cuales deben percibir si hay o no olor, junto a la intensidad. La ejecución debe ser a sotavento.

Este método tiene diversos objetivos, los cuales pueden ser para validación de modelos de dispersión odorante, seguimiento de quejas y/o cálculos de concentración odorante. Para este último punto, aplicaría cuando el olor emitido esté directamente correlacionado con un compuesto específico (trazador), entonces la concentración del compuesto se podría usar para estimar la concentración de olor emitido. Este dato podría utilizarse como entrada para modelos de dispersión con la finalidad de evaluar impactos de olor en comunidades cercanas.

Esta metodología no es frecuente para evaluar impactos de olor, por el hecho de que no es del todo representativo, ya que sólo se evalúa un posible impacto ante condiciones específicas de producción, meteorología, concentración, entre otras. Además, se presentan las dificultades sociales que conlleva ejecutar este tipo de metodología, en que se expone a la población a posibles molestias. Esta metodología se recomienda para otros fines y no de cálculo de impactos de olor.

1.7.5 Modelación inversa, retro trayectorias y modelación en tiempo real

El uso de modelos de dispersión no se limita al cálculo de isocurvas de concentración odorante (CO) a distintos percentiles o la obtención de tablas de frecuencia. La modelación de dispersión también puede ser utilizada para:

- Cálculo de Tasas de Emisión Odorante (TEO) mediante Modelación Inversa de Dispersión (RDM, por sus siglas en inglés).
- Determinación de ubicación de fuentes odorantes mediante el análisis de retro trayectorias.
- Estimación del Término de Fuente (STE, por sus siglas en inglés).

La aplicación de estas herramientas puede ser de utilidad para determinar el origen de una emisión odorante en función a un punto de queja o de un punto de impacto y estimar la TEO de una fuente/planta desconocida. En el caso de las retro trayectorias solo pueden ser utilizadas cuando se tiene información cualitativa que indique la ocurrencia de molestia por olores, como las quejas ciudadanas. Además, puede ser de utilidad para identificar la influencia de eventos particulares de operación.

1.7.5.1 Cálculo de TEO por modelación inversa de dispersión

El cálculo de TEO mediante RDM se encuentra abordada por ciertas normas técnicas internacionales. Dentro de estas normativas se encuentra: EN 16841/2:2016, EN 17628:2017, EN 15445:2008, VDI 3788/2 (en desarrollo).

La modelación inversa de dispersión puede ser empleada en la medida que las condiciones meteorológicas y del entorno tengan características válidas para los modelos Gaussianos, luego deben cumplir con un terreno plano (no complejo), sin obstáculos, estación meteorológica en un radio representativo (<5 [km]), intensidad del viento superior a vientos calmos, uso de suelo homogéneo, entre otros. Además, esto es útil para la determinación de una única fuente.

Para más fuentes se deben tener en consideración lo establecido en la norma VDI 3788/2 que se encuentra actualmente en desarrollo con proyección a ser publicada el 2023. Esta norma establece las directrices para calcular la TEO de múltiples fuentes mediante el uso de los resultados de una extensión de pluma obtenida por el método de la pluma, explicada más adelante, y una iteración en modelaciones mediante el uso de herramientas de preprocesamiento denominada Esofin, del modelo AUSTAL. En caso de no cumplir lo anterior se debiese evaluar el uso de los datos, de estas herramientas o alguna alternativa.

A. EN 16841:2016 “Ambient air - Determination of odour in ambient air by using field inspection”

Esta norma estandariza las directrices de la inspección de campo y el análisis de olores en el aire ambiente mediante 2 partes de la norma que establecen distintas metodologías. La parte 1 describe el método de la grilla, en el cual se evalúa directamente el olor al aire ambiente por un panel, debidamente seleccionado según la norma EN 13725:2003 (homologa en Chile a la norma NCh 3190:2010), en un área determinada según lo establecido en la presente norma. Mientras que la parte 2 describe el método de la pluma, el cual determina la extensión de la pluma odorante a favor del viento (sotavento) de una fuente de emisión odorante.

La norma EN 16841/2:2016 “Ambient air - Determination of odour in ambient air by using field inspection - Part 2: Plume method” también se encuentra dividida en 2 partes. Estas partes indican la metodología de la medición de olor al aire ambiente mediante el método dinámico de la pluma y el método estático de la pluma.

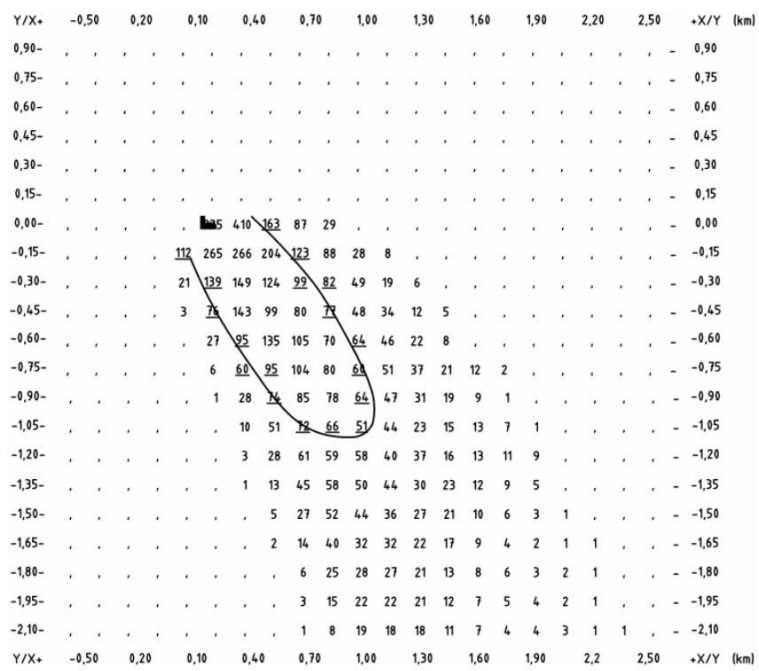
Los resultados obtenidos con el método dinámico de la pluma representarían la extensión de la pluma odorante. Con estos resultados, junto la meteorología de la zona y las características de la fuente, se puede determinar la TEO de una fuente mediante RDM. El cálculo de la TEO es determinado en los anexos de la norma EN 16481/2:2016 sin ser parte regulatoria de la normativa. En Bélgica esta metodología es utilizada hace más de 20 años, e indican que podría ser fácilmente adoptada por otros países.

Dentro de las directrices de esta metodología se establece una diferencia entre las medidas de unidades de olor resultantes de la medición en campo y de la olfatometría. Las unidades obtenidas con el método de la pluma se definen como *sniffing units* [su], mientras que las unidades obtenidas con un análisis de olfatometría dinámica (y utilizadas en normativas para establecer criterios de evaluación) se definen como *european odour units* [oue].

Típicamente 1 [su/m³] es definida como la CO en el borde de la pluma, por lo tanto, está medida se va desplazando en la medida que se avanza en la medición en campo, y equivalen al rango de CO entre 1 [ouE/m³] a 5 [ouE/m³]. No es posible cuantificar concentraciones superiores de *sniffing units* mediante la observación en campo.

A grandes rasgos la metodología de la modelación inversa consiste en determinar la extensión de la pluma mediante la medición en campo por el método de la pluma, y se realiza una modelación iterativa hasta dar con una pluma similar a la obtenida en la medición empírica, como se presenta en la figura a continuación:

Figura 7 – Extensión de la pluma y concentración odorante modelada



Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022²⁰².

Para la modelación se establece una TEO estimada para modelar, cuyas unidades serán definidas como *model units* [mu]. Las unidades de concentración de la grilla que coincidan con el borde de la pluma son promediadas y luego divididas por la TEO estimada para modelar (como se observa en el siguiente ejemplo), para así obtener una TEO en función a *sniffing units*.

Como ejemplo ilustrativo se puede observar, de la figura anterior, la extensión de la pluma obtenida de la medición en campo. Por otro lado, se establece una emisión ficticia, en este caso de 5.000.000 [mu/s], para la modelación. En la figura anterior se observan los resultados de las concentraciones en la grilla de la modelación realizada.

²⁰² International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

La extensión de la pluma se intersecta con valores de concentración de ciertos vértices.

Dicho cruce indicaría la concentración al borde de la pluma, donde luego se calcularía el promedio de concentración para el borde de la pluma. Posteriormente se calcula el cociente entre la TEO ficticia y el promedio de concentración de la extensión de la pluma. El resultado del cálculo, expuesto a continuación, nos entrega la TEO estimada de la fuente emisora desconocida.

Promedio de la concentración de la grilla respecto al borde de la pluma:

$(117+139+75+95+60+95+74+72+66+51+64+61+64+77+82+99+123+163)/18=87,4$

TEO utilizada para modelar: 5.000.000 [mu/s].

TEO estimada: $5.000.000/87,4 = 57.254$ [su/s].

B. EN 17628:2017 “Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors - Standard method to determine diffuse emissions of volatile organic compounds into the atmosphere”

La normativa enunciada establece las directrices para determinar la emisión difusiva de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) mediante la modelación inversa. Para ello se deben realizar mediciones de concentración de COVs al aire ambiente. Dichos datos, junto con la meteorología local permiten darle datos de entrada a la modelación inversa y así determinar la TEO correspondiente.

C. EN 15445:2008 “Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors - Qualification of fugitive dust sources by Reverse Dispersion Modelling”

Esta norma establece directrices para la cuantificación de la emisión de polvo mediante la RDM. Para ello se deben identificar y georreferenciar las fuentes emisoras, los puntos de medición de concentraciones *in situ* y los receptores. Al igual que lo propuesto en la norma EN 16841”:2016, se establecen emisiones ficticias para modelar. La modelación arroja concentraciones para cada receptor. Por último, se aplica una regresión por mínimos cuadrados entre las concentraciones estimadas por el modelo y las concentraciones medidas para obtener un valor optimizado del flujo de emisión de polvo.

D. VDI 3788/2:2023 “Environmental meteorology - Dispersion of odorants in the atmosphere - Reverse modelling”

La norma VDI 3788/2 que se encuentra actualmente en desarrollo con proyección a ser publicada el 2023. Esta norma se basa en complementar los resultados obtenidos del método estático de la pluma de la norma EN 16841/2 con una herramienta de preprocesamiento denominada esofin, construida a partir del modelo de dispersión alemán Austal.

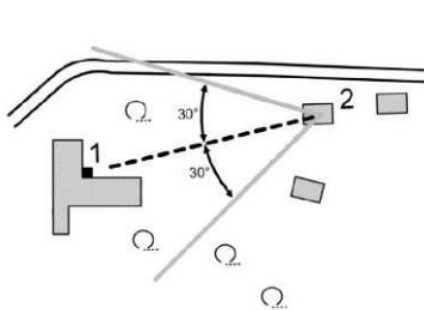
Esta metodología es capaz de calcular la TEO de múltiples fuentes. Es decir, las iteraciones se realizan probando diferentes combinaciones de TEO para diferentes fuentes al mismo tiempo. El proceso iterativo de modelación, cuyo ingreso puede ser de fuentes conocidas como desconocidas, encontrará TEO para la fuente desconocida, que es necesaria para obtener una alta correlación entre el impacto modelado y el medido.

La calidad de los resultados depende de un buen conocimiento del lugar investigado y de las situaciones durante la inspección del penacho. Las mediciones meteorológicas durante la inspección de campo necesitan mediciones de turbulencia 3D de alta resolución. Las mediciones deben estar sincronizadas con las mediciones del impacto por olores.

1.7.5.2 Determinación del origen y tipo de fuentes odorantes

Dirección del viento: La norma VDI 3883/4:2017 “Effects and assessment of odours - Processing odour complaints” establece criterios de evaluación de olores y procesamiento de quejas de molestia por olores. Un caso simple del uso de la dirección del viento se observa en la figura, donde 1 corresponde a la fuente emisora y 2 corresponde al receptor sensible. Se establece una línea recta entre receptor y fuente emisora y un rango de dirección de 30 [°] para cada lado. Si la dirección del viento se encuentra dentro de este rango, es plausible considerar que la fuente emisora contribuye al impacto.

Figura 8 – Ángulo de influencia entre fuente y receptor



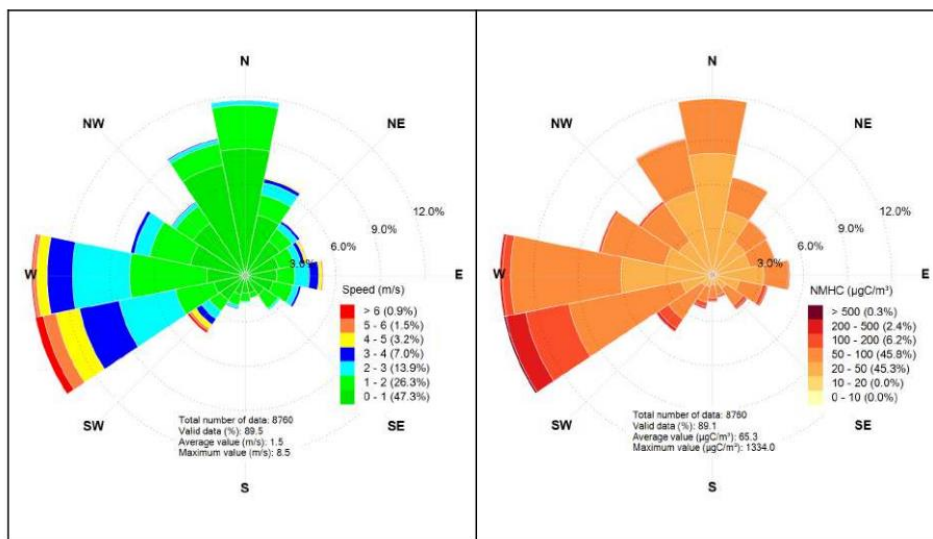
Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022²⁰³.

²⁰³ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

Esta metodología puede ser útil para validar de manera preliminar y estimativa una queja o un impacto sobre un receptor. Se puede establecer o dar a conocer una situación patrón en común del análisis de quejas para identificar una condición predominante, luego se puede realizar un análisis anual, horario o subhorario (según la condición de quejas identificadas) de la frecuencia de dirección de viento en dicho punto y ver si es plausible que dicha queja corresponda.

Rosas de polución: Las rosas de polución (o de contaminación) son similares a las rosas de viento, salvo que representa los niveles de concentración de un contaminante específico (frecuencia e intensidad/concentración) en lugar de la velocidad del viento. Aplica principalmente para gases odorantes y se ejemplifica en la siguiente figura:

Figura 9 – Rosa de los vientos (izquierda) y Rosa de polución (derecha) de un mismo sitio



Fuente: Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling, Draft – 2022²⁰⁴.

La rosa es construida en función de concentraciones promedio anuales resultantes de una resolución horaria. Se deben evidenciar la cantidad de datos utilizados para el cálculo del promedio o percentiles para cada dirección, en función de determinar la significancia estadística de los resultados.

Esta herramienta sería útil sólo para emisiones odorantes asociadas a un gas odorante, u olor simple según lo definido por la Guía de Olores (2017), y mediciones analíticas asociadas a dicha emisión. Y como se mencionó anteriormente, este tipo de olores no es común de las emisiones, por lo que esta herramienta podría subestimar el impacto odorante debido a que no consideraría otras sustancias del olor compuesto.

²⁰⁴ International Environmental Society of Odour Managers. (2022). *International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Draft*. International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by Using Dispersion Modelling – Olores.org

1.7.5.3 Modelación numérica para retro trayectorias

La determinación del origen de una molestia por olores puede ser estimada mediante el uso de modelación de retro trayectorias de las parcelas de aire, también conocidos como “puff” cuando se tratan de emisiones.

Para ello es necesario tener a disposición fecha, hora y ubicación de la observación del evento. Con este método es posible trazar las trayectorias atmosféricas que siguieron los “puff” antes de llegar al receptor e identificar el origen de su posible fuente.

La forma más sencilla de generar trayectorias de retorno consiste en calcular la trayectoria determinista de un “puff” de trazador mediante interpolaciones adecuadas del campo de viento proporcionadas por un modelo atmosférico. Para enfoques más avanzados se pueden adoptar modelos típicamente lagrangianos. En los modelos de trayectoria media más sencillos, el movimiento del “puff” se determina considerando únicamente la velocidad media del viento y despreciando la difusión turbulenta.

Aquí el movimiento medio de las partículas, que contienen una masa de unidades de contaminantes u olores, está determinado por el viento local y la difusión viene dada por las velocidades obtenidas como solución de las ecuaciones diferenciales estocásticas lagrangianas. La trayectoria del penacho o de la nube de partículas se rastrea así en modo regresivo.

Los enfoques de trayectoria y pluma inversas pueden utilizarse cuando sólo se dispone de información cualitativa que revele la aparición de molestias por olores, tales como los sistemas de quejas ciudadanas, evaluación de molestias por medio de encuestas, la extensión de una pluma obtenida mediante el método de la pluma, entre otras medidas cualitativas. Los resultados pueden estimar el origen de una emisión de una fuente, o como mínimo la ubicación de un recinto que tiene fuentes emisoras. En dicho caso no sería capaz de determinar que fuente es la que está generando dicho impacto referente a la queja.

1.7.5.4 Estimación del alcance de las fuentes mediante retro modelación

La existencia de múltiples potenciales fuentes emisoras de una ubicación o de fuentes desconocidas pueden generar dificultades mayores en la identificación directa la fuente que genera molestias. Para ello se han diseñado algoritmos para la estimación del alcance de las fuentes (STE) basados en modelos numéricos, algunas características de las fuentes, como el tiempo y la cantidad de liberación de emisiones junto uso de mediciones locales de concentración como entrada a modelos de dispersión inversa.

Un enfoque -que no es una retro modelación, pero que puede utilizarse como STE- consiste en producir un conjunto de simulaciones variando la ubicación y la duración de la liberación de una fuente potencial y evaluar la concentración en un receptor específico donde se hayan medido concentraciones, o se hayan recibido quejas. El análisis de los resultados del conjunto de simulaciones permite entonces estimar en términos probabilísticos la posición de la fuente y su duración de liberación.

1.7.5.5 Implementación de herramientas y ciencia ciudadana a nivel internacional

Tarragona, España

Se han realizado estudios particulares para determinar la validación de quejas ciudadanas (213), realizadas mediante una app a lo largo de 6 meses, de la molestia por olores de 2 plantas de tratamiento de residuos. Los resultados observaron que un 63% de las retro trayectorias atribuibles a las quejas dieron con la planta 1, 26% dieron con la planta 2 y un 11% de las quejas no se lograron atribuir a ninguna de las plantas, debido a errores de cálculo por el algoritmo, sesgo de la queja, o simplemente no correspondían.

Se concluyó la utilidad de esta herramienta y en el caso de las observaciones falsas o sesgadas, el uso de las retro trayectorias es muy útil, ya que las observaciones de olores erróneas repetidas se detectan muy fácilmente y sus resultados pueden descartarse.

Sicilia, Italia

Mediante la recopilación de datos de molestia por olores en línea por apps (NOSE, *Network for Odours Sensitivity*), el Consejo Nacional de Investigación (CNR) y la Agencia Regional por la Protección del Ambiente (ARPA) de Sicilia se han establecido como desafío tener un registro de monitoreo en línea mediante retro trayectorias para dar lugar a las quejas ciudadanas.

Se elabora una agrupación de los avisos, basada en criterios sensibles, para generar "receptores" adecuados para las retro trayectorias. A continuación, se realizan simulaciones con RetroSPRAY liberando, a partir de las celdas que contienen los receptores identificados, una serie de retro pulsaciones en cada intervalo de tiempo durante el cual se recoge un número significativo de señales. Por último, los campos de retro concentración generados por las retro pulsaciones se combinan estadísticamente tanto en el momento de la emisión como en el del receptor.

Mediante este proceso se elaboran mapas que describen la región en la que pueden localizarse las posibles fuentes, proporcionando resultados fiables en la detección de la fuente potencial, en un caso identificada tras una campaña de medición dedicada.

Israel

El Ministerio del Medio Ambiente de Israel utiliza un sistema web operativo para identificar posibles fuentes de molestias por olores en un cálculo en tiempo real mediante el cálculo de retro trayectorias de parcelas de aire cuyo origen es la ubicación de la denuncia. Para obtener resultados más fiables ocupan la información meteorológica de todas las estaciones que tienen en la cercanía de la denuncia, y de ser necesario interpolando datos mediante la ecuación de Cressman.

Este sistema ha sido de ayuda para las autoridades regulatorias y la planificación de industrias para dar respuesta ante eventos de contaminación, además de identificar fuentes odorantes.

De los ejemplos observados en otros contextos internacionales, se puede evidencia que el uso de estas herramientas es diverso. Se han abordado enfoques de estudio, de

seguimiento local y nacional. Para ello las entidades ambientales han tomado un rol participativo en cuanto al trabajo de datos que reciben por ciencia ciudadana.

La gestión de un sistema de quejas de molestias por olor podría ser gestionado mediante una aplicación móvil y el manejo de estos datos sería útil para las entidades nacionales para tener una batería de antecedentes más sólidos y robustos al momento de regular, fiscalizar, darle seguimiento y/o evaluar ciertos proyectos y/o actividades.

En materia de privados, esta herramienta podría ser de suma utilidad para una correcta planificación y gestión de olores para abordar la problemática de los afectados y/o validar las quejas presentadas por los vecinos, pudiendo evidenciar impactos no asociados a su operación.

1.7.5.6 Cálculo de impacto de olores en tiempo real

Hoy en día, el crecimiento en áreas de tecnologías e innovación es cada vez más grande, donde la inmediatez de resultados toma más importancia para las industrias. Los cálculos en línea de impactos por olores se ha potenciado y generado una relación más consciente y estrecha entre industria-comunidad.

La utilización de estas herramientas se enfoca en etapas posteriores a una evaluación y determinación de impactos por olores de una industria, sobre todo en marcos regulatorios, siendo su uso más frecuente para seguimientos y compromisos ambientales, prevención de quejas y fiscalizaciones, y para futuras tomas de decisiones en mejoramiento y control de olores.

Plumas de olor en tiempo real

Este método es mediante plataformas que permiten visualizar en tiempo real el comportamiento de la dispersión de uno o más contaminantes, determinar su alcance y cuantificar los niveles de concentración de contaminante en los receptores, a partir de registros continuos de emisión y de meteorología en tiempo real.

Las plataformas en tiempo real proporcionan una herramienta que es útil para diversos objetivos como por ejemplo a control de olores, seguimiento ambiental, apoyo en toma de decisiones frente a superación de niveles establecidos, entre otros.

Este tipo de herramientas son útiles cuando se necesita un mayor control en las operaciones de aquellas actividades potencialmente generadoras de olor, debido a que proporciona información del comportamiento de aquellas unidades responsables de generar impactos en receptores, ayudando a la toma de decisiones ante posibles cambios en infraestructuras, implementación de buenas prácticas operacionales e inclusive la incorporación de sistemas de remoción de olor en aquellos casos más críticos.

Además, por ser herramientas en líneas y de fácil acceso, permiten acceder a la información en todo lugar, a cualquier hora y más de un responsable, logrando una mejor transparencia en la información entregada.

Previsión del impacto de los olores

La previsión de impactos por olores es recomendable para todo tipo de actividad industrial que genere emisiones odorantes, potencial impacto y molestia por olor en comunidades.

La prevención será útil siempre y cuando se tengan herramientas que entreguen información relevante para determinar el comportamiento de la dispersión. Deben tener las condiciones para el control de olor mediante acciones como cambios en la operatividad en las unidades o en los casos de presentar un sistema de control de olores, aumentar su eficiencia.

1.8 Reportabilidad de estudios de modelación de la dispersión de olores

La fase de elaboración de reportes y reportabilidad constituye una de las etapas clave, ya que permite dar claridad y representar de forma transparente la calidad del trabajo ejecutado en etapas previas.

En los reportes de la modelación se busca representar todos los datos relevantes para el proceso, supuestos adoptados, calidad del modelo aplicado y solidez de los resultados obtenidos.

1.8.1 Introducción/Resumen Ejecutivo

La introducción del reporte debe tener una estructura similar a un resumen ejecutivo. Esta debe contener una breve presentación de los contenidos que se desarrollan en el reporte a continuación, se listan los tópicos a incluir:

- Descripción general de la instalación:
 - Nombre del proyecto.
 - Proponentes involucrados en el proyecto (empresa, corporación, otros).
 - Localización del proyecto (coordenadas y mapa).
 - Tipo de actividad.
 - Estado de la operación (nuevo o modificación de una instalación existente).
 - Equipos que pueden emitir olores.
 - Tamaños y capacidades de los equipos.
 - Receptores potenciales del impacto del olor.
- Modelo de dispersión:
 - Modelo seleccionado (nombre, versión, tipo de modelo).
 - Criterios considerados en la selección del modelo.
 - Principales supuestos.
 - Escenarios implementados.
 - Datos de entrada.
 - Limitaciones del modelo.
- Resultados:
 - Mapas de exposición.
 - Tablas y gráficos de concentración.
 - Análisis e interpretación de estos.

1.8.2 Requisitos normativos

Se debe establecer y evidenciar el uso de las normativas, guías, directrices, ordenanzas y referencias nacionales y/o internacionales utilizadas para el desarrollo de los estudios de olores, en específico para la implementación del modelo de dispersión de olores.

1.8.3 Descripción del proyecto

La descripción del proyecto debe abarcar toda la información sobre el proyecto que sea de importancia para la evaluación de las emisiones de olor y su potencial impacto en el entorno. Se debe relevar la tipología de las actividades de la instalación, en particular lo relativo a la generación, liberación y dispersión de emisiones de olor.

1.8.3.1 Ubicación del emplazamiento y entorno receptor

Como parte de la descripción del proyecto, se debe indicar la localización geográfica del establecimiento, señalando la georreferencia del punto central y delimitación del perímetro del predio de la instalación. La representación de la ubicación de la instalación puede ser mediante planos cartográficos o gráficos a una escala adecuada.

En cuanto al entorno receptor se consideran contenidos mínimos para la representación de la potencial zona de impacto (área de influencia) los siguientes:

- **Identificación y caracterización de receptores sensibles:** se deben identificar receptores sensibles en el área del proyecto. Estos receptores deben ser caracterizados según su localización, tipo de receptor (industrial, residencial, otros), distancia a la instalación.
- **Caracterización del tipo de uso de suelo:** se debe indicar el tipo de uso de suelo donde se emplaza la instalación y los receptores sensibles, basado en Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) vigentes.
- **Identificación de otras fuentes generadoras de olor:** se debe indicar si existen otras actividades que sean potencialmente generadoras de olor.

1.8.3.2 Descripción de las instalaciones, plantas y procesos

Además, se debe describir las actividades de la planta y los procesos que se llevan a cabo en la instalación, en particular las actividades que puedan ser generadoras de olor. A continuación, el detalle de los contenidos a considerar en este punto:

- **Diagramas de procesos:** el diagrama debe mostrar todas las operaciones unitarias de la instalación.
- **Datos de producción:** especificar el tipo de proceso (continuo y/o batch) para cada unidad de operación, duración de la operación para cada unidad.
- **Tasa de producción:** indicadores de la actividad del proceso (Ej. toneladas/hora de materia prima procesada).
- **Información operativa:** horas de funcionamiento y consideración de variables estacionales (si aplica).

- **Procesos unitarios:** descripción de los procesos y actividades unitarias que debe incluir información relevante que describa la actividad.
- **Unidades de operación:** se debe incluir todas las unidades y/o equipos que puedan ser fuentes de emisión de olores.
- **Sistemas de tratamiento y abatimiento de emisiones:** descripción del sistema presente o propuesto para la instalación, rendimiento del sistema, detalles del funcionamiento y la operación.
- **Condiciones específicas de emisiones:** este punto considera una breve discusión sobre como cada variable de proceso y/o las características de la operación pueden influir en la emisión de olores.

1.8.3.3 Fuentes de emisión de olores

Esta sección debe considerar la descripción de todas las potenciales fuentes de emisión de olores, para cada una de ellas se debe informar:

- **Tipo de fuente:** Difusa, puntual, fugitiva, etc.
- **Ubicación:** coordenadas de la localización de cada fuente (Ej. Este 259.585 [m]; Norte 6.072.862 [m]).
- **Parámetros de emisión:** altura, área de emisión, caudal, temperatura, tasa de emisión, duración de la emisión.

1.8.4 Selección y desarrollo de modelos

1.8.4.1 Selección del modelo de dispersión y supuestos

El contenido en esta sección debe ir enfocado en la identificación y justificación de la selección del modelo de dispersión. En caso de existir regulaciones y/o recomendaciones locales, regionales o nacionales para la selección de modelos de dispersión debe indicarse en el informe.

Para el caso de Chile, la “Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire del SEIA”²⁰⁵ indica que, dada las características del territorio nacional, su topografía, orografía y complejidad del terreno, es recomendable el uso de modelos de dispersión langrangianos tipo “puff”, en particular recomendando el software CALPUFF. Para escenarios que no observen dicha complejidad también considera el uso de modelos Gaussianos avanzados, en particular el software AERMOD.

1.8.4.2 Desarrollo del modelo de dispersión

Datos topográficos y del terreno

²⁰⁵ Servicio de Evaluación Ambiental. (2012). Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente. Chile

El contenido de esta sección debe incluir la descripción de las características topográficas del sitio y área circundante, así como la evaluación y discusión de los efectos del terreno respecto del modelo de dispersión seleccionado. Se recomienda en esta sección incluir un resumen de la información relevante obtenida durante la “evaluación de sitio” (inspección o visita a terreno) para levantar mapas topográficos, mapas, ortofotográficos, gráficos de contorno tridimensionales, entre otros. El uso de sistemas de información geográfica (SIG) también es recomendado para la presentación de la información.

Dominio de simulación

El dominio de simulación debe ser descrito incluyendo la extensión y resolución de este, coordenadas del origen del dominio, localización de los receptores sensibles dentro del dominio (se debe indicar la inclusión/exclusión de receptores dentro del perímetro de la instalación), perímetro de la instalación y localización de las fuentes de emisión dentro del dominio.

Datos meteorológicos

Se debe presentar información sobre los datos meteorológicos debe incluir información sobre la selección y preparación de datos, el tipo y ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para la representación de la situación local, análisis de la velocidad de viento, altura de mezcla, clase de estabilidad, temperatura ambiente y un diagrama de la distribución de vientos, descripción de la metodología utilizada para la preparación de datos.

Sumado a lo anterior, se debe proporcionar una descripción de los cambios y ajustes realizados al modelo, descripción de la comprobación de calidad y representatividad de los datos meteorológicos utilizados en el modelo de dispersión.

La información anterior debe ser proporcionada para, al menos, un año meteorológico completo. No obstante, la recomendación es utilizar tres años completos para aumentar la confiabilidad de los resultados.

Datos sobre las emisiones de olor

La presentación del inventario de emisiones debe tener en cuenta las características físicas y operativas de las fuentes de emisión, así como la variabilidad del proceso. Una tabla donde se evidencian los datos de entrada requeridos para la construcción y ejecución del modelo debe considerar:

- **Cálculo de tasas de emisión:** metodologías utilizadas para el cálculo de las tasas de emisión de cada fuente acompañado con la referencia a las metodologías de muestreo y/o fuente de obtención de datos.
- **Parámetros de emisión:** temperatura, caudal, dimensiones, tasa de emisión.
- **Datos operacionales:** horas de funcionamiento, continuidad / discontinuidad del proceso, variaciones de las emisiones según condiciones del proceso y/o estacionalidad.

1.8.5 Criterios de evaluación del impacto por olores - Criterios de elaboración de datos

Se deben informar al menos los siguientes elementos mínimos respecto a los criterios de evaluación del proyecto y de los criterios de elaboración de datos:

- Límite de concentración de olor.
- Nivel de cumplimiento percentil y el tiempo promedio utilizado para calcular las concentraciones de olor.

Cualquier suposición tiene que estar justificada y la incertidumbre del modelo, cuando sea relevante, tiene que ser descrita y analizado. Los resultados deben resumirse en, al menos, una tabla, gráfico de caja (box-plot) y como mapas de exposición.

1.8.5.1 Criterios para el tratamiento posterior de las concentraciones de olor

Los resultados del modelo de dispersión de olores deben resumirse en una tabla, en la que se deben informar los siguientes valores:

- Mínimo, máximo y promedio de las concentraciones de olor en receptores sensibles.
- Primer cuartil (Q1), mediana y tercer cuartil (Q3) de las concentraciones de olor en los principales receptores sensibles.

Los resultados mencionados deben informarse en diagramas de caja, que son una forma de mostrar la distribución de datos basada en un mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo.

1.8.5.2 Criterios para la elaboración de mapas de exposición a los olores

Los mapas de exposición que deben presentarse corresponden a las isocurvas de concentración de olor e isocurvas de frecuencia. Para los primeros se recomienda presentar al menos las concentraciones a percentil 98.

En tanto que para los mapas de frecuencia se debe presentar las frecuencias a 1, 3, y 5 [ou_E/m^3], además se debe considerar la presentación de las curvas de olor de cualquier valor siempre que estas se encuentren fuera del perímetro de la instalación.

1.8.6 Resultados

Para la interpretación de los resultados obtenidos a través de la modelación de la dispersión se debe tener en cuenta el objetivo de la simulación, y otras directrices, lineamientos y estándares relevantes. Se sugiere que para una presentación integral que los resultados obtenidos del modelo de dispersión para los periodos de concentraciones extremas deben ser concordantes con parámetros tales como, las condiciones meteorológicas, la situación geográfica, configuración de la fuente y tasas de emisión. De igual forma se debe considerar informar sobre la incertidumbre total de los supuestos y los resultados del modelo.

2 CAPITULO II: RECOPIACIÓN DE LINEAMIENTOS PARA LA MODELACIÓN DE OLORES – REFERENCIAS INTERNACIONALES

El presente capítulo corresponde a la recopilación de lineamientos relevantes en el ámbito de la modelación de olores a partir de diversas guías metodológicas internacionales. Los antecedentes recopilados se centraron en el levantamiento de directrices y criterios generales de modelación de olores, aplicables dentro de un contexto regulatorio de evaluación de impactos y seguimiento ambiental de emisiones odorantes.

La revisión de los documentos internacionales de referencia se enfocó en el análisis de elementos determinantes en el aseguramiento de calidad durante el desarrollo de cada una de las etapas asociadas al proceso de modelación atmosférica de olores. De manera que la información presentada permita asegurar la representatividad y confiabilidad necesaria para una adecuada evaluación de esta componente. Entre los principales elementos analizados con especial relevancia aquellos con relación directa en la representatividad de los resultados de modelación, se encuentran:

- a) Aplicabilidad del modelo de dispersión;
- b) Requerimientos de datos de entrada al modelo meteorológico;
- c) Representación de fuentes de emisión;
- d) Caracterización de emisiones;
- e) Cuantificación de impactos en receptores de interés;
- f) Análisis de incertidumbre;
- g) Interpretación de resultados.

Los documentos internacionales consultados correspondieron a los siguientes:

- Additional Guidance for H4 Odour Management. Environment Agency. United Kingdom, (2011).
- Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Environmental Protection Agency. Ireland, (2020).
- Air Quality Model Guideline. Air Policy, Government of Alberta. Canada, (2021).
- Ambient Air Quality Assessment. Environmental Protection Agency. South Australia, (2016).
- British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Ministry of Environment. Canada, (2015).
- Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour. Wellington: Ministry for the Environment. New Zealand, (2016).
- Guidelines on Air Quality Models. U.S Environmental Protection Agency. United States, (2017).
- Guidance for Assessing Odour. Environmental Protection Agency Victoria. Victoria Government, (2022).
- Guideline: Odour Emissions. Government of Western Australia. Australia, (2019).
- Guidelines for Air Dispersion Modeling. Department of Environment and Natural Resources. Philippines, (2008).
- Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States, (2017).
- Local Air Quality Management – Technical Guidance (TG16). Environment Northern Ireland. United Kingdom, (2021).
- Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air Quality – Planning and Standards. United State, (2000).
- Meteorological Model Performance Evaluation. Utah Air Resource Management Strategy Modeling. United States, (2013).
- MPCA Air Dispersion Modeling Practices. Minnesota Pollution Control Agency. United State, (2018).

- Odour Emissions Guidance Note (AG9). Environmental Protection Agency. Ireland, (2019).
- Odour Impacts and Odour Emission Control Measures for Intensive Agriculture. Environmental Services Operational Programme. Ireland, (2001).
- Odour Impact Assessment Guidance for EPA Lincensed Sites Note (AG5). Office of Environmental Enforcement (OEE). Ireland (2011).
- Review of Dispersion Modelling for Odour Predictions. Environment Agency. United Kingdom, (2007).
- Technical Framework: Assessment and Management of Odour from Stationary Sources in NSW. Department of Environment and Conservation NSW. Australia, (2006).
- Saskatchewan Air Quality Modelling Guideline. Ministry of Environment -Government of Saskatchewan. Canada, (2012).
- Uncertainty in Air Quality Modeling: A Summary of the AMS Workshop on Quantifying and Communicating Model Uncertainty. American Meteorological Society. United States, (1984).

2.1 Proceso de evaluación de impacto por olores

La guía para la evaluación de olores del estado de Victoria²⁰⁶ propone una evaluación gradual de los impactos por olores en función de la magnitud o complejidad del escenario. Mediante la aplicación de 3 niveles de evaluación se determina el riesgo de un potencial de impacto de las emisiones como se describe en la siguiente secuencia de evaluación:

- **Nivel 1:** corresponde a una evaluación inicial, aplicable a situaciones donde se identifica una única fuente de olor o que la nueva fuente de olor sea distinta a las existentes y no genere un impacto acumulativo. La evaluación inicial considera el uso de herramientas tipo screening para determinar, a partir del resultado de esta evaluación inicial, si se requiere o no de una evaluación más detallada según sea el objetivo principal de dicha evaluación. Para ello se aplican 3 pruebas secuenciales, que de alcanzar su cumplimiento no requeriría de evaluaciones adicionales. Las pruebas corresponden a:
 - **Duración de las emisiones:** Estimación del total de horas en las que una fuente podría estar emitiendo olores ofensivos en base a las horas de procesamiento o de operación de la actividad. Siendo necesario indicar si la fuente emite menos de 200 [horas/año] y si las actividades de procesamiento u operación generan emisión de olor durante menos de 8 [horas]. Lo anterior bajo el supuesto que la nueva fuente tiene un bajo potencial de olor y las instalaciones tienen un potencial medio.
 - **Dirección del viento:** Estimación del tiempo máximo que un olor puede impactar en los receptores, en base al análisis de vientos predominante hacia los receptores. Se debe indicar si los vientos predominantes dispersan las emisiones de la instalación hacia los receptores menos de 200 [horas/año].
 - **Fuentes de emisión de olor de baja magnitud:** determina el nivel de las emisiones de olor de instalaciones de baja complejidad (Ej. fuentes puntuales sobre 10 [m], distancia entre la fuente y el receptor es mayor a 100 [m], entre otros), aplicado a fuentes de olor estacionarias con emisiones conocidas y cuantificadas mediante las normativas muestreo y análisis olfatómico. Pudiendo utilizar valores de referencia asimilables a la fuente o actividad en el caso de instalaciones nuevas. Para que las emisiones sean consideradas de baja magnitud se debe cumplir con 6 criterios entre los cuales se encuentra la altura de la chimenea, relación de la fuente respecto a obstáculos cercanos, distancia entre la instalación y receptor, frecuencia anual de vientos de baja intensidad y altura óptima de la chimenea (en función de la tasa y flujo de emisión).
- **Nivel 2:** evaluación de los efectos acumulativos teniendo en cuenta el aporte de múltiples fuentes de emisión de olor (Ej. instalaciones aledañas, sectores o actividades industriales similares). Siendo aplicable si la nueva fuente tiene el mismo o menor potencial de olor que las fuentes aledañas o las industrias se agrupan bajo una misma categoría. Cuando las instalaciones industriales presentan procesos similares a la del proyecto es recomendable considerar las instalaciones aledañas como una sola fuente para evaluar la contribución de olor al proyecto. La aplicación de esta herramienta cualitativa permite una comprensión de los posibles impactos por olores de la instalación en base al análisis y asignación de puntaje según la caracterización de 3 atributos: Potencial de riesgo, vías de exposición fuente/receptor y sensibilidad del receptor. La sumatoria de los puntajes de los 3 atributos permite estimar el riesgo global de la instalación el cual fluctuará en 1-12 puntos. Las categorías de riesgo corresponden a bajo (1-7), medio (8-9), alto (10-11) y muy alto (12). En caso de que no se

²⁰⁶ Environmental Protection Agency Victoria. (2022). Guidance for Assessing Odour. Victoria Government. Australia.

disponga de información suficiente para analizar alguno de los atributos, se debe continuar en el nivel 3.

- **Nivel 3:** Permite evaluar el riesgo de impactos por olores cuando la evaluación de los niveles anteriores no sea suficiente o no se dispone de antecedentes que permitan establecer el riesgo producto de las emisiones generadas por la incorporación de una nueva fuente o instalación. Esta evaluación detallada permite la aplicación de un conjunto de herramientas, cuyo uso dependerá en gran medida de la información disponible (Ej. accesibilidad). Entre las herramientas disponibles se encuentran: Comparación con resultados de una operación asimilable, caracterización de olor en terreno (Método de la grilla y de la pluma), análisis de quejas, encuestas a la comunidad y modelación de dispersión de olor.

La guía de evaluación de olores del estado de Victoria²⁰⁷ señala que se debe tener precaución al utilizar la modelación como una única herramienta de evaluación, debido a que existen riesgos asociados a la incertidumbre tanto de los datos de entrada como del proceso. Por lo cual es recomendable es la aplicación de herramientas complementarias que permitan verificar las conclusiones resultantes de la modelación (Ej. evaluación en terreno, encuestas, entre otras).

Es importante tener en consideración que estas herramientas complementarias consideran procedimientos y tiempos de ejecución estandarizados, sobre todo en aquellas metodologías normadas, por lo que, al momento de complementar con estas herramientas, el factor "plazo de ejecución" y "alcances de aplicación" deben ser parte de la planificación y ejecución.

Del mismo modo, la guía de olores de Irlanda propone un enfoque gradual en la aplicación de herramientas de modelación para la cuantificación de impactos, basado en el análisis previo de antecedentes del proyecto (Ej., fuentes, emisiones, entre otros) y las características del entorno. De este modo seleccionar la herramienta o modelo más coherente y consistente con relación al riesgo de impacto por las emisiones de la nueva instalación. Mediante diversos diagramas de flujo, permite al estandarizar los criterios de decisión, garantizando la coherencia de la aplicación y alcance del modelo de manera que se minimicen las diferencias entre profesionales y se reduzcan los errores en la configuración, aplicación e interpretación de los resultados del modelo²⁰⁸.

²⁰⁷ Environmental Protection Agency Victoria. (2022). Guidance for Assessing Odour. Victoria Government. Australia.

²⁰⁸ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

En este sentido, en la guía de modelación de Canadá se tiene que los lineamientos generales son coherentes con lo anteriormente expuesto, señalando que debido a amplio número de modelos existentes es importante seleccionar y aplicar el que mejor se ajuste a las necesidades del escenario a evaluar²⁰⁹. Proponiendo 3 niveles de evaluación:

- **Nivel 1 (screening):** Estimación de la peor situación de dispersión independiente de donde o cuando se produce la emisión. Es decir, considerando la máxima tasa de emisión, proyectada de forma constante para todo el periodo anual.
- **Nivel 2 (detallada):** Proporciona un estimación más realista y detallada de la condición de dispersión que el nivel 1, aplicando un modelo refinado y considerando información meteorológica y geofísica representativa del lugar para la proyección conservadora de las emisiones.
- **Nivel 3 (integral):** Considera el uso de modelos refinados (Ej. AERMOD/CALPUFF), aplicando datos de entrada meteorológicos y geofísicos más detallados, caracterización espacial, estructural y operacional de las fuentes de emisión asociadas a la instalación.

2.2 Criterios de selección de modelos avanzados de dispersión atmosférica

Para identificar los elementos relevantes de las etapas que conforman el proceso de modelación de olores, es necesario comprender que el uso modelos de dispersión atmosférica permite realizar una aproximación matemática a la condición real de dispersión sobre la cual se proyectarán las emisiones características de una instalación o proyecto para la estimación de los niveles de concentración de olor de un lugar determinado dentro un dominio.

Estas herramientas están diseñadas para aproximar la dispersión de un contaminante dentro de un conjunto de parámetros meteorológicos y físicos, sujetos a incertidumbres tanto reducibles como inherentes (no reducibles), cuya propagación de no ser controlada puede influir de forma significativa en la calidad de los resultados obtenidos. Entre las incertidumbres reducibles se encuentra el conjunto de datos de entrada tales como información meteorológica, fuentes de emisión, y parametrización del modelo. Mientras que la incertidumbre inherente se relaciona con las limitaciones propias de los algoritmos que integran el modelo de dispersión²¹⁰.

Por lo tanto, para definir la herramienta más idónea para la modelación de olores es necesario recopilar información específica relacionada con las fuentes de emisión de olor y las condiciones de entorno donde se dispersarán las emisiones. En base a esta información se deben evaluar las limitaciones inherentes de los modelos disponibles para seleccionar aquel que permita alcanzar el mayor grado de representatividad de las condiciones atmosféricas del lugar^{211, 212}.

En el contexto nacional existe un amplio uso de modelos avanzados para la cuantificación del impacto de proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), debido principalmente a las condiciones de terreno complejo en gran parte de nuestro territorio, lo cual da lugar al desarrollo de situaciones heterogéneas de dispersión atmosférica dentro de un mismo espacio o territorio (Ej. zonas

²⁰⁹ British Columbia Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Environmental Protection Division. Canada.

²¹⁰ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²¹¹ *Ibid.*

²¹² Environmental Protection Authority. (2016). Ambient Air Quality Assessment. Environmental Protection Authority. Western Australia.

costeras, de valle o montaña). Del mismo modo, la guía de modelación de Irlanda²¹³ señala que la accidentada distribución topográfica y los distintos tipos de uso de suelo requieren del uso de herramientas avanzadas de modelación para la representar los procesos atmosféricos y patrones de turbulencia que inciden en la dispersión de olores.

Los modelos avanzados requieren de datos de entrada detallados para una adecuada representación de las condiciones de dispersión y de impacto en los receptores. Entre la cuales se encuentra la información meteorológica, características de terreno y uso de suelo, características espaciales y físicas de las fuentes de emisión, régimen de emisión y condiciones de flujo del caudal proyectado al ambiente. Entre los modelos de mayor uso se encuentran los modelos gaussianos como AERMOD y modelos de tipo puff (combinación de modelo gaussiano y lagrangeano) como CALPUFF^{214,215}.

Tal como señalan documentos referenciales de Canadá²¹⁶ y Reino Unido²¹⁷, los datos meteorológicos requeridos por este tipo de modelos pueden ser observados, correspondientes a registros de variables atmosféricas (Ej. velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, cobertura de nubes, entre otros), medidos preferiblemente desde una estación superficial ubicada en el lugar de emplazamiento del proyecto o en un punto representativo de las condiciones meteorológicas a mesoescala. Si los datos observados disponibles no son representativos de las condiciones meteorológicas y topográficas, es recomendable obtener los datos meteorológicos desde programas de pronóstico, permitiendo la proyección de información meteorológica horaria tridimensional para el dominio definido. En ambos casos, debe ser contemplado al menos 1 año de datos meteorológicos.

Algunas guías de modelación de olores como la de Reino Unido señalan que en ciertos casos donde la influencia de condiciones meteorológicas interanuales pueda ser causante de eventos de olores, puede ser apropiado un análisis de al menos 5 años²¹⁸. Del mismo modo, en caso de eventos particulares puede ser necesaria la modelación de algunas condiciones meteorológica en horas específicas²¹⁹.

En el caso de los modelos gaussianos (Ej. AERMOD), estos se basan en un principio general de estado estacionario, donde se asume que las condiciones meteorológicas entre la fuente y los receptores son homogéneas para cada hora modelada. Por cuanto, su aplicación queda sujeta a situaciones atmosféricas donde sea apropiado considerar este tipo de supuestos para la cuantificación de impacto en el territorio. Siendo necesario considerar el radio de representatividad de la información meteorológica a utilizar antes de su aplicación. Siendo relevante considerar algunas de las limitaciones de este tipo de modelos como es el tratamiento de vientos calmos, efectos de fumigación costera, entre otras. Con el objeto de representar de las condiciones más desfavorables de dispersión en circunstancias en las que estas condiciones ambientales podrían tener un potencial efecto en el incremento de los niveles de concentración ambiental de olores²²⁰.

²¹³ British Columbia Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Environmental Protection Division. Canada

²¹⁴ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²¹⁵ British Columbia Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Environmental Protection Division. Canada

²¹⁶ *Ibid.*

²¹⁷ Environment Agency. (2011). Additional Guidance for H4 Odour Management. Environment Agency. United Kingdom.

²¹⁸ *Ibid.*

²¹⁹ Environment Agency. (2007). Review of Dispersion Modelling for Odour Predictions. Environment Agency. United Kingdom.

²²⁰ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

En relación con los modelos de tipo puff (Ej. CALPUFF), estos representan una serie de paquetes discretos de olor para calcular la concentración en receptores en función de la contribución de todos los puff cercanos en el tiempo (estado no estacionario), pudiendo utilizar algoritmos de distribución gaussiana para describir la dispersión de olor dentro de cada puff. Permiten modelar la dispersión en múltiples capas, para simular el efecto de la variación de las condiciones meteorológicas en el tiempo y en el espacio sobre el transporte, la transformación y la dilución de contaminantes. Siendo la principal diferencia respecto a los modelos gaussianos, su capacidad para modelar escenarios de estado no estacionario²²¹²²².

2.2.1 Aplicabilidad de modelos de estado no estacionarios

Una vez recopilada la información asociada al proyecto (Ej. meteorología, condiciones de entorno, fuentes de emisión, entre otras) y definida la necesidad de un modelo avanzado para la proyección de las emisiones odorantes de la instalación, la guía de modelación de instalaciones industriales de Irlanda señala que se deberá evaluar la aplicabilidad de un modelo de estado estacionario o no estacionario²²³. Para ello, define ciertas condiciones ambientales, bajo las cuales una modelación de estado estacionario no sería la herramienta más apropiada y requiere necesariamente del uso de un modelo de estado no estacionario.

- **Condiciones meteorológicas heterogéneas:** El dominio de interés presenta zonas de terreno complejo (Ej. zona costera, cordones montañosos, entre otros) o cambios significativos de uso de suelo (Ej. interfaz urbano/rural). En estas situaciones el supuesto condiciones meteorológicas homogéneas no es aplicable, siendo recomendable el uso de un modelo no estacionario.
- **Dispersión de largo alcance:** De ser requerida una predicción de concentraciones de olor a una distancia mayor a 10 [km], se debe considerar el uso de un modelo no estacionario, debido a grandes distancias, es poco probable que la suposición de estado estacionario sea consistente con la realidad (Ej. proyección de emisiones en línea recta).
- **Frecuencia de condiciones de calma:** En condiciones donde el número de horas de calma del periodo anual presenta una alta frecuencia, es recomendable el uso de un modelo de estado no estacionario. Debido a que los modelos de estado estacionario presentan dificultades para representar condiciones de vientos calmos, pudiendo conducir a una subestimación de los niveles de concentración en el dominio. Ante estas condiciones (vientos calmos), un modelo no estacionario permite una mejor representatividad de estas condiciones de dispersión.
- **Fumigación costera:** Fenómeno atmosférico que sólo puede ser abordado por un modelo de estado no estacionario.

En este mismo sentido, la guía de Reino Unido señala que los modelos estacionarios son ampliamente utilizados en la evaluación de impacto por olores, dado representan una buena aproximación matemática del comportamiento de la emisión de una fuente odorante en condiciones de terreno relativamente simple. Es decir, en condiciones donde el viento presenta una distribución

²²¹ *Ibid.*

²²² Environment Agency. (2011). Additional Guidance for H4 Odour Management. Environment Agency. United Kingdom.

²²³ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

homogénea, con una frecuencia de vientos de baja intensidad ($< 1,5$ [m/s]) menor al 2% de las horas del año²²⁴.

2.2.2 Condiciones de terreno simple y terreno complejo

Uno de los elementos claves al momento de definir la aplicabilidad de un modelo corresponde a la caracterización del terreno donde se dispersarán las emisiones dentro del dominio. Para ello, se debe considerar la altura de las fuentes como la distancia vertical desde el suelo al punto de emisión al aire ambiente. Mientras que la altura efectiva corresponde a la distancia desde el suelo hasta el punto donde interactúan las emisiones con el aire ambiente, integrando el factor de flotabilidad (aire más caliente que el presente en el ambiente). En base a estos elementos, la guía de Irlanda²²⁵ propone los siguientes criterios:

- Terreno complejo: Espacio del territorio cuyas elevaciones se encuentran sobre la altura máxima de las fuentes, incluyendo el factor de flotabilidad.
- Terreno intermedio: Territorio cuyas elevaciones se encuentran por encima de la fuente más alta, pero por debajo de la altura de efectiva de las fuentes (factor de flotabilidad de las emisiones).
- Terreno simple: Territorio cuyas elevaciones se encuentran por debajo de altura máxima de las fuentes de la instalación.
- En fuentes de emisión cuya altura sea menor a 100 [m], si las elevaciones del terreno, dentro de un radio de 5 [km], superan el 10% de la altura máxima de las fuentes debe ser considerada esta área como terreno complejo.
- En fuentes de emisión cuya altura sea mayor a 100 [m], si las elevaciones del terreno, dentro de un radio de 10 [km], superan el 10% de la altura máxima de las fuentes debe ser considerada esta área como terreno complejo.

En este sentido, la guía de Nueva Zelanda²²⁶ señala que cuando el terreno circundante a la instalación supera el 10% de la altura máxima de las fuentes este debe ser considerado como terreno complejo, ya que de otro modo es probable que se produzca una subestimación de las concentraciones máximas en el ambiente.

De acuerdo a los criterios de terreno definidos por la regulación de Alberta²²⁷, se considera como terreno simple cuando las elevaciones no exceden $2/3$ de la altura efectiva de una chimenea (chimenea + factor de flotabilidad de la pluma).

En la aplicación de estos criterios de referencia, es necesario tener presente la diferencia en las categorías de terreno elevado simple que es aquel cuya elevación excede la base de la chimenea pero está debajo la altura máxima del punto de emisión y el terreno plano que tiene la misma

²²⁴ Environment Agency. (2011). Additional Guidance for H4 Odour Management. Environment Agency. United Kingdom.

²²⁵ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²²⁶ Ministry for the Environment. (2016). Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour. Wellington: Ministry for the Environment. New Zealand.

²²⁷ Alberta Environment and Parks, (2021). Air Quality Model Guideline. Air Policy, Government of Alberta. Canada.

elevación que la base de la chimenea. Esta diferenciación es considerada como input en algunos modelos de dispersión²²⁸²²⁹.

2.2.3 Campo de aplicación de modelos simples

En países como Reino Unido²³⁰, se proporcionan ciertos lineamientos que permiten evaluar a priori si las emisiones de una fuente muestreada pueden ser consideradas como no significativas, situación en la que no se requeriría del uso de un modelo avanzado para su evaluación. Por lo tanto, como un primer paso en la selección del modelo se aplican algoritmos simples que permiten determinar si las emisiones de una fuente son o no significativas.

De ser categorizadas como no significativas, la metodología propone la aplicación de un modelo simple (screening), los cuales están diseñados para ser conservadores en la predicción de las concentraciones ambientales de un contaminante. Asumiendo condiciones de dispersión desfavorables y excluyendo elementos de dispersión como la flotabilidad o el aumento en el impulso de la pluma (momentum). Por lo tanto, la contribución de emisiones en las concentraciones ambientales calculadas mediante este algoritmo es probable que sobreestimen significativamente el impacto de las emisiones²³¹.

La aplicación de esta metodología siempre debe tener un enfoque conservador, utilizando únicamente tasas de emisión máximas como dato de entrada para la modelación de cada fuente emisora en forma individual. En caso de representar un conjunto de fuentes, estas deben ser modeladas de forma individual y la concentración resultante de cada fuente se puede sumar para representar el escenario de dispersión más desfavorable. Si el modelo cuenta con la capacidad de modelar el efecto de turbulencia generado por edificios cercanos, esta debe ser considerada en la modelación²³².

En caso de que los niveles de concentración resultantes del modelo, incluyendo en los aportes la concentración de línea base, se encuentren por debajo del límite permisible del contaminante, es posible que no se requiera una evaluación adicional con un modelo avanzado. Si los niveles de concentración obtenidos se encuentran por encima del límite permisible, se requerirá del uso de un modelo avanzado²³³.

Esta metodología (evaluación mediante modelo simple), no deberá ser aplicada para la evaluación de instalaciones industriales de gran magnitud, evaluación de escenarios complejos de modelación (Ej. zonas litorales, sujetos a fenómenos de flujo mar-tierra o fumigación costera) y de la evaluación

²²⁸ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²²⁹ Department of Environment and Conservation. (2006). Technical Framework: Assessment and Management of Odour from Stationary Sources in NSW. Department of Environment and Conservation NSW. Australia.

²³⁰ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²³¹ *Ibid.*

²³² Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²³³ *Ibid.*

acumulativa de los impactos de otras fuentes de emisión externas a la instalación, situaciones en las que se deberá utilizar un modelo de dispersión avanzado²³⁴.

2.3 Criterios de selección de información meteorológica observada

Los modelos de dispersión atmosférica buscan simular la dispersión de contaminantes desde la fuente de emisión hasta el punto de impacto, la cual generalmente es medida como la concentración a nivel del suelo. Debido a que el proceso de dispersión depende de las condiciones meteorológicas, es fundamental incluir observaciones meteorológicas representativas que permitan reflejar las condiciones reales de dispersión dentro del dominio²³⁵. Para ello se deben analizar algunos factores relevantes que pueden influir en la representatividad de los datos observados en el área de evaluación.

2.3.1 Periodo meteorológico

Para fines de modelación, se recomienda datos meteorológicos observados que consten de 8760 horas continuas para variables como velocidad de viento, dirección de viento y estabilidad atmosférica, estos datos pueden ser obtenidos de la estación superficial más representativa, no necesariamente la estación más cercana, debiendo tener en consideración condiciones de terreno complejo. Sin embargo, para evitar errores debido a las variaciones interanuales, se requieren un análisis como mínimo de 3 años de datos continuos, siendo preferible un periodo de 5 años²³⁶.

2.3.2 Representatividad de estación meteorológica

El Comité de Modelación de Dispersión Atmosférica de Reino Unido²³⁷, señala que uno de los factores más importantes para la selección de una estación meteorológica corresponde a la media anual de velocidad del viento, siendo preferible que además tenga un perfil de dirección del viento similar al de la zona de estudio. Otras variables atmosféricas evaluadas no arrojaron correlaciones tan altas como la obtenida para velocidad del viento.

Seleccionar la data de entrada para el modelo es un punto crítico para una adecuada representación de la dispersión de las emisiones. Los principales criterios para considerar para la selección de una estación representativa corresponden a²³⁸:

- La proximidad de la estación meteorológica al lugar de emplazamiento del proyecto.
- La complejidad del terreno (colinas, valles, cuencos, áreas costeras y montañas).
- La exposición de la estación meteorológica (presencia de obstáculos cercanos).
- El periodo de medición de las variables atmosféricas.

²³⁴ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²³⁵ *Ibid.*

²³⁶ Environmental Protection Agency. (2001). Odour Impacts and Odour Emission Control Measures for Intensive Agriculture. Environmental Services Operational Programme. Ireland.

²³⁷ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²³⁸ Sullivan, J., et al. (2018). MPCA Air Dispersion Modeling Practices. Minnesota Pollution Control Agency. United States.

En relación con la proximidad de la estación meteorológica al lugar de emplazamiento de las fuentes, no se evidenciaron cambios sistemáticos asociados a los niveles de concentración ambiental resultantes, siendo de mayor relevancia, la similitud de la característica del terreno entre ambos puntos²³⁹. Sin embargo, en zonas donde se identifiquen elementos de terreno complejo se deben analizar ciertas consideraciones antes de aplicar este criterio, siendo adecuado considerar como representativo cuando la estación y el proyecto presentan un régimen climatológico similar²⁴⁰.

La guía de Australia Occidental²⁴¹ enfatiza en que la información observada deber ser representativa de las condiciones de entorno del lugar de emplazamiento del proyecto, de preferencia medida en la misma instalación. Para asegurar la calidad de la información meteorológica esta debe ser validada previo a su utilización.

La guía de modelación de instalaciones industriales de Reino Unido propone aplicar el siguiente procedimiento como primer criterio para la selección de estaciones meteorológicas:

- Identificar las estaciones meteorológicas observadas en el dominio.
- Revisar las variables meteorológicas medidas por las estaciones identificadas, excluyendo aquellas que no dispongan de observaciones para la variable de velocidad del viento.
- Estimar la media anual de velocidad del viento en el lugar de emplazamiento de la instalación.
- Calcular la relación de la media anual de velocidad del viento entre la instalación y las estaciones meteorológicas cercanas.
- Seleccionar las estaciones meteorológicas con una relación de media anual de velocidad del viento entre 0,9 y 1,1 para evaluar la capacidad de representar las condiciones de dispersión en la zona de estudio.

En una siguiente etapa se debe analizar la calidad de la información registrada por las estaciones seleccionadas, siendo recomendable analizar las condiciones de entorno para asegurar que la ubicación de la estación sea la más adecuada. Del mismo modo, se debe evaluar si la metodología de medición cumple con los criterios de calidad de datos (exactitud y precisión) ²⁴².

²³⁹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁴⁰ Alberta Environment and Parks, (2021). Air Quality Model Guideline. Air Policy, Government of Alberta. Canada.

²⁴¹ Department of Water and Environmental Regulation. (2019). Guideline: Odour Emissions. Government of Western Australia. Western Australia.

²⁴² Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

2.3.3 Aseguramiento de la calidad de los registros meteorológicos

Entre las variables más relevantes para el análisis y modelación de dispersión de contaminantes se encuentran la velocidad del viento, dirección de viento y temperatura. Siendo recomendable considerar además otros parámetros observados como humedad relativa, presión barométrica, precipitación y radiación solar.

Debido a la importancia de la calidad de los registros en aplicaciones de modelación atmosférica, es apropiado que la estación cuente con un programa de mantenimiento y control de calidad de datos²⁴³. Para asegurar la calidad de la información, se recomienda revisar el adecuado cumplimiento del estándar descrito en la “guía de monitoreo meteorológico para la aplicación de modelos regulatorios” (U.S. EPA²⁴⁴, 2000), previo a su utilización. La guía de referencia describe los requerimientos asociados al lugar de emplazamiento de la estación (Ej. obstáculos cercanos), instrumentación (Ej. resolución), tratamiento de datos (Ej. validación de variables), entre otros²⁴⁵.

En coherencia a lo anterior, varios documentos de referencia dan especial énfasis a la ubicación de los instrumentos de medición en relación a las condiciones de entorno, debido a que tienen un efecto directo sobre la incertidumbre de los registros de las distintas variables monitoreadas^{246 247 248 249}.

El monitoreo y procesamiento de información meteorológica observada para su utilización en modelaciones de calidad del aire, requiere de la aplicación de procedimientos de aseguramiento y control de calidad que permitan validar la confiabilidad y precisión de los registros²⁵⁰.

El control de calidad se relaciona con la aplicación de procedimientos operativos que de forma rutinaria permiten asegurar la correcta operación del sistema de monitoreo de las variables meteorológicas. Entre los cuales se incluyen la calibración periódica de los instrumentos, inspecciones del punto de medición, análisis de datos, validación de datos y mantenimiento preventivo. Los procedimientos de control de calidad deben demostrar, mediante documentación, la precisión de las mediciones²⁵¹.

²⁴³ British Columbia Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Environmental Protection Division. Canada.

²⁴⁴ U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air Quality – Planning and Standards. United States.

²⁴⁵ British Columbia Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Environmental Protection Division. Canada.

²⁴⁶ Environment Agency. (2011). Additional Guidance for H4 Odour Management. Environment Agency. United Kingdom.

²⁴⁷ Environmental Protection Agency. (2011). Odour Impact Assessment Guidance for EPA Lincensed Sites Note (AG5). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁴⁸ Ministry for the Environment. (2016). Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour. Wellington: Ministry for the Environment. New Zealand.

²⁴⁹ Maqsood, I., (2012). Saskatchewan Air Quality Modelling Guideline. Ministry of Environment -Government of Saskatchewan. Canada.

²⁵⁰ U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air Quality – Planning and Standards. United States.

²⁵¹ *Ibid.*

El aseguramiento de la calidad se define como aquellos procedimientos que se realizarán de manera más ocasional para garantizar que el proceso de medición está produciendo datos que cumplen con los objetivos de calidad de datos²⁵².

Un factor relevante en la calidad de la medición tiene relación con el desempeño de los instrumentos utilizados para el registro de variables meteorológicas. Entre los elementos a considerar se encuentran: límite de detección, rango de medición, precisión y tiempo de medición. Del mismo modo la aplicación de procedimientos operacionales que permitan maximizar la calidad y captura de registros en cada instrumento implementado en la estación. Esta información debe estar documentada y disponible para su consulta para discriminar aquellos periodos donde se presente algún tipo de desviación y se evidencie su corrección²⁵³.

2.3.4 Validación de registros meteorológicos

La validación de registros es un proceso en el que los datos atípicos se identifican y se evalúan para tomar acciones correctivas en caso de que sea necesario. El proceso de validación proporciona un nivel de aseguramiento de la calidad del monitoreo. Algunos problemas que pueden escapar a la detección durante una revisión periódica (Ej. atascamiento ocasional de la veleta), pueden ser identificados fácilmente durante la validación de datos. La validación de datos requiere de un conocimiento básico de las condiciones meteorológicas locales y los principios operativos de los instrumentos²⁵⁴.

La guía de monitoreo meteorológico para la aplicación de modelaciones regulatorias define entre los pasos de validación 4 niveles, los que permiten establecer un grado de confianza en los datos registrados.

Estos niveles proporcionan un estándar de calidad y control que permiten garantizar que todos los datos analizados tengan un nivel comparable de validación²⁵⁵. Los niveles de validación se describen a continuación:

- **Nivel 0:** Corresponde a la recolección de los datos directamente desde el instrumento de medición, donde se puede haber realizado el reformateo de datos (Ej. asignación de códigos). Estos datos no han recibido ningún tipo de ajuste por sesgos conocidos o problemas que pueden haber sido identificados durante las revisiones periódicas o actividades de mantenimiento preventivo. Estos datos deben usarse para monitorear la frecuencia de medición del instrumento, siendo inadecuado su para fines regulatorios hasta que cumpla al menos con el nivel 1 de validación.
- **Nivel 1:** Contempla revisiones cuantitativas y cualitativas de precisión, integridad y consistencia de los registros. Los controles cuantitativos pueden ser realizados con herramientas computacionales, mientras que los controles cualitativos son realizados por especialistas que revisan manualmente los datos para identificar valores atípicos y desviaciones. Los datos solo

²⁵² U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air Quality – Planning and Standards. United States.

²⁵³ *Ibid.*

²⁵⁴ U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air Quality – Planning and Standards. United States.

²⁵⁵ *Ibid.*

se consideran en el nivel 1 después de aplicar cualquier ajuste, cambio o modificación a la serie de datos meteorológicos.

- **Nivel 2:** Considera la comparación con otros conjuntos de datos independientes. Esto incluye la intercomparación de registros con otros sistemas de medición.
- **Nivel 3:** Implica un análisis más detallado cuando las inconsistencias en los resultados del análisis y la modelación son causadas por errores en la medición.

Todo el material de apoyo necesario, como informes y registros deben estar disponibles para la validación de nivel 1. Se debe tener acceso a otros registros meteorológico para analizar la relación de datos atípicos con las condiciones meteorológicas locales y regionales. En este sentido, la guía U.S. EPA²⁵⁶ sugiere criterios de validación para las variables meteorológicas que son comúnmente utilizadas en aplicaciones de modelos de calidad del aire²⁵⁷. Algunos criterios aplicados a registros meteorológicos horarios se describen a continuación:

Velocidad del viento

- No puede ser menor que cero y mayor que 25 [m/s]
- No varía más de 0,1 [m/s] por 3 horas consecutivas.
- No varía más de 0,5 [m/s] por 12 horas consecutivas.

Dirección del viento

- No puede ser menor que cero y mayor que 360 [grados].
- No varía más de 1 [grado] por 3 horas consecutivas.
- No varía más de 10 [grados] por 18 horas consecutivas.

Temperatura

- No puede ser mayor que el registro local máximo (base mensual).
- No puede ser menor que el registro local mínimo (base mensual).
- No puede incrementar más de 5 [°C] respecto a la hora anterior.
- No varía más de 0,5 [°C] por 12 horas consecutivas.

²⁵⁶ U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Office of Air Quality – Planning and Standards. United States.

²⁵⁷ *Ibid.*

2.3.5 Conversión de registros meteorológicos subhorarios

En el marco de la evaluación de impacto ambiental, tanto las modelaciones de calidad del aire como las de olores, se basan en datos promedios horarios, a menos que se indique en los lineamientos regulatorios otra resolución de tiempo. El promedio horario está asociado con el producto final del procesamiento de datos registrados (los valores que se transmiten para su uso en el modelo). Estos promedios por hora pueden obtenerse promediando muestras durante una hora completa o promediando un conjunto de promedios de períodos más cortos. Si el promedio por hora se basa en promedios de períodos más cortos, se recomienda que se utilicen intervalos de 15 minutos. Se requiere de al menos dos periodos válidos de 15 minutos para representar el período de una hora. El uso de promedios de períodos más cortos para el cálculo de un valor horario tiene la ventaja de que minimiza los efectos de suavizamiento bajo condiciones de viento de baja intensidad en el cálculo de la desviación estándar de la dirección del viento. Proporcionando información más completa al especialista al revisar los datos por períodos de transición.

2.3.6 Frecuencia de vientos calmos y tratamiento de datos faltantes

La guía de Australia Occidental²⁵⁸ señala en relación con la metodología de medición, la importancia que tiene la resolución de los instrumentos para el registro de las variables ambientales, siendo una de las más relevantes la de velocidad del viento. Debido que para su aplicación en la dispersión de contaminantes se requiere representar condiciones de viento de baja intensidad y condiciones de calma, situación que sería subestimada de utilizar instrumentos con una baja resolución (> 0,5 [m/s]).

Los registros meteorológicos de las estaciones observadas normalmente contienen entre 0,1% y 5% de datos faltantes para cada variable medida. En relación con ello, la agencia de protección ambiental U.S. EPA²⁵⁹ propone un conjunto de consideraciones para el manejo y tratamiento de los registros faltantes y alcanzar un mejor nivel de estimación en la serie de datos²⁶⁰:

- Cuantificar los datos faltantes para cada variable medida por la estación meteorológica dentro del periodo anual de análisis.
- Si el porcentaje de datos faltantes de una variable es superior al 10%, esta variable no debe ser utilizada en la modelación.
- La cobertura estacional o mensual de registros debe ser superior al 90% para su incorporación al modelo.
- Cuando los registros faltantes corresponden a unas pocas horas, es adecuado utilizar métodos de interpolación lineal o de persistencia (solapamiento).
- Para períodos de datos faltantes de mayor extensión, se puede completar con registros de la misma variable provenientes de una estación cercana que sea representativa. Si no se dispone alguna estación cercana, es aceptable la interpolación lineal durante períodos más largos o el uso de un valor promedio estacional.

²⁵⁸ Department of Water and Environmental Regulation. (2019). Guideline: Odour Emissions. Government of Western Australia. Western Australia.

²⁵⁹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁶⁰ United States Environmental Protection Agency. (2017). Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States.

- Los registros de una estación meteorológica distinta a las seleccionadas también pueden ser utilizadas para completar registros faltantes, pero con una mayor incertidumbre.

En este sentido, la guía de buenas prácticas de modelación de Nueva Zelanda²⁶¹ señala que es adecuado sustituir períodos de datos faltantes de hasta siete días, utilizando promedios sintetizados de registros históricos anuales de la misma estación. La metodología empleada para el tratamiento de registros faltantes debe detallarse en el informe de modelación.

2.3.7 Aplicabilidad de meteorología de pronóstico

El uso de información meteorológica proveniente de un modelo de pronóstico puede ser una alternativa útil cuando no se tiene suficientes datos observados disponibles o donde es poco probable alcanzar la representatividad meteorológica alrededor del proyecto. Los datos de pronóstico pueden ser útiles en zonas de terreno complejo como zonas costeras, donde no se dispone de información adecuada para representar la estructura y estabilidad atmosférica local. Este tipo de meteorología proporciona de la información de entrada requerida por el modelo de dispersión, asociada a variables como velocidad y dirección del viento, la cobertura de nubes, la profundidad de la capa límite y estabilidad atmosférica. Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones de los datos de pronóstico, siendo adecuado evaluar el desempeño de las variables en relación con la geografía local antes su utilización en el proceso de modelación²⁶².

En caso de no disponer de información meteorológica observada representativa o en circunstancias donde las estaciones meteorológicas más cercanas se sitúan fuera del dominio de modelación, es recomendable el uso de meteorología de pronóstico para su ingreso al modelo, particularmente en zonas de terreno complejo o en presencia de interfaz mar/tierra²⁶³.

En estas situaciones la U.S. EPA²⁶⁴ recomienda las siguientes consideraciones:

- Utilizar la interfaz del de modelo de mesoescala (MMIF), para generar entradas directas al modelo de dispersión. Del mismo modo, los datos provenientes del modelo de pronóstico WRF son preferibles a los datos MM5 para generar las entradas meteorológicas al modelo.
- La resolución de las celdas que conforman la grilla meteorológica y el tamaño del dominio de modelado deben ser adecuados para capturar las características de mesoescala de la ubicación de la instalación.
- Para fines de modelación, es suficiente el procesamiento de 1 año de información meteorológica.
- Es recomendable que el dominio meteorológico modelado se encuentre centrado en la instalación.

²⁶¹ Ministry for the Environment. (2016). Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour. Wellington: Ministry for the Environment. New Zealand.

²⁶² Department for Environment Food & Rural Affairs. (2021). Local Air Quality Management – Technical Guidance (TG16). Environment Northern Ireland. United Kingdom.

²⁶³ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁶⁴ United States Environmental Protection Agency. (2017). Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States.

2.4 Análisis de incertidumbre

2.4.1 Incertidumbre del proceso de modelación

La revisión de los distintos documentos de referencia, en el marco regulatorio de la evaluación de impactos, se reconoce la existencia de un conjunto de fuentes de incertidumbre que podrían influir en el desarrollo de las etapas de predicción y cuantificación del impacto en las comunidades cercanas al proyecto.

Las herramientas utilizadas en la modelación de dispersión de olores están sujetas a incertidumbres tanto reducibles como inherentes (no reducibles), las que deben ser controladas en la medida de lo posible²⁶⁵. Entre las fuentes de incertidumbre más relevantes se encuentran:

Incertidumbre reducible (conjunto de parámetros de entrada del modelo)

- **Objetivo del estudio:** Se relacionan en gran medida con diferencias asociadas a la identificación parcial de fuentes de emisión que conforman la operación de la instalación. En situaciones donde sólo se consideren fuentes asociadas al proyecto, y que no permitan representar los aportes de la totalidad de las fuentes existentes. Condición que afectaría a la representatividad de los resultados del modelo de dispersión²⁶⁶.
- **Caracterización de emisiones:** La utilización de instrumentos de medición fuera del estándar normativo y la inadecuada ejecución metodológica del muestreo y análisis olfatométrico podría incrementar en forma significativa el nivel de incertidumbre asociado a la caracterización de las emisiones de las fuentes de interés, proporcionando datos de entrada inexactos al modelo de dispersión²⁶⁷.
- **Errores proyección de emisiones:** Este tipo de error puede generar grandes errores en los resultados del modelo. Siendo adecuado proyectar la tasa de emisión máxima para una operación continua (8760 horas). Cuando se tiene una frecuencia de operación estacional por horas o días se puede replicar la emisión de esta operación para evaluar límites anuales.
- **Datos meteorológicos inapropiados:** La selección de una estación meteorológica inadecuada puede dar lugar a errores, especialmente cuando la velocidad media del viento varía significativamente entre la fuente y la estación meteorológica. Siendo necesario evaluar su calidad y representatividad antes de su incorporación al modelo.
- **Características del terreno:** Las condiciones de terreno complejo pueden conducir a concentraciones ambientales significativamente más altas en comparación con el terreno plano. Por lo tanto, se debiera indicar claramente el origen de los datos de terreno y uso de suelo ingresados al modelo.
- **Flujo descendente:** En fuentes puntuales, cuando la altura de la chimenea es menor que 1,5 veces la altura o ancho del edificio (lo que sea menor), se deberá considerar el flujo descendente del edificio sobre el caudal de emisión. Esta condición, generalmente dará concentraciones ambientales significativamente más altas en relación con una emisión que no la incluya.

²⁶⁵ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁶⁶ Fox, D. G. (1984). Uncertainty in Air Quality Modeling: A Summary of the AMS Workshop on Quantifying and Communicating Model Uncertainty. American Meteorological Society. United States.

²⁶⁷ Environmental Management Bureau. (2008). Guidelines for Air Dispersion Modeling. Department of Environment and Natural Resources. Republic of the Philippines.

Incertidumbre inherente (Configuración del modelo)

- **Periodo de evaluación:** Los modelos son herramientas más confiables en la estimación de concentraciones promedio en periodos de tiempo prolongados (Ej. Anual) que para estimar concentraciones a corto plazo en lugares específicos dentro del dominio.
- **Ajuste de parámetros:** Los modelos son razonablemente confiables para estimar la magnitud de las concentraciones más altas dentro del dominio. Por lo tanto, en situaciones donde se tengan emisiones de baja magnitud, se requiere aplicar algunos criterios que permitan la selección de la herramienta más adecuada para la cuantificación de impacto.
- **Turbulencia:** Producto de la naturaleza aleatoria del campo turbulento a través del cual tiene lugar la dispersión. Siendo necesario evaluar en la selección de la herramienta de modelación las características de las fuentes y condiciones de terreno a las que estará sujeta la dispersión de las emisiones, dado que algunos modelos presentan limitaciones respecto a la simulación de estas condiciones.

Al momento de modelar una instalación industrial, se debiera tener en consideración el efecto de la incertidumbre del modelo en los resultados. En un ejemplo de aplicación, si una instalación opera continuamente con una tasa de emisión cercana a la máxima autorizada (es decir, concentración máxima y flujo de volumen máximo), la contribución del contaminante al ambiente debiera ser inferior al 75% del estándar de calidad ambiental o límite permisible. En un enfoque de impactos acumulativos, se debiera tener en cuenta una fracción menor del límite de calidad ambiental²⁶⁸.

Por lo tanto, al desconocer cualquiera de estas fuentes de incertidumbre, los resultados podrían conducir a subestimaciones o sobreestimaciones en el nivel de impacto en los receptores, incluso en algunos casos podrían no tener sentido.

Del mismo modo, la guía de evaluación de olores de Victoria propone 7 principios que permiten minimizar la incertidumbre en los supuestos aplicados en la parametrización del modelo²⁶⁹:

1. Comenzar con supuestos conservadores y ajustarlos de forma gradual e iterativa.
2. Descripción clara de los supuestos aplicados en base a información sólida, representativa de la realidad y específica de la instalación.
3. Los supuestos deben ser razonablemente conservadores, teniendo en cuenta cual es la probabilidad de ocurrencia de esa situación (situaciones poco frecuentes deben ser evaluadas bajo un enfoque de evaluación de riesgos).
4. Los supuestos deben estar justificados adecuadamente. Entre los cuales se mencionan aplicación de valores por defecto, referencias técnicas, informes técnicos de medición y criterios por experiencia del profesional.
5. Proporcionalidad entre supuestos conservadores e incertidumbre. Si se tiene un valor alto de incertidumbre es necesario aplicar supuestos más conservadores.
6. Relación entre supuestos conservadores y cualidad del olor. En emisiones de alta variabilidad es recomendable asumir que la peor tasa de emisión se produce de forma constante. Los supuestos conservadores deben ser una función del riesgo asociado a la emisión.

²⁶⁸ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁶⁹ Environmental Protection Agency Victoria. (2022). Guidance for Assessing Odour. Victoria Government. Australia.

7. Supuestos demasiado conservadores pueden ser perjudiciales para la evaluación. Siendo necesario tener en cuenta ciertas consideraciones como transferencia del riesgo (cierres de plantas por sobrestimación del riesgo), alarmismo (preocupación desproporcionada por parte de la comunidad), fatiga del riesgo (frecuente la sobrestimación del riesgo no genera una respuesta en el titular ni en la comunidad) o compensación por exceso de moderación (generando decisiones menos preventivas o de control).

En este sentido, la mayoría de los documentos de referencia consultados señalan que para asegurar la calidad de la información meteorológica de entrada al modelo de dispersión, es adecuado dar cumplimiento a los requerimientos y recomendaciones generales establecidos en las guías: On-site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modelling Applications (US EPA, 1987) and Part 51, Guideline on Air Quality Models (US EPA, 1999)²⁷⁰.

2.4.2 Estimación de incertidumbre del modelo meteorológico

Los modelos avanzados de dispersión (de estado estacionario o no estacionario), requieren información meteorológica observada tanto superficial (Ej. red de estaciones) como de altura. No obstante, a menudo esta información es escasa, por lo que se debe recurrir a modelos meteorológicos numéricos para suplir esta información. Uno de los modelos más utilizados es el modelo numérico de pronóstico WRF²⁷¹.

El propósito del modelado WRF es desarrollar un conjunto de celdas con datos meteorológicos representativos de las condiciones atmosféricas de un dominio como información de entrada al modelo de dispersión. Por lo tanto, la configuración y parametrización adecuada del modelo es clave en la evaluación de los impactos potenciales que pueda generar una instalación en la calidad del aire.

Se han realizado estudios de análisis de sensibilidad donde se han probado parametrizaciones diferenciadas según periodos estacionales, aumentando el desempeño del modelo. Dentro del estudio, las variables sensibles fueron: esquemas de PBL (Capa límite planetaria), esquema de microfísica, radiación de onda corta y el modelo de superficie terrestre. De los resultados se ha logrado, entre otros: diferenciación en la parametrización de la física del modelo para los periodos estacionales (Ej. meses de invierno) y resolución vertical mejorada en la capa superficial²⁷².

El objetivo de la estimación y cuantificación de la incertidumbre asociada a la información meteorológica es determinar la capacidad de reproducir las condiciones atmosféricas del dominio²⁷³ y de las variables relevantes que tienen una incidencia directa en la dispersión de los contaminantes en el entorno local donde se emplazan las fuentes de emisión.

²⁷⁰ Environmental Management Bureau. (2008). Guidelines for Air Dispersion Modeling. Department of Environment and Natural Resources. Republic of the Philippines.

²⁷¹ British Columbia Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Environmental Protection Division. Canada.

²⁷² Bureau of Land Management Utah State Office. (2013). Utah Air Resource Management Strategy Modeling Project: Meteorological Model Performance Evaluation. United States.

²⁷³ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

Para llevar a cabo este tipo de análisis, se debe contar con observaciones meteorológicas validadas para un mismo periodo anual y que la estación se encuentre como mínimo dentro del dominio de modelación. Previo a la selección de la información observada con la cual se realizará la comparación y análisis se debe evaluar la calidad de la información mediante el cumplimiento de criterios de validación, estándar de instalación y representatividad meteorológica.

2.4.2.1 Cuantificación de incertidumbre

La cuantificación de incertidumbre se realiza comparando los campos meteorológicos predichos por el modelo meteorológico WRF con datos observados en un punto dentro del dominio, ya sea a nivel superficial como en altura. Debido a la disponibilidad de información, se utilizan con mayor frecuencia observaciones superficiales, cuyos registros deben ser recopilados, analizados y validados antes su utilización en la cuantificación de incertidumbre.²⁷⁴

En la comparación cuantitativa se utilizan métricas que permiten determinar el desempeño del modelo, contrastando los datos pronosticados por el modelo a nivel superficial con los registros de variables atmosféricas obtenidos en una estación meteorológica de referencia. La comparación debe considerar como mínimo las variables de velocidad del viento, la dirección del viento y la temperatura²⁷⁵.

Entre los estadísticos más utilizados para la cuantificación de incertidumbre se encuentran²⁷⁶:

- **RMSE:** calculado como la raíz cuadrada de la diferencia media cuadrática en emparejamientos de predicción-observación con datos válidos dentro de una región de análisis determinada y para un período de tiempo determinado (por hora o por día). }
- **Bias Error:** calculado como la diferencia media en emparejamientos de predicción-observación con datos válidos dentro de una región de análisis dada y para un período de tiempo dado (por hora o por día).
- **Gross Error:** calculado como la diferencia absoluta media en emparejamientos de predicción-observación con datos válidos dentro de una región de análisis determinada y para un período de tiempo determinado (por hora o por día).
- **Index of Agreement (IOA):** Esta métrica condensa todas las diferencias entre las estimaciones del modelo y las observaciones dentro de una región de análisis determinada y durante un período de tiempo determinado (por hora y por día) en una cantidad estadística. Es la relación entre el RMSE total y la suma de dos diferencias, entre cada predicción y la media observada, y entre cada observación y la media observada.

2.4.2.2 Indicadores de desempeño

²⁷⁴ Environmental Management Bureau. (2008). Guidelines for Air Dispersion Modeling. Department of Environment and Natural Resources. Republic of the Philippines.

²⁷⁵ *Ibid.*

²⁷⁶ Tesche. T.W., et al. (2001). Evaluation of the MM5 Model Over the Midwestern U.S. for Three 8-hour Oxidant Episodes. Kansas City Ozone Technical Workgroup. United States.

Las estadísticas para la evaluación del desempeño del modelo, por lo general se calculan para el periodo anual y horario de las variables meteorológicas o dependiendo de su aplicación. Los índices de desempeño que se proponen para la evaluación del modelo se basan en los estudios realizados por Emery et al. (2001) y adicionalmente se proponen la referencia de Kemball-Cook, et.al., (2005)²⁷⁷, el cual introduce referencias adicionales específicamente para áreas con terreno complejos en reconocimiento de las dificultades asociadas con el modelado de este tipo de topografía^{278y279}.

Tabla 3 – Indicadores de desempeño para variables atmosféricas relevantes

Estadísticos	Velocidad del viento	Dirección del viento	Temperatura
RMSE	$\leq 2 - 2.5^*$ [m/s]	-	-
Bias	$\leq \pm 0.5$ [m/s]	$\leq \pm 10$ [grados]	$\leq \pm 0.5 - 2^*$ [°C]
IOA	≥ 0.6	-	≥ 0.8
Gross Error	-	$< 30 - 55^*$ [grados]	$\leq 2 - 3.5^*$ [°C]

Fuente: Emery, C., Tai, E. (2001)²⁸⁰.

*Evaluación orientada a terreno complejo

2.5 Parametrización del modelo

La guía de modelación de Irlanda²⁸¹ señala que, si bien la modelación de olores utiliza los mismos principios aplicados en la emisión al ambiente de cualquier otro contaminante, presenta algunas características propias de esta componente, entre las cuales se encuentran:

- Ingreso de tasa de emisión en términos de [ou/s].
- Las emisiones generan un impacto a nivel de suelo en términos de concentración, expresada en [ou/m³].
- La medición de los niveles ambientales de fondo o línea base para su incorporación a los resultados del modelo no es un enfoque válido. Debido a que los olores generalmente no son aditivos debido a la sinergia y efecto no lineal de la mezcla de compuestos odorantes en el ambiente. Del mismo modo, el nivel de olor ambiental de una fuente de olor generalmente estará enmascarado por el olor de fondo existente.
- En la evaluación del impacto acumulativo de dos o más instalaciones potencialmente olorosas, cada instalación individual debe evaluarse utilizando el límite permisible aplicable a la actividad.
- En las regiones donde es probable que se superpongan significativamente las plumas de olor, es recomendable aumentar el criterio percentil.

²⁷⁷ Kemball-Cook, S., et al. (2005). Alaska MM5 Modeling for the 2002 Annual Period to Support Visibility Modeling. Center for Environmental Research and Technology - University of California. United States.

²⁷⁸ Environmental Management Bureau. (2008). Guidelines for Air Dispersion Modeling. Department of Environment and Natural Resources. Republic of the Philippines.

²⁷⁹ Tesche, T.W., et al. (2001). Evaluation of the MM5 Model Over the Midwestern U.S. for Three 8-hour Oxidant Episodes. Kansas City Ozone Technical Workgroup. United States.

²⁸⁰ Emery, C., Tai, E. (2001). Enhanced Meteorological Modeling and Performance Evaluation for Two Texas Ozone Episodes. Texas Natural Resources Conservation Commission - ENVIRON, International Corp. United States.

²⁸¹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

2.5.1 Caracterización de datos geofísicos

Los parámetros de entrada de los datos de superficie cumplen un rol fundamental en la dispersión de olor²⁸². Entre los criterios más relevantes a considerar se encuentran:

Uso de suelo

- Las características de superficie deberán ser representativas del dominio meteorológico y no sólo las del lugar de emplazamiento de la instalación.
- De aplicar un modelo gaussiano y las condiciones de uso de suelo varían alrededor del lugar de la instalación, estas deberán subdividirse en cuadrantes de un tamaño mínimo de 30°.
- De ingresar los parámetros de uso de suelo de forma manual, el ingreso del índice de Bowen debe basarse en una media geométrica no ponderada y el albedo en una media aritmética simple no ponderada.
- El parámetro de rugosidad de la superficie es especialmente relevante en instalaciones con chimeneas bajas (5-10 [m]) y cuyas emisiones cuentan con una baja flotabilidad.
- Es preferible utilizar la fuente de información más actualizada como referencia.

Elevaciones de terreno

- Es recomendable el uso de información digital de terreno, desde la base de datos de la agencia USGS (United State Geological Survey), del programa SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).
- Se debe privilegiar la información con la mayor resolución posible, siendo recomendable el uso de 1 [arc seg] (aproximadamente 30 [m]).

2.5.2 Caracterización de receptores discretos

Al definir receptores discretos, se debe tener en consideración las características del lugar de emplazamiento, tiempo de permanencia y uso permitido de suelo. La evaluación de impacto en receptores debe considerar periodos de tiempo significativos (ej. 1 año) en relación con el período promedio de los valores límite (Ej. promedio horario)²⁸³.

De acuerdo con lo señalado por la U.S. EPA, se pueden presentar en el dominio algunos puntos en los cuales no sería adecuada la evaluación de impacto, entre los que describe²⁸⁴:

- Receptores dentro de la misma instalación industrial (donde se aplica la legislación sobre salud y seguridad).
- Áreas donde el público no tenga acceso y no haya una habitación o residencia permanente.
- En la calzada de las carreteras.

Sin embargo, en el peor de los casos, la modelación de contaminantes para la cuantificación de impactos suele realizarse en todos los lugares fuera de los límites del predio del solicitante. Pudiendo ser requerida la cuantificación de niveles de concentración, incluso dentro de los límites

²⁸² Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁸³ *Ibid.*

²⁸⁴ United States Environmental Protection Agency. (2017). Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States.

prediales de otras instalaciones industriales²⁸⁵. Como señala la guía de evaluación de Australia, en muchos casos la aplicación de un nivel permisible depende de cierta manera de la densidad de la población aledaña a la instalación. Debido a que, a una mayor densidad, aumenta la probabilidad de impacto en los receptores siendo necesaria la aplicación de criterios más estrictos²⁸⁶.

Generalmente, la altura del receptor puede ser definida como cero o 1,5-1,8 [m] (altura de respiración), la diferencia en la selección de una altura u otra dentro de este rango, no tiene un impacto significativo en los resultados²⁸⁷.

En caso de requerir evaluar un nivel limite en lugares con edificios grandes con balcones, ventanas abiertas o tomas de aire, también se deben ingresar receptores en estos lugares. Mientras que, al modelar quejas de olores residenciales, las alturas de los receptores que representan los dormitorios (primer piso o más alto según las características del edificio) deben incluirse en el modelo además de los receptores a nivel del suelo²⁸⁸.

2.5.3 Aplicabilidad de grilla de receptores

La modelación de impacto por olores debe llevarse a cabo utilizando una cuadrícula de receptores (grilla de receptores), separado de los receptores sensibles. Siendo adecuado presentar los resultados para ambos elementos. Al definir la grilla de receptores más adecuada para el proyecto, se debe asegurar que el tamaño de esta sea lo suficientemente grande para garantizar la cuantificación de la concentración máxima a nivel del suelo. El tamaño de la grilla requerida será específico del proyecto y variará según las características de las fuentes (Ej. altura de chimeneas, flotabilidad de la pluma, entre otras), los factores geofísicos y las condiciones meteorológicas²⁸⁹.

En ese sentido, la guía de Irlanda propone realizar modelación preliminar utilizando una grilla de baja resolución. De este modo, identificar la extensión del dominio que será necesaria para la cuantificación de concentración en las áreas de interés. En función de los resultados obtenidos, se puede llevar a cabo un proceso iterativo que permita asegurar la cobertura total del área de dispersión. Una vez definido el tamaño de la grilla, es posible que se requiera aumentar su resolución para garantizar un ajuste adecuado de las isoconcentraciones en las áreas de mayor impacto. Dado que la mayor precisión requiere de mayores tiempos de procesamiento computacional, se recomienda un equilibrio entre el tamaño de la grilla y la resolución de la cuadrícula. Pudiendo utilizar como criterio de selección la parametrización donde cualquier aumento en la resolución no resulte en un aumento de la concentración máxima a nivel del suelo en más del 10%²⁹⁰.

²⁸⁵ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁸⁶ Environmental Protection Authority. (2016). Ambient Air Quality Assessment. Environmental Protection Authority. Western Australia.

²⁸⁷ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁸⁸ *Ibid.*

²⁸⁹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁹⁰ *Ibid.*

En caso de que la grilla definida corresponda a una grilla anidada de varios niveles, se debe aplicar una resolución fina cerca de la fuente (o cerca del punto de máxima concentración a nivel del suelo) con una cuadrícula progresivamente más gruesa a medida que se distancia de este máximo²⁹¹.

Cuando la concentración máxima a nivel del suelo se produce en condiciones de terreno complejo, se puede justificar una resolución de cuadrícula más alta (20 [m] – 50 [m]). Si la concentración máxima ocurre en el límite de la instalación, se puede aplicar una resolución de hasta 10 [m] para capturar adecuadamente la concentración máxima. Sin embargo, no se deben ubicar receptores dentro de los límites de la propiedad ya que la legislación de salud y seguridad ocupacional es aplicable dentro del sitio, en lugar de los estándares de calidad del aire ambiental²⁹².

La guía modelación del estado de Saskatchewan, recomienda el uso de grilla anidada de varios niveles con un espaciado de cuadrícula predefinido. Su aplicación permite al usuario un punto de partida específico bajo criterios establecidos, minimizando los tiempos de ejecución del modelo producto de la relación directa con las cuadrículas de cálculo²⁹³. Si bien algunas guías de modelación proponen algunas variantes de espaciamiento en función de la distancia, estas aplican un criterio común al considerar al menos 5 grilla anidadas²⁹⁴.

Los criterios asociados al número de grillas y espaciado de cuadrícula recomendados²⁹⁵, se describen a continuación:

- Grilla 1: Espaciado de 20 [m] en el perímetro de la instalación y el área de mayor impacto.
- Grilla 2: Espaciado de 50 [m] para los primeros 0,5 [km] desde la fuente y sobre terreno elevado.
- Grilla 3: Espaciado de 250 [m] dentro de los 2 [km] desde la fuente.
- Grilla 4: Espaciado de 500 [m] dentro de los 5 [km] desde la fuente.
- Grilla 5: Espaciado de 1000 [m] más allá de los 5 [km] desde la fuente.

2.5.4 Aplicabilidad de flujo descendente (building downwash)

En fuentes puntuales es de relevancia considerar criterios de turbulencia asociada al concepto de corriente divisoria en la pluma de dispersión. Debido a la diferencia en el comportamiento de la fracción superior de pluma (por sobre la línea divisoria) respecto a la fracción inferior. Siendo esta última la que impacta directamente en la superficie, mientras que la fracción superior se eleva y dispersa en el ambiente por sobre el terreno²⁹⁶.

Este elemento de turbulencia se desarrolla principalmente en chimeneas de baja altura, las cuales pueden estar sujetas a la influencia de edificios cercanos. Donde los campos de viento al acercarse al edificio, se distribuyen tanto hacia arriba como alrededor del edificio, dando lugar a la formación de remolinos turbulentos. Estos remolinos generarán una mezcla de aire hacia el suelo, propiciando la formación de una zona de cavidad donde puede ocurrir la recirculación del aire, arrastrando una

²⁹¹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁹² *Ibid.*

²⁹³ Maqsood, I., (2012). Saskatchewan Air Quality Modelling Guideline. Ministry of Environment -Government of Saskatchewan. Canada.

²⁹⁴ Sullivan, J., et al. (2018). MPCA Air Dispersion Modeling Practices. Minnesota Pollution Control Agency. United States.

²⁹⁵ Maqsood, I., (2012). Saskatchewan Air Quality Modelling Guideline. Ministry of Environment -Government of Saskatchewan. Canada.

²⁹⁶ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

fracción de la pluma hacia el suelo (flujo descendente) e incrementando los niveles de concentración a nivel superficial. Siendo adecuado representar en el modelo, aquellas estructuras/edificios que se encuentren a una distancia menor a 5 veces la altura o ancho máximo del edificio donde se emplaza la chimenea, no más allá de un radio de 800 [m]²⁹⁷.

De acuerdo con lo indicado por las buenas prácticas de ingeniería de la agencia U.S. EPA, se debe considerar esta turbulencia en chimeneas cuya altura (desde el suelo al punto de emisión) se encuentre por debajo de 1,5 veces la altura o ancho máximo del edificio donde se emplaza la chimenea²⁹⁸. Por lo tanto, cuando los edificios se encuentran a 1 o 2 [m] de la regla del 40 %, se debe realizar un estudio de sensibilidad aumentando el edificio al 40 % de la altura de la chimenea y el modelo se ejecuta con el algoritmo de flujo descendente del edificio correspondiente²⁹⁹.

Del mismo modo, en condiciones de terreno donde las elevaciones superan el 40% de la altura de la chimenea (dentro de un radio de 800 [m]), las emisiones quedan sujetas a condiciones de flujo descendente. Debido a que los campos de viento a barlovento de la chimenea estarán sujetos a un factor de turbulencia adicional (similar a la corriente descendente de un edificio) que tenderá a atraer la pluma hacia la superficie, conduciendo un incremento en las concentraciones del contaminante a nivel de suelo. Este tipo de condiciones deberá ser abordado mediante el uso de un modelo no estacionario, para alcanzar una mayor representatividad del escenario más desfavorable de dispersión³⁰⁰.

Para representar estas condiciones de flujo descendente en el modelo, se debe utilizar el procesador de entrada BPIP-PRIME. El cual establecerá los parámetros necesarios para ejecutar, la elevación de la pluma y el flujo descendente (PRIME). El procesador calculará los factores de turbulencia (en secciones de 10 grados), basado en la relación entre la posición de la chimenea y cada edificio relevante³⁰¹.

El modelo determina el cambio en la ubicación de la línea central de la pluma con la distancia a favor del viento en función de la pendiente de las líneas de corriente medias, acoplado a un modelo numérico de elevación de la pluma³⁰².

2.5.5 Consideraciones en la determinación de la tasa de emisión

La guía de Irlanda señala que al momento de caracterizar la tasa de emisión de una instalación existente estas deben ser obtenidas mediante muestreo y análisis olfatométrico en triplicado para reducir la incertidumbre e identificar valores atípicos. En la caracterización de emisiones en la condición operativa más desfavorable, se debe tener en consideración el nivel de actividad de la instalación (máximo y promedio). Esta condición tiene especial relevancia en fuentes puntuales,

²⁹⁷ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

²⁹⁸ United States Environmental Protection Agency. (2017). Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States.

²⁹⁹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³⁰⁰ *Ibid.*

³⁰¹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³⁰² *Ibid.*

debido a que la operación con un nivel máximo aumentará la emisión y al mismo tiempo el caudal, pudiendo resultar en un aumento en el impulso de la pluma del contaminante, favoreciendo la dispersión de este en el ambiente. Por el contrario, la reducción del caudal volumétrico reducirá la emisión de la instalación, pero también reducirá el impulso de la pluma³⁰³. Por lo tanto, la modelación a tasa de flujo máxima (donde se maximiza la emisión), no conducirá necesariamente a la mayor concentración a nivel del suelo.

En este sentido, se debe tener especial precaución en el manejo de las tasas de emisión en el modelo, producto de su alta sensibilidad a la variabilidad operacional, a continuación, se describen algunas consideraciones³⁰⁴:

- Siempre es preferible aplicar una tasa de emisión conservadora como punto de partida para la modelación de una situación operacional.
- El caudal de emisión debe calcularse multiplicando la concentración por el caudal volumétrico medidos en las mismas condiciones.
- Para representar las condiciones operativas reales de una fuente puntual, siempre deben ser medidas las condiciones de flujo (ej. velocidad de salida, temperatura o humedad) y sobre estos valores calcular la tasa de emisión a ingresar al modelo de dispersión.
- El caudal de emisión debe calcularse multiplicando la concentración por el caudal volumétrico con ambos parámetros medidos en las mismas condiciones.
- Cuando se tienen variaciones operacionales significativas (Ej. paradas de planta o canalización de emisiones), se debe evaluar si estas generan cambios en el comportamiento de la tasa de emisión, temperatura de salida y caudal volumétrico para su caracterización en el modelo.
- Pueden ser utilizadas tasas de emisión variables cuando los procesos solo operan durante períodos de tiempo acotados (Ej. solo entre semana).
- Para fuentes de corta duración se pueden utilizar tasas de emisión promedio, proyectadas en o una modelación anual. Asumiendo que las emisiones máximas se superponen con las peores condiciones meteorológicas.
- Cuando las emisiones sean significativamente más altas durante los periodos de mantención o de paradas de planta que en la operación normal, estas deberán modelarse en función de la frecuencia probable de ocurrencia y factorizarse para permitir la tasa de emisión más representativa.
- En caso de fuentes o ductos con flujo horizontal, la agencia U.S. EPA propone que la tasa de emisión debe ser proyectada con una velocidad de salida de 0,001 [m/s], sin modificar los otros parámetros de flujo³⁰⁵.
- Al realizar comparaciones de tasas de emisión estas deberán considerar la misma unidad temporal.
- En todas las circunstancias se debe cumplir el límite normativo de referencia cuando se opera con las concentraciones máximas de emisión.

³⁰³ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³⁰⁴ *Ibid.*

³⁰⁵ United States Environmental Protection Agency. (2017). Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States.

La guía de evaluación de olores de Victoria señala que es posible realizar comparaciones de distintos escenarios de modelación, basado en la aplicación de variaciones en las emisiones de las fuentes (modelación de dispersión relativa). De este modo, determinar la contribución relativa de las fuentes que conforman la instalación y evaluar cambios asociados a la configuración de las fuentes o equipos en la operación de la instalación. Sin embargo, en los supuestos aplicados en la variación de la tasa de emisión se debe privilegiar el uso de datos específicos de la instalación siempre con un enfoque conservador, con el objeto de minimizar la incertidumbre en la toma de decisiones y no subestimar los riesgos de impactos asociados³⁰⁶.

2.5.6 Caracterización de línea base de olor

Al evaluar la emisión de una instalación industrial, es importante considerar los contaminantes que ya están presentes dentro del dominio de modelación y su concentración base para agregar la concentración de fondo adecuada a la contribución del proyecto³⁰⁷.

La selección del valor apropiado debe basarse en un promedio de las concentraciones zonales apropiadas o el uso del valor de concentración en el caso más desfavorable³⁰⁸.

Para obtener información sobre el impacto de una instalación industrial existente, particularmente cuando las emisiones provienen principalmente de fuentes en altura como chimeneas, requiere de una modelación para caracterizar adecuadamente estas emisiones y su impacto. Siendo necesario verificar la idoneidad de la información disponible antes de su proyección³⁰⁹.

En caso de utilizar encuestas como herramienta de caracterización del lugar de interés, estas deberán durar al menos 3 meses para su extrapolación a niveles de exposición como medias anuales³¹⁰.

Sin embargo, se debe tener presente que la medición de los niveles ambientales de olor y su incorporación a los resultados del modelo no es considerada como un enfoque válido. Los olores generalmente no tienen un carácter aditivo, debido a los efectos sinérgicos y no lineales de los múltiples compuestos presentes en la mezcla de olores en el ambiente³¹¹.

³⁰⁶ Environmental Protection Agency Victoria. (2022). Guidance for Assessing Odour. Victoria Government. Australia.

³⁰⁷ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³⁰⁸ *Ibid.*

³⁰⁹ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³¹⁰ *Ibid.*

³¹¹ Environmental Protection Agency. (2019). Odour Emissions Guidance Note (AG9). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

2.6 Estimación y cuantificación de impacto odorante

Tanto en Reino Unido como en Irlanda, se recomiendan límites de concentración normativo en receptores, aplicado como el percentil 98 de los promedios horarios en el periodo anual. En función de la ofensividad del olor, se pueden aplicar ciertos ajustes locales (Ej. densidad de población) ³¹².

2.6.1 Cuantificación de la sumatoria de los impactos (efecto sinérgico)

El efecto acumulativo de los impactos debe considerarse siempre que se identifiquen múltiples fuentes de emisión de olor o se incorpore una nueva fuente en una zona donde existan una o más fuentes de olor. En relación a ello, el efecto acumulativo de los impactos tiene 2 enfoques³¹³:

- **Fuentes en la instalación:** donde se requiere evaluar el aporte de todas las fuentes de emisión consideradas como significativas dentro de la instalación industrial, incluyendo las nuevas fuentes con las cuales se está solicitando la autorización ambiental.
- **Fuentes conocidas fuera de la instalación industrial:** asociada a la contribución de los impactos por olores generados por fuentes conocidas emplazadas en zonas aledañas a la instalación industrial en evaluación. Este tipo de evaluación pretende abarcar todas las fuentes de olor cercanas al proyecto. Particularmente en situaciones donde las características del olor de las fuentes aledañas son similares a la instalación industrial a evaluar.

Al modelar la emisión de contaminantes atmosféricos de una instalación industrial, se debe tener en cuenta la presencia de otras instalaciones industriales significativas que pueden contribuir a los niveles de concentración del contaminante dentro del dominio de modelación. Del mismo modo, cuando una instalación cercana emite el mismo contaminante que el proyecto a evaluar, ambos a un nivel significativo, puede ser necesaria una evaluación de impacto acumulativo.

La guía de Irlanda proponer los siguientes pasos para el levantamiento de información de instalaciones industriales aledañas al proyecto³¹⁴:

1. Revisión de instalaciones con autorización ambiental aprobada.
2. Revisar si las instalaciones aledañas tienen alguna fuente de emisión significativa e identificar el tipo de contaminante que emite al ambiente.
3. Comprobar si se dispone de la información mínima para realizar la modelación individual de cada instalación existente y del proyecto.
4. Evaluar el impacto acumulativo, aplicando un percentil mayor al de la norma de referencia (Ej. Aumentar de percentil 98 a 99,5) en la región donde es probable que se superpongan las plumas.

En algunos casos, cuando se identifica la existencia de fuentes puntuales cercanas a la instalación en evaluación, se recomendable aplicar una metodología que nos permita evaluar si es necesaria su incorporación a una modelación de impactos acumulativos y la posterior evaluación de la

³¹² Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³¹³ Environmental Protection Agency Victoria. (2022). Guidance for Assessing Odour. Victoria Government. Australia.

³¹⁴ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

significancia de los impactos. Para determinar si una fuente puntual debe incluirse en este tipo de modelo, la U.S. EPA propone los siguientes criterios³¹⁵:

- Cuando las emisiones del contaminante de una fuente generan un aumento del 5% en el estándar de calidad del aire.
- Al identificar un grupo de fuentes puntuales cercanas al proyecto, es recomendable definir un radio circular que se extienda de la fuente al punto más distante donde el modelo de dispersión predice el impacto ambiental significativo (5% >del límite permisible). Dentro de esa área se deben modelar todas las fuentes puntuales que se espera que generen un gradiente significativo de concentración ambiental en el entorno del proyecto.

En Irlanda, se sugiere un incremento >25% del límite de calidad como criterio de prevención de deterioro significativo en la evaluación de impacto. Para determinar su cumplimiento, la concentración pronosticada en cada receptor del modelo se compara con el valor límite de calidad o con el nivel de prevención de deterioro significativo en la región de superposición entre el área de impacto de la instalación propuesta y la instalación existente³¹⁶.

2.6.2 Cuantificación de impacto por olores

Al momento de cuantificar los niveles de concentraciones de olor en receptores, se debe tener en cuenta algunas consideraciones que permitan alcanzar un adecuado nivel de representatividad de la operación y de la dispersión de sus emisiones³¹⁷. Algunos de estos puntos tienen relación con lo siguiente:

- En la evaluación de cumplimiento ambiental de un límite permisible, se debe incluir en el cálculo de la tasa de emisión de la instalación, la frecuencia de operación de cada fuente. Permitiendo la obtención de una tasa de emisión ponderada representativa del régimen operacional de la fuente. Sin embargo, para evaluaciones de impacto de corto plazo o de baja temporalidad, es recomendable considerar la emisión continua de la fuente.
- El incremento en la concentración de olor de una fuente, producto de actividades puntuales o específicas (Ej. Transferencia de material), debieran ser considerada como parte de la variabilidad operacional de la fuente.
- La adecuada selección de un valor límite para la evaluación de una actividad industrial, debiera tener en consideración la ofensividad de los olores característicos de las fuentes. Sin embargo, su aplicación debe ser evaluada caso a caso y justificada por parte del especialista. Por ejemplo, una actividad de ofensividad media con un historial de quejas podría ser evaluada con un nivel de ofensividad alta. Del mismo modo, en caso de que una instalación canalice sus emisiones a través de un sistema de tratamiento de olores, donde además de la reducción en los niveles de concentración se tengan cambios en la ofensividad de los olores, podría ser adecuado el uso de un nivel límite menos estricto.

³¹⁵ United States Environmental Protection Agency. (2017). Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States.

³¹⁶ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³¹⁷ Environmental Protection Agency. (2019). Odour Emissions Guidance Note (AG9). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

- El cumplimiento de un nivel límite, mediante la modelación de dispersión de olor, no asegura que la actividad no genere molestias. Por lo que el industrial debe tener un rol proactivo y de ser necesario implementar medidas que permitan asegurar el cumplimiento de límite permisible.

Por lo tanto, para demostrar cumplimiento en base a un análisis de impactos acumulativos, se debe demostrar que al sumar el aporte del proyecto a la concentración ambiental base, las áreas de superposición en la dispersión de las emisiones, presentan un incremento por debajo del 25% del límite de concentración permisible³¹⁸.

Cuando el pronóstico del impacto acumulativo en uno o más receptores excede el límite permisible o el límite criterio de prevención de deterioro significativo, se requieren medidas de mitigación para reducir los aportes de la nueva instalación³¹⁹.

³¹⁸ Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.

³¹⁹ *Ibid.*

3 CAPITULO III: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE MODELACIÓN DE OLORES SEGÚN CONTEXTO NACIONAL

El presente capítulo corresponde al levantamiento de información relevante asociado al desarrollo del proceso de modelación de olores en el marco de la evaluación ambiental de proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). El levantamiento de antecedentes se enfocó en el diagnóstico de las metodologías aplicadas en la modelación de olores y los desafíos a los cuales se ven enfrentados los profesionales al momento de representar el aporte odorante de un proyecto a través de un modelo de dispersión. Esto abordando cada una de las etapas del proceso de modelación de olores tales como el procesamiento de la información meteorológica requerida por el modelo de dispersión, la caracterización de fuentes de emisión de olor en el modelo, la obtención de resultados y cuantificación de impacto en receptores.

El diagnóstico de puntos críticos en la modelación de olores consideró la realización de entrevistas con profesionales especialistas en la modelación de esta componente, tanto del sector público (n=2) como privado (n=3), de modo que la información obtenida represente de forma integral la experiencia y puntos de vista de los distintos actores involucrados en la modelación desde el punto de vista de "evaluadores" de proyectos relacionados con la modelación de impactos por olor y de los especialistas encargados de desarrollar y ejecutar dichos estudios de modelación.

Los profesionales entrevistados correspondieron a:

Sector público

- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), realizada el 26 de octubre del 2022.
- Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), realizada el 20 de octubre del 2022.

Sector privado

- Envirosuite, realizada el 25 de octubre del 2022.
- Aqom, realizada el 28 de octubre del 2022.
- Proterm, realizada el 28 de octubre del 2022.

La metodología aplicada contempló el desarrollo de 4 etapas, según se describe a continuación:

1. **Recopilación de antecedentes:** Revisión general de expedientes de proyectos o actividades con emisión de olor en la plataforma del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Revisión de las principales observaciones y/o consultas asociadas al desarrollo de estudios de modelación de olores.
2. **Preparación de cuestionario:** Consolidación de observaciones y elaboración de preguntas orientadas a conocer la experiencia de los profesionales en la resolución de dichas observaciones mediante la aplicación de fundamentos técnicos y metodológicos de modelación enfocado en la evaluación de impacto por olores. El cuestionario se desarrolló en formato digital, el cual fue derivado a los profesionales previo a la entrevista. Donde se abordaron los elementos más relevantes del proceso de modelación basado en un set de 12 preguntas. Adicionalmente se elaboró un cuestionario complementario de mayor extensión, cuyo enfoque en el proceso de modelación comprende un carácter más específico.
3. **Realización de entrevistas:** Las entrevistas fueron realizadas en forma remota, mediante videollamada, con una duración promedio de 90 [min]. Durante su realización analizaron en detalle las preguntas y respuestas del cuestionario digital, abordando además distintos puntos de vista y

experiencias de los profesionales (sector público y privado) en el desarrollo del proceso de modelación y de evaluación de impacto por olores.

4. **Consolidación de información:** Luego de realizada la entrevista, se realizó una revisión y análisis de las distintas respuestas para consolidar las distintas opiniones por temática, resumiendo y contextualizando cada elemento del proceso de modelación considerado como relevantes en la realidad nacional para su consideración en la elaboración de una futura guía de modelación de olores.

El análisis de la información recopilada en cada entrevista se describe a continuación en las siguientes secciones.

3.1 Caracterización meteorológica

Como señala la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, se reconoce la existencia de limitaciones e incertidumbres inherentes a cada tipo de modelo como a la información de entrada a estos. Por lo tanto, es importante identificar y analizar las fuentes de incertidumbre en las distintas etapas que comprende el proceso de modelación. De esta forma, definir criterios que permitan realizar un control de la incertidumbre, en la medida de lo posible, para la obtención de resultados con el mayor grado de representatividad posible.

En este sentido, los profesionales entrevistados, tanto del sector público como privado reconocen la existencia de fuentes de incertidumbre en el proceso de modelación de olores. Estos asociados principalmente a los datos de entrada al modelo de dispersión, entre los que destacan la información meteorológica observada disponible y la caracterización de emisiones de olor.

3.1.1 Información meteorológica observada

Tanto el sector público como privado consideran la información meteorológica observada como un componente crítico en la evaluación de impacto por olores, dado que el nivel de dispersión e impacto de las emisiones odorantes de una instalación se encuentran asociadas en gran medida al grado de representatividad de la información meteorológica utilizada. Sin embargo, se reconoce de forma transversal limitaciones en su disponibilidad en el territorio nacional tanto de observaciones en altura como superficial.

Respecto a la información meteorológica observada disponible, el sector privado señala que, en la mayoría de los casos, no es posible realizar su procesamiento e integración a la base meteorológica de un modelo de diagnóstico a mesoescala, debido a que no se dispone de estaciones observadas cercanas al proyecto. En algunos casos, tampoco se conoce información relevante de la estación como estándar de instalación, obstáculos cercanos al punto de medición, validez de los registros, entre otros.

Es por ello, que entre los profesionales del sector privado consideran la utilización de información meteorológica proveniente de un modelo de pronóstico para la proyección de las emisiones de olor en el modelo de dispersión como la metodología más representativa. Mientras que el sector público prefiere, siempre que se disponga de información observada, cercana al proyecto su incorporación al modelo meteorológico para alcanzar un mayor grado de representatividad del comportamiento de los campos de vientos.

Sin embargo, ambos sectores señalan que previo a la selección de la información meteorológica a utilizar, es de importancia realizar análisis de las características de las estaciones observadas superficiales y de los registros meteorológicos que se encuentran disponibles dentro del dominio modelación para el periodo anual a evaluar.

El sector público y privado considera que uno de los principales criterios de selección de estaciones observadas para su incorporación al modelo, tiene relación con el radio de representatividad de las condiciones de entorno del lugar de emplazamiento del proyecto, seguido por la disponibilidad de registros para las variables ambientales relevantes, cantidad de datos faltantes, porcentaje de datos válidos y el estándar de instalación de los sensores (Ej. altura y obstáculos cercanos al punto de medición). Siendo esta última la de mayor dificultad para su consulta y análisis, dado que la información no es de fácil acceso y carece de claridad respecto a los requerimientos mínimos para su utilización y aplicabilidad en el proceso de modelación.

En base a lo señalado por los entrevistados de ambos sectores, la mayor asimetría en el aseguramiento de la calidad de la información observada tiene relación con la validación de los registros de las variables meteorológicas, dado que no se dispone de lineamientos metodológicos estandarizados que permitan asegurar la calidad del registro más allá de la cuantificación de datos faltantes en relación al 75% recomendado en la guía de modelación (SEA, 2012). En este sentido, los profesionales del sector público señalan que es necesario definir una metodología que permita asegurar la calidad de los datos a través de requerimientos mínimos en términos de tratamiento de datos faltantes, condiciones de borde para cada variable atmosférica y análisis de variabilidad temporal de los registros. De este modo, se podría discriminar aquellas series de datos que presentan inconsistencias producto de la falta de mantención/calibración como también de los registros anómalos (outliers).

Desde el sector privado señalan que este tipo de análisis posee especial relevancia cuando la información observada es utilizada tanto para su incorporación en la base meteorológica del modelo como en la comparación con lo pronosticado como parte de la cuantificación de incertidumbre. Del mismo modo, el sector público señala que, al proponer una modelación meteorológica más avanzada mediante la asimilación de datos meteorológicos observados, ya sea superficial como de altura, a través del procesamiento WRFDA (WRF Data Assimilation System), el aseguramiento de la calidad de la información es clave, dado que se requiere de un alto grado de confiabilidad en las observaciones de entrada. De otra forma, se dificulta alcanzar un grado de representación adecuado de las condiciones de dispersión en el dominio meteorológico definido. Dada la alta sensibilidad de la componente olor a la variabilidad temporal de la meteorología, en comparación con otro tipo de contaminante atmosférico, el aseguramiento de calidad de las observaciones debe ser considerado como un elemento crítico del proceso de modelación.

3.2 Caracterización de fuentes y emisiones de olor

El enfoque de la evaluación ambiental mediante el uso de modelos de dispersión atmosférica se relaciona con la capacidad de simular la probabilidad que el proyecto genere un impacto relevante en la calidad del aire, salud de las personas u otro componente del medio ambiente. En este sentido, el sector privado reconoce que para representar de forma adecuada la relevancia de los impactos se requiere de una correcta caracterización de las fuentes odorantes y sus emisiones, previo al ingreso al modelo de dispersión como parte fundamental del control de incertidumbre en el proceso de modelación. Siendo

necesario realizar un análisis de la importancia de las emisiones respecto a su magnitud, nivel de actividad, tipo de fuente, flujo, duración y características sensoriales. Del mismo modo tanto del sector público como privado señalan que debido al reconocimiento de asimetrías en la experiencia en los distintos profesionales asociados al proceso de evaluación de impacto; se considera necesario definir un marco estandarizado de criterios que permitan un análisis adecuado en este ámbito.

Tanto los profesionales del sector público como privado señalan como fundamental, en una primera etapa, la realización de una inspección en terreno para la identificación de las fuentes odorantes previo al muestreo, análisis y caracterización de las emisiones. Esto permite conocer la situación operacional de la instalación, discriminar justificadamente aquellas fuentes que por su condición de encapsulamiento/cobertura no presentarían emisión de olor al ambiente. Del mismo modo, identificar posibles emisiones no controladas que pudieran contribuir en alguna medida al impacto en receptores cercanos. En este sentido, los profesionales de ambos sectores concuerdan en que, si la fuente presenta emisión de olor al ambiente en alguna medida, está debe ser siempre muestreada y analizada, aun cuando su magnitud pudiera ser considerada como baja y descartada de la contribución total de emisión. Esto permitiría catalogarla justificadamente como no significativa para su exclusión tanto del análisis como del modelo de dispersión.

Respecto a la realización del muestreo, transporte y análisis olfatométrico de las muestras obtenidas desde las fuentes odorantes identificadas, los profesionales de ambos sectores consideran necesario el aseguramiento de calidad en lo que respecta a: aplicación de las metodologías de muestreo, estándar de instrumentos y equipos utilizados en el muestreo, registros de calibración/mantenimiento de equipos olfatométricos e incluso la acreditación de la institución responsable del análisis. Sin embargo, ambos sectores reconocen que no se disponen de requerimientos claros que permitan verificar/validar el nivel de cumplimiento de estos elementos y la forma en la que deben ser presentados o informados, pudiendo afectar en alguna medida la confiabilidad del proceso de modelación y los resultados con los cuales se evalúa ambientalmente una instalación.

Los profesionales del sector privado señalan que luego de realizada la caracterización y cuantificación de las emisiones de olor, comúnmente se determina la relevancia de las emisiones odorante para definir si es aplicable o no, el ingreso de una fuente muestreada al modelo de dispersión. En relación con ello, reconocen del sector privado que en ningún caso es adecuado excluir una fuente del modelo basado en un único criterio de los descritos como dimensiones principales del olor, debido a que se requiere un análisis integral y multidimensional de los elementos que caracterizan la fuente y su emisión de olor.

A lo anterior, el sector público añade que entre los elementos asociados a la relevancia de la emisión se encuentra la magnitud, que, si bien puede ser considerada como primer filtro, por sí sola no aporta suficiente información como para descartar una fuente como significativa (o no significativa) y requiere del análisis conjunto de otras dimensiones, dado que no siempre la fuente que tiene una menor tasa de emisión es la que genera menor impacto en los receptores.

Según lo descrito por el sector público, otro elemento para considerar es el tipo de fuente, donde es determinante tanto la altura de la emisión, como sus dimensiones en el plano horizontal (largo, ancho, diámetro) y algunos parámetros asociados al flujo de esta (Ej. velocidad de salida, temperatura, humedad y boyancia). En base a este elemento, sumado a condiciones de dispersión (Ej. velocidad y dirección del viento predominante) y distancia de los receptores en relación con la instalación, es posible analizar la probabilidad de impacto con emisiones odorantes en los receptores cercanos.

Del mismo modo, el sector privado señala que el análisis de la temporalidad de una emisión puede ser considerado como un elemento que permita discriminar una fuente no relevante respecto al flujo total de la instalación, en situaciones que la contribución de una emisión odorante tiene un carácter subhorario (Ej. minutos).

Por último, uno de los elementos determinantes en el análisis de relevancia de las fuentes de olor, tiene relación con las características de los parámetros sensoriales de una emisión. Entre los que destaca la calidad (descriptores o notas de olor), tono hedónico (nivel de agrado/desagrado), ofensividad (caracterización ofensiva o no del tipo de olor) e intensidad (fuerza del olor). En algunos casos, los profesionales consideran adecuado descartar aquellas fuentes que presentan descriptores no ofensivos como tierra, humedad, vegetación, entre otros. En algunas situaciones se complementa con información de tono hedónico, donde valores sobre un tono neutro (≥ 0) es considerado como un criterio discriminante para emisiones no relevantes, ya que, según la escala de tono hedónico, la valoración positiva se asociaría a niveles y "agradables" de las emisiones.

Respecto a este tipo de análisis, los profesionales entrevistados concuerdan que no se dispone de un criterio estandarizado que permita discriminar el ingreso de una fuente al modelo de dispersión en base a la multidimensionalidad del olor y que debe ser analizado caso a caso en función de las características de cada fuente, en conjunto con los aportes generados por actividad en su totalidad. Sin embargo, es considerado como una herramienta de gran utilidad para la comprensión del comportamiento del olor en la evaluación de impacto ambiental, aun cuando en el proceso se privilegia mayormente la concentración y tasa de emisión de olor por sobre algún tipo de análisis sensorial.

3.2.1 Calidad de la información de entrada

Los lineamientos descritos en la guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA, se enfocan en los aspectos más relevantes del proceso de modelación para una adecuada estimación y evaluación del impacto de las emisiones a la atmósfera. Si bien estos lineamientos son aplicables en gran medida a la mayoría de los contaminantes atmosféricos, se deben tener ciertas consideraciones respecto a su uso en la modelación de emisiones odorantes. Debido principalmente a la composición compleja y carácter multidimensional del olor, lo cual lo confiere una mayor sensibilidad tanto a la caracterización de las fuentes de emisión como a las variables ambientales con las cuales interactúan en el espacio y en el tiempo. Adicionalmente, el ámbito de la percepción sensorial de los receptores a la concentración de olor en el ambiente (relación entre la exposición y molestia), que hacen la evaluación de esta componente presente un mayor grado de complejidad en relación con otros contaminantes atmosféricos.

Para una adecuada caracterización de las emisiones de olor es necesario controlar las posibles fuentes de incertidumbre, previo a su ingreso al proceso de modelación, lo cual será determinante en la calidad y representatividad de los impactos estimados a través del modelo de dispersión. Entre elementos de mayor relevancia en la calidad de la estimación de olor destacan: el estándar de los equipos e instrumentos de medición (Ej. calibración), metodología aplicada al muestreo y análisis de las emisiones (Ej. punto de muestreo y tiempos entre muestreo/análisis), caracterización de las fuentes de emisión de olor (Ej. variabilidad operacional y comportamiento subhorario de las emisiones), entre otras.

El nivel de exposición a olores generados por una instalación o proyecto se relaciona en gran medida con el tipo de fuente emisora, la distancia que la separa de un punto receptor y las condiciones ambientales locales. Debido a que una fuente odorante de baja magnitud no siempre asegura la ausencia de impacto en los receptores, producto de la influencia de los factores de transporte y dispersión sobre las emisiones de olor. En este sentido es de importancia contar con una adecuada calidad en la información meteorológica ingresada al modelo de dispersión, que represente el comportamiento de las variables ambientales en el área de estudio, más aún cuando se disponen de observaciones para su integración en el dominio meteorológico.

3.2.2 Fuentes de emisión de alta variabilidad (estacional)

En general, los profesionales del sector público y privado concuerdan en la gran complejidad de representar fuentes o actividades cuya operación tiene un carácter estacional de alta variabilidad. Situación en las cuales una instalación opera en una cierta cantidad de horas por semanas o al mes e incluso sólo en ciertos meses del año. Esto debido principalmente a las limitaciones propias del modelo de dispersión, que en estos casos restringe las opciones de caracterización y cuyos resultados en la evaluación anual puede significar la sobrestimación o subestimación del impacto respecto a un límite de concentración en base a un percentil objetivo.

Dado que no se disponen de lineamientos claros para el tratamiento o ajuste de los ciclos de operación para una emisión de estas características, en gran parte queda sujeto a criterios y experiencia del profesional que realiza la modelación.

En este sentido, algunos profesionales consideran adecuado asumir la peor condición (Ej. emisión constante) en situaciones donde se desconoce la cantidad de horas en las que opera durante el año. Es decir, si la fuente opera con un número variable de horas por mes, es preferible proyectar ese periodo con un régimen de emisión constante. Por otra parte, si la instalación presenta un periodo de funcionamiento mensual estandarizado (Ej. ciertos meses específicos al año), la proyección de las emisiones debiera realizarse sólo en los periodos mensuales que opera y posteriormente realizar una evaluación anual.

Sin embargo, concuerdan en que es recomendable ajustar el ciclo de operación de una fuente o instalación a las opciones predefinidas en el modelo de dispersión, ajustándose a la mejor aproximación de variabilidad permitida. Como alternativa proponen la realización de procesamientos de dispersión en días o periodos específicos para luego consolidar los aportes de esa(s) fuente(s) en una modelación anual mediante las herramientas disponibles para el modelo de dispersión utilizado.

En relación con la aplicación de archivos externos de emisiones variables en el modelo de dispersión, señalan que no es una práctica muy común, debido a las limitaciones del tipo de fuente que permite representar (Ej. Aplicable sólo a fuentes puntuales), la acotada información asociada a la variabilidad de la emisión (Ej. muestreo en una sola condición) y el detalle operacional que se requiere para su representación en el archivo de entrada.

Respecto al criterio percentil aplicado para la evaluación de impacto por olores, algunos de los profesionales señalan como adecuado aplicar una diferenciación de criterios para actividades cuya operación/emisión es continua a lo largo del periodo anual y aquellas que operan estrictamente en

un periodo acotado o estacional. Considerando apropiado para esta última condición, aplicar un percentil y límite normativo para ese periodo operacional. Sin embargo, se reconoce como desafío en este ámbito definir una regla general para un criterio percentil y que es recomendable evaluar este tipo consideración por categoría industrial o tipo de actividad.

3.3 Análisis de incertidumbre

3.3.1 Criterios de ajuste en parametrización de modelo meteorológico

Debido al uso frecuente de datos meteorológicos proveniente de un modelo de pronóstico, los profesionales destacan la importancia de la cuantificación de incertidumbre previo a su utilización en el modelo de dispersión. De esta forma validar su desempeño y conocer la incertidumbre que podría estar asociada a los resultados de concentración de olor a los cuales estarían expuestos los receptores en el área de influencia.

En la mayoría de los casos, el procesamiento es realizado por proveedores meteorológicos basado en la parametrización descrita por el Servicio de Evaluación Ambiental para su uso en el modelo de dispersión, situación en la que se cuantifica directamente la incertidumbre comparando lo observado con lo pronosticado dentro de un punto del dominio. En los casos en que el profesional cuenta con los recursos y conocimiento técnico para realizar el procesamiento meteorológico de pronóstico (Ej. WRF), se ejecuta una etapa de iteración preliminar. En la que se evalúan ciertos criterios estadísticos, para aplicar ajustes a la parametrización descrita por el SEA, de manera de obtener el desempeño más adecuado, a nivel de mesoescala, de las variables meteorológicas relevantes en el dominio definido.

3.3.2 Criterios de selección de estación observada

En relación con la propagación de la incertidumbre en el dominio meteorológico, los profesionales concuerdan que esta no tiene un carácter lineal debido a las diferencias espaciales en cada punto del dominio. Siendo inadecuado extrapolar el valor de incertidumbre de un punto del dominio al análisis tridimensional de este. Es por ello, que los profesionales del sector público y privado consideran necesario establecer ciertos criterios que permitan definir el punto más representativo o asimilable del área de interés (Ej. lugar de emplazamiento del proyecto) como asegurar la calidad de la información para cuantificar la incertidumbre de la información meteorológica de la forma más objetiva posible.

Entre los criterios considerados como relevantes señalan en primer lugar la disponibilidad de una estación meteorológica observada con registros para variables relevantes correspondiente al mismo periodo anual considerado en la meteorología de pronóstico. Preferiblemente que estos registros sean obtenidos en el mismo lugar de emplazamiento del proyecto o de una estación que encuentre lo más cercana posible, dentro del área de influencia o de un radio de 5 [km]. Del mismo modo, que los registros cumplan con el porcentaje mínimo de registros validos requeridos por el SEA (75% de los registros). Como parte del aseguramiento de calidad, se recomienda que los datos observados sean analizados bajo una metodología válida y estandarizada que permita dar certeza a los registros utilizados en la comparación. Sumado a lo anterior, que los sensores meteorológicos se encuentren a una altura de 10 [m] (Ej. velocidad y dirección del viento) sin

obstáculos, de modo que los datos observados cumplan con un grado mínimo de representatividad a mesoescala y repliquen adecuadamente el comportamiento del viento en la zona de interés

En el caso que la estación disponible más cercana se encuentre a una distancia mayor a 5 [km], señalan como criterio complementario de selección la estación observada situada en una zona representativa de las condiciones de entorno del área de emplazamiento del proyecto (Ej. similitud topográfica y de uso de suelo). De no disponer de observaciones bajo estas condiciones, como mínimo se establece que la estación encuentre dentro del dominio meteorológico.

Una vez seleccionada la estación observada más idónea para el análisis, se procede a cuantificar la incertidumbre de las variables relevantes, siendo común que se acote a las variables de velocidad y temperatura. Tal como señalan los profesionales del sector público, sólo en algunos casos se realiza el análisis con las variables de dirección del viento y humedad relativa.

La mayoría de los proyectos que presentan análisis de incertidumbre, en el marco de la evaluación ambiental, se tiene cumplimiento del cálculo de las métricas estadísticas mínimas requeridos por la guía de modelación del SEA (Ej. error cuadrático medio, sesgo y coeficiente de correlación), no se dispone de indicadores estandarizados que permitan definir si la meteorología de pronóstico cumple con el nivel de desempeño esperado por la autoridad ambiental para su utilización en la modelación de dispersión de olor. Es por ello, que los profesionales del sector público señalan que, se han tenido avances en el desarrollo de este tipo de análisis, donde algunos proyectos presentados en el último tiempo aplican indicadores de desempeño, permitiendo una evaluación más objetiva, precisa e integral de la información meteorológica a utilizar.

3.3.3 Ajuste del modelo mediante factor de corrección

De acuerdo con la experiencia de los profesionales en el proceso de evaluación de impacto ambiental en ciertos casos se ha solicitado el ajuste de los resultados de concentración de los receptores en base a la diferencia entre la meteorología observada y lo pronosticada. Siendo una práctica generalizada, para algunos contaminantes atmosféricos, el calcular un factor de corrección a partir de la incertidumbre de la variable de velocidad de viento, el cual es aplicado posteriormente a los valores de concentración resultantes en los puntos receptores.

Ante este requerimiento, señalan que, en el caso del olor, a diferencia de otros contaminantes atmosféricos, no se disponen de instrumentos que permitan obtener mediciones continuas de “concentración de olor” como tal, en el espacio y en el tiempo, por lo que no sería extrapolable este tipo de ejercicio.

Sin embargo, algunos profesionales señalan que de ser aplicable algún tipo de ajuste en los resultados del modelo de dispersión odorante, este debería ser realizado en base a la utilización de metodologías asimilables en el ámbito de la medición de olor. Siendo una alternativa, el uso de los resultados de frecuencia u horas de olor a partir del método de la grilla para efectos de un análisis comparativo. Se debe tener en consideración que la aplicación de esta metodología, términos normativos, requiere de al menos 52 mediciones en 6 meses, e idealmente 104 mediciones en un año, por lo que sus resultados se obtienen una vez finalizadas todas las campañas de medición.

En este sentido, dado el método de determinación/medición es análogo al utilizado en la olfatometría (Ej. nariz humana), sería posible asumir niveles de concentración según los umbrales de percepción 1 [ouE/m³] o de reconocimiento 3 [ouE/m³] para una comparación entre los resultados del modelo de ambas metodologías. Además, señalan que la utilización de cualquier otro tipo de metodología sólo aportaría incertidumbre al proceso de modelación de olores.

Por parte del sector público, señalan que, para evitar requerimientos de ajuste del modelo, sería preferible la aplicación de un procesamiento meteorológico con asimilación de datos observados (Ej. WRFDA). Del mismo modo, proponen el uso de indicadores estadísticos para evaluar el desempeño del modelo meteorológico dentro de un rango de aceptabilidad en lugar de ajustar las concentraciones en los puntos de interés.

3.4 Parametrización del modelo

3.4.1 Grilla de receptores

En la configuración del modelo, se describen diversos criterios para definir tanto la grilla más adecuada para la proyección de las isocurvas de concentración odorante como la altura a la que debe ser obtenida la concentración de olor en los puntos receptores.

En relación con ello, la mayoría de los profesionales prefieren el uso de grilla anidada para la cuantificación de los niveles de concentración de olor, debido a la mayor flexibilidad en su configuración, permitiendo alcanzar un mayor grado de refinación en zonas donde la distancia entre los receptores y las fuentes emisoras es reducida. Del mismo modo, permite optimizar los recursos y tiempos de procesamiento en puntos de interés distantes a las fuentes, mediante la aplicación de una refinación gradualmente más gruesa en función del grado de separación. Sin embargo, señalan que en algunas situaciones se ha utilizado la grilla de muestreo como configuración por defecto, debido a su amplio uso en modelaciones de calidad del aire.

Para definir la altura a la cual deben ser obtenidas las concentraciones de olor en los puntos receptores, no se dispone de un criterio estandarizado. Siendo considerado mayormente como criterio, la altura promedio de la nariz humana, cuyos valores ingresados al modelo fluctúan entre 1,5 - 1,7 [m]. En este sentido, los profesionales tienen presente que, para una proyección y cuantificación adecuada de los niveles de concentración de olor, la grilla utilizada debe ser coherente con la altura definida para los receptores en el modelo. Es decir que ambos elementos deben ser configurados a un mismo nivel sobre el suelo. Dicha condición sólo es posible mediante el uso de grilla anidada, dado que entre sus opciones de configuración permite asignar una altura específica para la cuantificación de concentración de olor. Mientras que la grilla de muestreo proyecta por defecto las emisiones a un nivel superficial 0 [m].

3.4.2 Caracterización de línea base de olor

Del mismo modo que el análisis de impactos acumulativos en el área de influencia, los profesionales señalan que el desarrollo de la caracterización de línea base de olor presenta diversos enfoques y ciertas limitaciones metodológicas en comparación con otros contaminantes atmosféricos, por lo cual, la estimación de una concentración basal de olor en el área de influencia, para su posterior ingreso al modelo, se presenta en algunos casos como una aproximación a la

condición real con un alto grado de incertidumbre, pudiendo afectar la representatividad y certeza del análisis (sobrestimación/subestimación) en el proceso de evaluación ambiental.

Una de las principales limitaciones descritas se relaciona con la ausencia de una metodología válida para la medición continua de concentración de olor en el territorio de interés. Debido a que la mayoría de las metodologías disponibles, se basan en la medición de olor en terreno por medio de panelistas calibrados. Los cuales realizan una caracterización de la percepción y/o reconocimiento de un olor en el ambiente en función del tiempo durante un periodo acotado o específico (Ej. rango horario, días, entre otros). Los resultados obtenidos permitirán identificar en ciertos puntos definidos, la frecuencia con la cual se percibe o reconoce un olor característico en ese periodo. Sin embargo, no permite establecer con certeza que la condición caracterizada responde a un patrón reproducible a lo largo del periodo anual. Esto debido principalmente por la condición multifactorial asociada a la operación de las distintas instalaciones presentes en el territorio de interés, entre los cuales se señala la variabilidad meteorológica, variabilidad operacional, naturaleza de las emisiones, interacción de los compuestos que conforman la mezcla de olor entre las distintas instalaciones, entre otros.

La mayoría de los profesionales entrevistados consideran adecuado en un primer diagnóstico identificar aquellas instalaciones con potencial de contribución de olor dentro del área de influencia del futuro proyecto. Luego definir un conjunto de puntos representativos para la aplicación de la metodología de la grilla en un periodo mínimo de 6 meses o 1 año (cabe señalar que la experiencia nacional habla de periodos o plazos de presentación de estos estudios durante una evaluación ambiental en tiempos mucho más reducidos que estos 6 meses o 1 año, por lo que, en la mayoría de las veces, no son compatibles ambos plazos).

En caso contrario, sugieren la aplicación de la metodología de encuestas, basado en el análisis diversas zonas de encuestas en la comunidad aledaña y considerando además zonas de control que permitan identificar algún tipo de ruido o desviación en el análisis final. Sin embargo, los resultados de ambas metodologías proporcionarán información asociada a la frecuencia de percepción/reconocimiento de cierto tipo de olor o el grado de molestia de la comunidad frente a cierta carga de olor ambiental, lo cual no sería aproximable a un nivel de concentración de olor base para su ingreso en la modelación de dispersión de olor. Por lo tanto, se dificulta el cuantificar y evaluar de manera objetiva el aporte de un nuevo proyecto a la concentración base de olor, aun cuando la información levantada represente en cierto modo la variabilidad diaria o estacional en el área de influencia.

De la experiencia en estudios de modelación de olor en el marco del SEIA, algunos profesionales en respuesta a este tipo de solicitud han utilizado información bibliográfica de referencia para la construcción de la condición base de un proyecto inexistente, asumiendo condiciones desfavorables de operación (Ej. emisión constante) para las instalaciones aledañas al lugar de emplazamiento del futuro proyecto. Esta situación aproximada dejaría inconexa la relación entre la concentración de olor y los parámetros sensoriales asociados al olor ambiente.

Por otra parte, los profesionales del sector público señalan que la solicitud de caracterización de la línea base de olor en el área de influencia o zona de emplazamiento del proyecto, tiene por enfoque proporcionar antecedentes al organismo fiscalizador en caso de ocurrir una contingencia en la generación de olores con resultado de impacto o molestia en los receptores. Por lo tanto, al

disponer de este tipo de antecedentes es factible realizar un análisis o cruce de información complementado por la descripción del reclamo y discriminar entre los proyectos caracterizados en el área de influencia al responsable de evento y de esta forma gestionar el control de este tipo de emisiones.

3.5 Estimación y cuantificación de impacto odorante

3.5.1 Cuantificación de la sumatoria de los impactos (efecto sinérgico)

Uno de los principales desafíos en lo que respecta a la modelación de olores, tiene relación con la evaluación conjunta de los proyectos o instalaciones con emisión de olor en el área de influencia. A diferencia de otros contaminantes atmosféricos, la complejidad del comportamiento dinámico de los distintos compuestos que conforman la mezcla de olor dificulta metodológicamente la estimación de la concentración de olor basal en un área de interés, para su posterior análisis con los aportes odorantes generados por una instalación en evaluación versus los aportes odorantes de otras instalaciones. Esto no permite dar certeza que la contribución de ambos olores genere un efecto acumulativo en la concentración del olor en los receptores de interés.

Sumado a lo anterior, los profesionales señalan que, en una etapa inicial, la recopilación de antecedentes asociados a la caracterización de instalaciones aledañas al proyecto, relacionado a la descripción de fuentes, nivel de operación y en algunos casos de sus emisiones, es compleja dada la escasa o insuficiente información disponible en los expedientes en el SEIA. Esto se evidencia principalmente en proyectos aprobados con varios años de antigüedad, donde en algunos casos no cuentan con un estudio de impacto odorante o caracterización de las emisiones de olor. Por lo tanto, la realización de algún tipo de análisis o simulación para efectos de la evaluación conjunta de los aportes de olor se limita en gran medida por la disponibilidad de la información mínima requerida.

Así mismo, la mayoría de los profesionales señalan como relevante, previo a cualquier ejercicio de simulación, tener en consideración el análisis del tipo de actividad aledaña y la calidad del olor (Ej. descriptores o notas de olor) asociado a las fuentes de emisión de olor de la instalación. Debido a que se desconoce cuál es el efecto que podría tener la interacción de los compuestos odorantes de distinta naturaleza (multidimensionalidad) en la mezcla de olor resultante. Situación que podría incrementar el nivel de incertidumbre, afectando la representatividad de los resultados al momento de comparar con un límite normativo.

Teniendo en consideración las limitaciones descritas inicialmente, los profesionales señalan algunos criterios que debieran tenerse en consideración al evaluar en este ámbito la aplicación de un procedimiento alternativo de modelación. Entre los principales criterios destaca el análisis del tipo de actividad, donde en caso de identificar instalaciones de la misma índole y de contar con la información mínima requerida por el modelo de dispersión definido (Ej. localización y características de las fuentes, emisiones y régimen operacional) sería posible realizar una simulación del efecto acumulativo de la concentración en receptores. Del mismo modo, en caso de contar con los archivos de entrada o salida del modelo de una instalación con un tipo de actividad similar, estas podrían ser agregadas a un modelo conjunto para evaluar la sumatoria de los impactos y realizar el análisis estadístico respecto a un nivel límite de concentración.

Sin embargo, para este tipo de ejercicio, los profesionales concuerdan que aun cuando se tenga actividades industriales de similar naturaleza, los resultados del modelo no permiten diferenciar el efecto sobre algunos elementos como descriptores, tono hedónico o compuestos gaseosos dominantes de la mezcla de olor y que los aportes de las distintas fuentes son tratados como un único olor a través de unidades odoríficas. Del mismo modo señalan que, si bien hoy en día se tiene un mayor avance en la comprensión y evaluación de la componente olor, aún no se tiene a disposición total de la información necesaria para reproducir la operación de otra instalación en el marco de la evaluación ambiental.

3.6 Plan de seguimiento

Tanto el sector público como privado señalan que uno de los principales desafíos en lo que respecta a la modelación de olores, tiene relación con el proceso de seguimiento ambiental y la evaluación de eventos o situaciones de contingencia que tiene como resultado un reclamo o queja por parte de la comunidad. Esto relacionado con el carácter puntual de la medición de olor (muestreo para una condición en el instante) y la inexistencia de equipos que permitan la medición continua de olores, dificultando tanto la cuantificación de la emisión como la proyección de impacto en el modelo de un evento pasado.

En este sentido, el sector privado señala que en el contexto de evaluación de un evento o reclamos, se ha utilizado como una metodología alternativa la proyección de un compuesto o sustancia gaseosa (olor simple³²⁰) en el modelo para evaluar el comportamiento y alcance de la emisión del gas odorante en un área de interés. De esta forma relacionar el posible impacto mediante el análisis de la concentración en los receptores respecto a un nivel umbral de referencia (percepción o reconocimiento del gas trazador). Del mismo modo, en ciertas situaciones se ha utilizado como herramienta de gestión interna para evaluar la implementación de futuras medidas de control que permitan minimizar la magnitud de las emisiones de olor y reducir la probabilidad de impacto en los receptores.

En el marco de seguimiento o fiscalización ambiental de las emisiones de olor de una fuente o instalación, en caso de no disponer de información para la proyección de las emisiones odorantes en el periodo del evento o reclamo, el sector público señala que es posible realizar un análisis mediante un gas trazador, utilizando registros de mediciones continuas de un compuesto gaseoso odorante predominante para reproducir su comportamiento en ese instante. Siendo necesario contar con información continua tanto de concentración del gas trazador como del caudal de la fuente emisora en cuestión para el periodo de interés. Si bien es considerado este procedimiento como una herramienta de utilidad, esta debe ser analizada en paralelo al olor. Sin embargo, el sector público enfatiza en que se debe tener en cuenta las limitaciones de este tipo de procedimiento de modelación, dado que en ningún caso reemplaza la metodología de cuantificación de impacto por olores, sino más bien como una herramienta de aproximación para evaluar el comportamiento de un gas odorante en el área de interés bajo cierta situación atmosférica.

El sector público señala que una de las principales limitaciones asociadas a la proyección de un compuesto gaseoso simple es la reducida capacidad para representar la complejidad de una mezcla odorante y la interacción de sus componentes con el ambiente. Siendo inadecuada su aplicación en el marco de una evaluación anual de impacto ambiental.

³²⁰ Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental. (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Ministerio del Medio Ambiente, Chile.

Si bien este procedimiento permite una proyección aproximada, tanto del sector público como privado señalan que de igual manera se debe tener en consideración la relevancia de la información de entrada al modelo, la cual puede influir significativamente en la calidad de los resultados obtenidos. Entre estos elementos se encuentra el uso de información meteorológica observada válida, caracterización espacial y física de las fuentes, mediciones continuas de emisión representativas del periodo de interés (Ej. rango horario o diario), identificación y caracterización de estructuras o edificios relevantes en el entorno de la(s) fuente(s) a proyectar en el modelo, límite o umbral de percepción/reconocimiento asociado al gas trazador que se utilizará en la proyección y análisis del evento.

Desde el sector privado señalan que se debe tener especial precaución en la resolución temporal con la que se ejecute la modelación bajo este tipo de procesamiento, la cual dependerá en gran medida de la resolución temporal de la meteorología disponible. Es decir, en caso de disponer de registros meteorológicos horarios será necesario realizar un tratamiento a los registros subhorarios de emisión para convertirlos en emisiones horarias promedio, mediante la aplicación de algún estadístico de medida de tendencia central (Ej. media aritmética de los registros subhorarios por cada hora a modelar). Del mismo modo señalan que si se dispone de registros meteorológicos subhorarios, es factible ingresar las emisiones en base a la misma resolución subhoraria para su proyección en el modelo de dispersión mediante un archivo de emisiones variables. Sin embargo, el sector público señala que se debe tener precaución con este tipo de aplicación, dado que este tipo de archivo sólo sería aplicable a fuentes puntuales, debido a restricciones metodológicas asociadas al procesamiento de otro tipo de fuentes. La elección de una metodología u otra deberá ser justificada por el profesional encargado de la modelación.

Por otra parte, algunos profesionales del sector privado proponen para estos efectos el uso de herramientas de modelación en línea, las cuales integran un sistema de modelación que permite la actualización continua de las variables meteorológicas para la proyección de distintos contaminantes entre los cuales se encuentra olor. Este tipo de herramientas permite alimentar el modelo con registros de emisiones medidos en tiempo real. En este sentido el sector público destaca que, en el caso del olor, el modelo se caracterizará con valores de emisión discretos, por lo cual el grado de representatividad de los resultados estará determinado por el nivel de caracterización que se disponga para las fuentes modeladas en base a mediciones olfatómicas. Por lo tanto, a un mayor nivel de caracterización de las emisiones mayor será el grado de ajuste a las condiciones reales de dispersión y de los niveles de exposición en los receptores.

De ser requerida una actualización de la evaluación anual de impacto de olores como parte del seguimiento ambiental, en base a una nueva condición operacional, el sector público señala que las emisiones deberán ser caracterizadas en cumplimiento a la normativa vigente de muestreo y análisis olfatómico. Del mismo modo, la actualización de la información del proyecto deberá extenderse del mismo modo a la información aplicada en el dominio meteorológico, debido a la variabilidad de las condiciones ambientales año a año. Además, se debe considerar que, en algunos casos, transcurre mucho tiempo entre la evaluación favorable del proyecto y el periodo en el cual se inicia el seguimiento, por lo que esta información meteorológica pudiera ya no ser representativa del área de interés. Del mismo modo, de no contar con información meteorológica observada representativa durante el periodo de evaluación, siempre es recomendable el monitoreo de variables ambientales una vez que se ejecute el proyecto tanto como herramienta de gestión operacional como para el seguimiento de reclamos.

4 CAPITULO IV: LINEAMIENTOS DE MODELACIÓN DE OLORES

4.1 Proceso de modelación de olores

En la actualidad, los distintos enfoques normativos internacionales aplicados en el marco de evaluación de impacto ambiental por olores se basan en el reconocimiento de las distintas fuentes de incertidumbre que intervienen en el desarrollo de las etapas del proceso predicción y cuantificación de impacto por olores mediante la utilización de herramientas de modelación.

El carácter multidimensional y complejo de la componente olor requiere de esfuerzos adicionales que permitan un control adecuado de estas incertidumbres para asegurar tanto la calidad de los datos de entrada al modelo de dispersión como de los resultados y antecedentes que serán proporcionados en el desarrollo del proceso de evaluación.

A diferencia de otros contaminantes, la componente olor presenta un alto grado de sensibilidad respecto a ciertos parámetros asociados a proyección de emisiones de odorantes debido a que generalmente su dispersión se desarrolla en el entorno cercano de las fuentes o actividad industrial emisora. Entre los elementos críticos que podrían afectar la representatividad de los resultados del proceso de modelación se encuentran: a) información meteorológica de entrada al modelo; b) identificación de fuentes y caracterización de emisiones; c) parametrización del modelo de dispersión de olores.

Con el objeto de estandarizar los criterios aplicables a la modelación de olores, se proponen a continuación los requerimientos mínimos para el aseguramiento de calidad de los resultados y control de las posibles fuentes de incertidumbre asociadas a las etapas del proceso de modelación.

4.2 Información meteorológica

Uno de los elementos de mayor relevancia en el proceso de modelación tiene relación con la caracterización de la información meteorológica con la cual se representará una situación atmosférica de dispersión de olor en el modelo. En gran medida las características y calidad de la información meteorológica disponible determinará la herramienta más adecuada para la proyección de las emisiones de olor de una instalación.

El actual enfoque en el uso de información meteorológica para la modelación de dispersión de olores, tanto de las agencias regulatorias internacionales como de las instituciones públicas y privadas asociadas a la evaluación de impacto por olores, consideran como fundamental la incorporación de datos observados en la base meteorológica del modelo de dispersión. La integración de observaciones en el procesador meteorológico permite alcanzar un mayor grado de representatividad de las condiciones reales de dispersión de los olores, más aún cuando se tienen elementos de terreno complejo dentro del dominio de modelación.

Sin embargo, para una adecuada representación de la situación meteorológica es necesario evaluar la representatividad y la calidad de las observaciones previo a su ingreso al modelo meteorológico, de otro modo se incrementaría el nivel de incertidumbre de los datos de entrada, pudiendo afectar la precisión de los resultados de concentración de olor con los que se evaluará el cumplimiento de un límite normativo de referencia. A continuación, se proponen algunos criterios relevantes aplicables a los datos meteorológicos de entrada al modelo de dispersión.

Tabla 4 – Criterios propuestos – Información meteorológica de entrada al modelo (parte 1 de 2)

Actividad	Propuesta
<p>Determinación del periodo meteorológico anual más representativo</p>	<p>Para definir el periodo anual a modelar se tienen 2 enfoques para abordar el desarrollo de esta actividad, pudiendo ser una u otra:</p> <p>Enfoque 1 – análisis histórico: Realizar un análisis interanual (mínimo 3 años), de las variables meteorológicas relevantes basado en información proveniente de una estación observada situada en la misma instalación, dentro del radio de representatividad meteorológica o de condiciones atmosféricas similares. El análisis debe basarse en las condiciones de dispersión más desfavorables (% de frecuencia de vientos de calma, vientos predominantes hacia la comunidad, entre otros), determinando el año meteorológico más representativo para su ingreso en el modelo de dispersión.</p> <p>Enfoque 2 – información más actualizada: Basado en la variabilidad atmosférica asociada al cambio climático, considerar el periodo anual más actualizado disponible.</p>
<p>Identificación de estaciones observadas en el dominio de modelación</p>	<p>Para evaluar la aplicabilidad de la incorporación de observaciones al modelo meteorológico se debe considerar lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Realizar el levantamiento de estaciones meteorológicas observadas con registros para el mismo periodo anual a modelar. Definir el radio de representatividad de las estaciones identificadas (5 [km]), teniendo en consideración que dicho radio pudiese verse disminuido según la presencia de barreras topográficas o cambios en el uso de suelo. Seleccionar estaciones observadas que abarquen dentro del radio de representatividad el lugar de emplazamiento del proyecto o la proyección preliminar de las emisiones (considerando elementos como la magnitud de las emisiones, tipo de fuente, condiciones de terreno, entre otras).
<p>Evaluación de variables ambientales</p>	<p>En un segundo paso, para la evaluación de los requerimientos mínimos se sugieren los siguientes criterios:</p> <ol style="list-style-type: none"> De las estaciones seleccionadas, realizar una revisión de las variables registradas para el periodo anual definido. Seleccionar estaciones observadas que dispongan como mínimo registros para las variables relevantes (velocidad del viento, dirección del viento y temperatura). Realizar una inspección visual de series de tiempo de las variables, descartando aquellas estaciones que presenten periodos extensos de datos faltantes (Ej. meses). En caso de disponer de registros subhorarios, convertir a valores horarios. Se recomienda utilizar los criterios descritos en el Decreto 61 Aprueba Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos. En el caso de la dirección del viento, tener en consideración las componentes u y v del viento para su cálculo. Realizar una cuantificación de los registros faltantes de las variables meteorológicas, descartando aquellas estaciones que presenten datos faltantes >10% del periodo anual. En estaciones que presenten registros $\geq 90\%$, se debe evaluar la aplicabilidad de procedimientos de tratamiento de datos faltantes para mejorar el desempeño de la información, según lineamientos de la "guía de monitoreo meteorológico para la aplicación de modelos regulatorios" (U.S. EPA, 2000). En el caso de tener incumplimiento en la totalidad de las estaciones meteorológicas observadas, se debe considerar el uso de meteorología de pronóstico para su uso directo en el modelo de dispersión.

Tabla 5 – Criterios propuestos – Información meteorológica de entrada al modelo (parte 2 de 2)

Actividad	Recomendación
Aseguramiento de calidad de los registros meteorológicos	<p>Para asegurar la calidad de las observaciones se sugiere considerar los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Evaluar el estándar de instalación, utilizando como referencia lineamientos de la guía de monitoreo meteorológico para la aplicación de modelos regulatorios” (U.S. EPA , 2000), considerando como mínimo: <ul style="list-style-type: none"> - Altura de sensores de las estaciones observadas seleccionadas (Ej. ≥ 10 [m]). - Rango de incertidumbre de las mediciones en base a la presencia de obstáculos cercanos a la estación meteorológica. - Resolución de los instrumentos de medición. b) En caso de identificar valores de incertidumbre $>50\%$ descartar su uso para ingreso a la base meteorológica y considerar la aplicación de meteorología de pronóstico para su uso directo en el modelo de dispersión. c) Es deseable realizar una revisión de los periodos de mantención y/o calibración para descartar registros atípicos producto de estas actividades programadas.
Validación de registros meteorológicos	<p>Para modelaciones regulatorias es necesario asegurar una validación de las variables basado en criterios de precisión, integridad y consistencia de los registros. Para ello se sugiere aplicar los siguientes criterios según lineamientos de la "guía de monitoreo meteorológico para la aplicación de modelos regulatorios” (U.S. EPA , 2000):</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Cumplimiento como mínimo del nivel 1 de validación. b) Evaluar el porcentaje anual de registros válidos de cada variable, debiendo cumplir con un mínimo de 90% de datos válidos. c) Aquellas estaciones que se encuentren en cumplimiento pueden ser integradas a la base meteorológica del modelo. d) En caso contrario, utilizar de meteorología de pronóstico para su uso directo en el modelo de dispersión.
Requerimientos de información	<p>Para la trazabilidad y justificación de los criterios aplicados, el titular deberá presentar como mínimo lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Descripción del método de selección del periodo anual de modelación, incluyendo análisis histórico de ser aplicable. b) Imagen del dominio definido y localización de las estaciones integradas al modelo meteorológico y del proyecto en evaluación. c) Fuente desde donde se obtuvo la información observada. d) Variables meteorológicas analizadas. e) Altura de los sensores y rango de incertidumbre de la medición. f) Descripción del método de conversión a registros horarios, se ser aplicable. g) Porcentaje de datos faltantes de cada variable. h) Descripción del método de tratamiento de datos faltantes. i) Descripción del método y nivel de validación aplicado a cada variable. j) Porcentaje de datos válidos de cada variable meteorológica para las estaciones integradas al modelo meteorológico.

Tabla 6 – Criterios propuestos – Parámetros del modelo de pronóstico (parte 1 de 2)

Actividad	Propuesta
Parametrización del modelo de pronóstico	<p>Para estandarizar la configuración del modelo meteorológico de pronóstico WRF se sugiere considerar como referencia la parametrización definida por el SEA, complementando con lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Inicializar el modelo meteorológico con datos de pronóstico global prefiriendo GFS (alternativamente ECMWF) con una resolución aproximada de 0,5° o 0,25° (alta resolución). b) Considerar 2 o 3 dominios anidados con una resolución cercana a una razón de 3:1. c) Considerar retroalimentación entre los dominios anidados. d) Procesar el modelo con un mínimo de 40 capas verticales. e) Resolución final horizontal máxima de 1 [km]. f) En caso de que la evaluación de desempeño del modelo no sea la adecuada, ajustar la parametrización justificando los cambios aplicados.
Datos geofísicos	<ul style="list-style-type: none"> a) Los datos geofísicos de entrada al modelo no deben tener una resolución espacial más gruesa que la resolución final de la grilla meteorológica. b) Para determinar la resolución más adecuada de los datos geofísicos de entrada, es posible aplicar la regla empírica de 5/10 basado en las características complejas del terreno.
Datos de salida del modelo de pronóstico	<p>En los datos de salida del modelo meteorológico de pronóstico WRF, se sugiere considerar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Utilizar un preprocesador como MMIF para generar entradas directas al modelo de dispersión. b) Considerar como mínimo el procesamiento meteorológico de 1 año (Ej. 8760 horas). c) El tamaño del dominio debe ser adecuado para capturar las características meteorológicas que influyen en el proyecto a nivel de mesoescala. d) Es recomendable que el dominio se encuentre centrado en la instalación. e) En caso de utilizar un procesador como CALWRF para generar entradas al modelo CALMET e incorporar meteorología observada, se recomienda evaluar una la resolución ~250 [m] - 1 [km].
Requerimientos de información	<p>Para la trazabilidad y justificación de los criterios aplicados, el titular deberá presentar como mínimo lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Nombre del modelo meteorológico y versión utilizada. b) Descripción del periodo anual modelado (inicio y término). c) Coordenada central del dominio. d) Parametrización aplicada en los módulos de procesamiento. e) Fuente de información de los datos meteorológicos globales y resolución utilizada. f) Fuente de información de los datos geofísicos de entrada al modelo. g) Preprocesador y versión utilizada. h) Gráfica con la localización espacial de los dominios anidados utilizados en el procesamiento.

En caso de utilizar meteorología de pronóstico se requiere cuantificar la incertidumbre asociada a las variables relevantes, para lo cual son aplicables los mismos criterios definidos para la selección de la estación meteorológica, considerando como criterio adicional que como mínimo se encuentre dentro del dominio y emplazada en una zona con un régimen climatológico similar.

4.3 Modelos de dispersión

Para la aplicación del modelo más idóneo para representar la dispersión de olores en un área de interés, se recomienda recopilar antecedentes específicos de la actividad o instalación a evaluar, fuentes de emisión de olor y las condiciones de entorno donde se dispersarán las emisiones.

Para un mejor entendimiento de las condiciones de entorno que definen en algunos casos la aplicabilidad de un modelo u otro, es recomendable complementar algunas definiciones y criterios que permitan clasificar el tipo de terreno circundante y que determinan de cierta forma la influencia de fenómenos meteorológicos complejos. Por ejemplo, evaluar la relación de altura entre las elevaciones de terreno y las fuentes de emisión para definir condiciones de terreno simple (elevaciones < 10% de la altura máxima de las fuentes) o complejo (elevaciones >10% de la altura máxima de las fuentes)

En base a esta información se deben evaluar las limitaciones inherentes de los modelos disponibles para seleccionar aquel que permita alcanzar el mayor grado de representatividad de la situación odorante a modelar. A continuación, se proponen los siguientes criterios de selección.

Tabla 7 – Criterios propuestos – Selección del modelo (parte 1 de 2)

Actividad	Recomendación
Estimación del tamaño del dominio	<p>En un primer paso se requiere definir el tamaño del dominio que se utilizará en la evaluación de impacto, considerando la coordenada de la instalación como punto central del dominio a definir. Para ello, se proponen los siguientes enfoques:</p> <p>a) Estimación preliminar mediante modelo screening:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ingresar la Tasa de Emisión de Olor global como dato de entrada (equivalente a unidad de [g/s]). - Definir condiciones de terreno y ambientales más desfavorables. - Basado en la proyección de las emisiones, definir como distancia máxima donde se alcanza una concentración menor a 1 [g/m³]. - La distancia máxima obtenida debe abarcar espacialmente la totalidad de los receptores de interés. <p>b) Estimación preliminar mediante modelo refinado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definiendo una configuración gruesa del modelo en base a meteorología de referencia. - Ingresar al modelo fuentes odorantes (dimensiones y tipo) y de Tasa de Emisión de Olor [ouE/s] asociada a las fuentes. - Ingresar receptores en el territorio. Se sugiere definir como distancia máxima el punto donde se alcance una concentración menor a 1 [ouE/m³]. Se sugiere aplicar un nivel de percentil mayor al de la norma de referencia. <p>c) Estimación preliminar basado la experiencia del modelador:</p> <ul style="list-style-type: none"> - De acuerdo con la experiencia de actividades industriales asimilables al proyecto y considerando elementos relevantes en la dispersión de las emisiones, tales como magnitud de las emisiones de olor, tipos de fuentes, características de terreno y receptores sensibles, se define un dominio adecuado para la evaluación de impacto del proyecto.

Tabla 8 – Criterios propuestos – Selección del modelo (parte 2 de 2)

Actividad	Recomendación
Caracterización de terreno	<p>En un segundo paso, basado en la extensión del dominio definido anteriormente, considerar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Caracterizar el tipo de terreno en el lugar de emplazamiento del proyecto (Ej. terreno plano). b) Identificar elementos de meteorología heterogénea. c) Identificar uso de suelo predominante en el lugar de emplazamiento del proyecto. d) Identificar estaciones observadas disponibles para el año meteorológico de interés dentro del dominio, cercana al lugar de emplazamiento del proyecto (Ej. que la instalación se encuentre dentro del radio de representatividad meteorológica de la estación) o al interior del límite predial de la instalación.
Aplicabilidad del modelo	<p>En un tercer paso evaluar la aplicabilidad de un modelo de estado no estacionario, según los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Dominio presenta zonas de terreno complejo (Ej. zonas costeras, cordones montañosos, entre otros) b) Presencia de elevaciones de terreno sobre el 10% de la altura máxima de las fuentes en un radio de 5 [km]. c) El dominio presenta cambios significativos en el uso de suelo. d) Proyección de emisiones a una distancia mayor a 10 [km]. e) Condiciones de vientos calmos con una frecuencia $\geq 2\%$ de las horas del año, basado en información de referencia representativa de la instalación. f) El dominio tiene influencia de fenómenos atmosféricos complejos (Ej. fumigación costera, inversión térmica, condiciones de estancamiento, entre otras). <p>En caso de que la instalación o proyecto a modelar no presente alguna de las características descritas, sería aplicable el uso de un modelo estacionario.</p>
Requerimientos de información	<p>Para la trazabilidad y justificación de los criterios aplicados, el titular deberá presentar como mínimo lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Descripción del método y herramienta utilizada para definir el dominio. b) Descripción general de las condiciones de terreno presentes en el dominio. c) Contexto general de las condiciones meteorológicas (heterogéneas u homogéneas) de entorno del proyecto. d) Descripción general del modelo seleccionado, incluyendo la versión utilizada. e) Justificación de la aplicabilidad del modelo utilizado.

4.4 Caracterización de fuentes y emisiones odorantes

La identificación de las fuentes odorantes asociadas a la operación de una instalación industrial y la caracterización de sus emisiones es considerada tanto a nivel internacional como nacional una de las etapas críticas del proceso de evaluación de impacto por olores.

En un primer acercamiento a la condición operacional de una instalación existente, es recomendable la realización de una inspección en terreno para la identificación de las fuentes emisoras. Esta visita permitirá además la identificación de emisiones no controladas o fugitivas que podrían tener una contribución significativa en los niveles de concentración en los receptores cercanos a la instalación. Del mismo modo, permite constatar la aplicación de protocolos de control de emisiones como parte de las buenas prácticas operacionales y evaluar posteriormente la efectividad de las medidas implementadas en caso de que sea aplicable.

Luego de identificadas las fuentes, es fundamental privilegiar la caracterización de las emisiones odorantes por sobre la aplicación de emisiones de referencia. Sin embargo, es necesario aplicar un adecuado control de las incertidumbres reducibles asociadas al tanto al muestreo como al análisis olfatométrico. Su desconocimiento podría influir en la representatividad tanto de la tasa de emisión de las fuentes como en la concentración de olor en los receptores sobre los que se evaluará el cumplimiento de un límite normativo. En caso de instalaciones inexistentes se debe proporcionar información detallada de planimetría de las unidades de proceso para la localización y distribución de las fuentes de emisión en el modelo como también de estructuras relevantes que podrían influir en el comportamiento de las emisiones de fuentes en altura (Ej. flujo descendente).

Para asegurar la calidad de las mediciones y de la estimación de emisión de olor, se debe garantizar como mínimo el cumplimiento de los requerimientos normativos asociados al muestreo y análisis olfatométrico. Incluyendo evidencia o respaldo de información como fichas de calibración o mantención de equipos e instrumentos, evidencia gráfica del muestreo, tiempo transcurrido entre el muestreo y análisis, registros de análisis olfatométrico, entre otros. De este modo estandarizar los requerimientos y evitar resultados inexactos en el proceso de modelación.

Es fundamental que en la caracterización de las emisiones aborden las distintas dimensiones del olor de modo que mediante la aplicación de criterios de significancia del olor permitan discriminar su ingreso o no al modelo de dispersión o para realizar un análisis diferenciado de las emisiones (Ej. tono hedónico). Por ejemplo, criterios aplicables a fuentes odorantes con emisiones de minutos (Ej. 5 minutos) o con notas de olor no ofensivas (Ej. olor a tierra).

Además de la adecuada caracterización de las emisiones se requiere de información detallada asociada al régimen de emisión de las fuentes emisoras, de modo que el modelo sea representativo de las condiciones operacionales de la instalación. Para una proyección representativa de la condición más desfavorable, es recomendable analizar y evaluar la aplicabilidad de tasas de emisión promedio y máximas (principalmente en fuentes puntuales) para cuantificar el potencial de impacto en los receptores e implementar medidas que permitan un control efectivo de las emisiones.

Tabla 9 – Criterios propuestos – Parámetros del modelo de dispersión (parte 1 de 2)

Actividad	Recomendación
Identificación de fuentes existentes	Se debe considerar la identificación de toda fuente que presente emisión de olor al ambiente, (esto independiente de su magnitud, características sensoriales, temporalidad de la emisión, entre otras). Permitiendo representar los aportes de la totalidad de las fuentes existentes asociadas a la operación del proyecto.
Muestreo olfatométrico	<ul style="list-style-type: none"> a) Realizar una caracterización de tipo de fuente según condiciones de emisión, flujo y régimen operacional. b) Identificar la condición de emisión más desfavorable del régimen operacional normal para definir su caracterización mediante el muestreo olfatométrico. c) Realizar el muestreo olfatométrico de las fuentes identificadas, utilizando instrumentos y equipos de medición que cumplan con el estándar indicado en la normativa vigente NCh3386:2015. d) Aplicar los protocolos de muestreo según los requerimientos normativos vigentes (NCh3386:2015 y NCh3431:2020). e) Aplicar metodología de análisis olfatométrico según normativa vigente NCh3190:2010. Del mismo modo, dando cumplimiento a los tiempos y condiciones de transporte de las muestras.
Tasa de emisión de olor	<p>Algunas consideraciones para el ingreso de la tasa de emisión de olor de las fuentes a modelar corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Siempre es preferible aplicar una tasa de emisión conservadora como punto de partida para la modelación de una situación operacional (Ej. emisión máxima). b) La estimación de la tasa de emisión debe ser calculada con los datos de concentración y caudal medidos en el mismo instante del muestreo. c) Las fuentes puntuales ingresadas al modelo deben ser caracterizadas con las mismas condiciones de velocidad de salida, temperatura y humedad medida en el mismo instante del muestreo. d) En fuentes puntuales con flujo de salida horizontal, la tasa de emisión debe ser proyectada con una velocidad de salida de 0,001 [m/s], sin modificar los otros parámetros de flujo. En caso de que el modelo lo permita, se debe activar la opción de "rain cap".
Régimen operacional	<p>Para alcanzar la representación de la condición operacional más desfavorable, se deben tener las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Para fuentes de corta duración se pueden utilizar tasas de emisión promedio, proyectadas en una modelación anual. Asumiendo que las emisiones máximas se superponen con las peores condiciones meteorológicas. b) En fuentes puntuales con régimen de emisión acotado o de corta duración, pueden ser ingresadas al modelo como tasas de emisión variables. c) En caso de que las actividades de mantención o paradas de planta generen un incremento significativo de las tasas de emisión, estas deberán modelarse en función de la frecuencia probable de ocurrencia y factorizarse para permitir la tasa de emisión más representativa.

4.5 Parametrización del modelo de dispersión

Parte del aseguramiento de calidad del proceso de modelación se relaciona con la aplicación de ciertas parametrizaciones del modelo con un enfoque específico para la cuantificación de los niveles de concentración en el área de interés. Entre los parámetros más relevantes para la realización de la modelación de dispersión de olores se encuentran, identificación y sensibilidad de receptores, distancia proyecto-receptor, altura del receptor, configuración de la grilla de receptores y representación de flujo descendente.

En un primer acercamiento a la evaluación de impacto por olores es necesario definir el límite normativo de referencia aplicable a la actividad industrial para su evaluación ambiental. Algunas veces este límite permisible de concentración de olor está definido en base a la distancia entre la industrial y el receptor. Debido a ello, es necesario definir de forma clara, desde donde debe ser medida esta distancia. En la mayoría de los casos se establece que la relación de distancia debe ser medida desde el límite del predio industrial a los puntos receptores de interés. Siendo recomendable incluir este tipo de indicación para no dar lugar a otras interpretaciones y aplicar el límite permisible adecuado.

Del mismo modo, en la evaluación de impactos en receptores, algunas guías establecen criterios de sensibilidad que permiten diferenciar la aplicación del protocolo FIDOL en un receptor de carácter industrial respecto a otro residencial. Esta categorización permite un análisis y evaluación del impacto con un enfoque más integral, donde se considera las distintas dimensiones del olor y no sólo una evaluación del nivel de concentración en los receptores.

Otro parámetro de importancia en la cuantificación de concentración de olor en receptores tiene relación con la altura a la cual debe evaluarse el límite permisible. Siendo recomendable indicar un valor estandarizado (Ej. 1,5 [m] altura promedio de la nariz humana), de modo que los resultados tengan una misma base comparativa. Esta altura se relaciona directamente con el tipo de grilla de receptores que debe ser utilizada, dado que se deben obtener las isocurvas de concentración al mismo nivel que la de los receptores para que los resultados de concentración sean coherentes.

En caso aplicar una altura distinta a cero, es apropiado aplicar una grilla anidada de receptores. Para lo cual es necesario definir criterios que permitan configurar de forma adecuada el número de grillas, su tamaño y el espaciado de cada celda que la conforma. Teniendo en consideración que, en las zonas más próximas a la fuente, se requiere de una mayor densidad de puntos de cálculo (grilla más densa).

Para una representación de las condiciones de flujo a las cuales están sujetas las fuentes puntuales de una instalación, es necesario evaluar la aplicación de condiciones de turbulencia asociada al parámetro de flujo descendente (Building downwash). Siendo necesario definir criterios de aplicabilidad para este parámetro en función de ciertos elementos como: tipo de fuente, relación espacial entre la altura de emisión y estructuras aledañas, caracterización de estructura/edificios en el entorno de la fuente (Ej. radio 800 [m]).

Tabla 10 – Criterios propuestos – Parámetros del modelo de dispersión (parte 1 de 2)

Actividad	Recomendación
<p>Parametrización de receptores</p>	<p>Aplicar en el modelo de dispersión una grilla de receptores (grilla anidada) considerando lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Grilla de receptores y receptores discretos a 1,5 [m] sobre el suelo. b) Grilla anidada de 5 niveles con una cuadrícula progresivamente más gruesa a medida que se distancia de este máximo, según se describe a continuación: <ul style="list-style-type: none"> - Grilla 1: Espaciado de 20 [m] en el perímetro de la instalación y el área de mayor impacto. - Grilla 2: Espaciado de 50 [m] para los primeros 0,5 [km] desde la fuente y sobre terreno elevado. - Grilla 3: Espaciado de 250 [m] dentro de los 2 [km] desde la fuente. - Grilla 4: Espaciado de 500 [m] dentro de los 5 [km] desde la fuente. - Grilla 5: Espaciado de 1.000 [m] más allá de los 5 [km] desde la fuente. c) En caso de que la concentración máxima ocurra en el límite de la instalación, se puede aplicar una resolución de hasta 10 [m] para representarla adecuadamente.
<p>Caracterización de receptores</p>	<p>Los criterios recomendados para definir los receptores que deben ser ingresados al modelo para la cuantificación de impacto corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Puntos de interés fuera del límite predial del proyecto. b) Puntos dentro de los límites prediales de otras instalaciones industriales aledañas. c) Puntos residenciales situados en la ubicación de dormitorios. <p>Los puntos donde no sería adecuada la cuantificación de impacto corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Receptores dentro de la misma instalación industrial (donde se aplica la legislación sobre salud y seguridad). b) Áreas donde el público no tenga acceso y no haya una habitación o residencia permanente. c) Puntos en las calzadas de las carreteras.
<p>Flujo descendente (building downwash)</p>	<p>Se recomienda activar el algoritmo de flujo descendente para representar las condiciones locales de turbulencia cuando se las fuentes puntuales cumplen los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Chimeneas cuya altura (desde el suelo al punto de emisión) se encuentre por debajo de 1,5 veces la altura o ancho máximo del edificio donde se emplaza la chimenea. b) Se deben representar en el modelo aquellas estructuras/edificios que se encuentren a una distancia menor a 5 veces la altura o ancho máximo del edificio donde se emplaza la chimenea, dentro de un radio de 800 [m]. c) En condiciones de terreno donde las elevaciones superan el 40% de la altura de la chimenea (dentro de un radio de 800 [m]).

4.6 Análisis de incertidumbre

La cuantificación de incertidumbre del modelo meteorológico de pronóstico es fundamental para validar la adecuada representación de las condiciones de dispersión en el área donde se proyectarán las emisiones de olor. Esto realiza comparando los campos meteorológicos pronosticados por el modelo meteorológico WRF y datos provenientes de una estación meteorológica observada dentro del dominio de modelación. Sin embargo, para evaluar su representatividad es necesario establecer indicadores de desempeño como mínimo para las variables atmosféricas consideradas como relevantes. Entre los indicadores estadísticos más utilizados se encuentra el error cuadrático medio (RSME), sesgo (Bias), error grueso (gross error) e índice de acuerdo (index of agreement).

Estos estadísticos deben ser calculados en base a un periodo anual y en un punto del dominio donde se tenga similitud con la situación atmosférica y de terreno del lugar de emplazamiento del proyecto. Debido a que la propagación de incertidumbre meteorológica no tiene un comportamiento lineal dentro del dominio de modelación.

Tabla 11 – Criterios propuestos – Evaluación de desempeño del modelo de pronóstico (parte 1 de 2)

Actividad	Recomendación
Selección de estación y variables meteorológicas	<p>Para la evaluación de los requerimientos mínimos se sugieren los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Seleccionar al menos 1 estación observada que disponga como mínimo registros para las variables relevantes (velocidad del viento, dirección del viento y temperatura). Dependiendo de la disponibilidad, incluir humedad relativa. b) Realizar un análisis de representatividad meteorológica para su selección, considerando tipo de terreno, uso de suelo, régimen meteorológico similar donde se emplazan las fuentes de emisión. c) En caso de no contar con estaciones meteorológicas cercanas o cuyo régimen meteorológico sea similar al del emplazamiento de las fuentes de emisión, como mínimo deberá estar situada en el dominio meteorológico. d) En caso de disponer de registros subhorarios, convertir a valores horarios, se recomienda utilizar los criterios Decreto 61 Aprueba Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos³²¹. En el caso de la dirección del viento, tener en consideración las componentes u y v del viento para su cálculo. e) Realizar una cuantificación de los registros faltantes de las variables meteorológicas, descartando aquellas estaciones que presenten datos faltantes >25% del periodo anual.
Aseguramiento de calidad de los registros meteorológicos	<p>Para asegurar la calidad de las observaciones se sugiere considerar los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Evaluar el estándar de instalación, utilizando como referencia lineamientos de la guía de monitoreo meteorológico para la aplicación de modelos regulatorios” (U.S. EPA, 2000), considerando como mínimo: <ul style="list-style-type: none"> - Altura de sensores de las estaciones observadas seleccionadas (Ej. ≥ 10 [m]). - Rango de incertidumbre de las mediciones en base a la presencia de obstáculos cercanos a la estación meteorológica. - Resolución de los instrumentos de medición. b) Es deseable realizar una revisión de los periodos de mantención y/o calibración para descartar registros atípicos producto de estas actividades programadas.

³²¹ Ministerio de Salud (2008). *Decreto 61 - Aprueba Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos*. Subsecretaría de Salud Pública. Chile.

Tabla 12 – Criterios propuestos – Evaluación de desempeño del modelo de pronóstico (parte 2 de 2)

Actividad	Recomendación
Extracción de datos de pronóstico	<ul style="list-style-type: none"> a) Utilizar un procesador de extracción de meteorología del modelo en formato de serie de datos con resolución horaria (Ej. METSERIES o WINDROSE TOOL) en la coordenada geoespacial de la estación meteorológica observada. b) Realizar la extracción de datos de pronóstico para las variables mínimas de velocidad, dirección del viento, temperatura y humedad relativa. c) La capa vertical del modelo a extraer debe corresponder a la altura de los 10 [m]. d) Analizar el mismo periodo anual de los datos meteorológicos observados, considerando las 8760 horas o 8784 horas para un año bisiesto.
Análisis cualitativo	<p>Comparación entre los datos meteorológicos observados y pronosticados, mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Series de datos, que permiten evaluar completitud, valores fuera de rango entre otros. b) Ciclos diarios para evaluar la variación de cada variable y su relación interdiaria. c) Ciclos estacionales, visualización estacional de ciclos diarios según variable analizada. d) Rosas de viento, permiten evaluar la variabilidad de los campos de viento y su predominancia.
Análisis cuantitativo	<p>Para evaluar el desempeño del modelo meteorológico WRF se tienen 2 alternativas o propuestas de indicadores según los siguientes autores:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Emery, C., Tai, E. (2001)³²². b) Handbook Odour Exposure Modelling (2022)³²³. <p>Siendo necesario evaluar los siguientes estadísticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Error cuadrático medio (RSME). b) Sesgo (Bias). c) Error grueso (gross error). d) Índice de acuerdo (index of agreement).
Requerimientos de información	<p>Para la trazabilidad y justificación de los criterios aplicados, el titular deberá presentar como mínimo lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Fuente desde donde se obtuvo la información observada para la realización del análisis. b) Coordenada de la estación observada. c) Coordenada de extracción de datos de pronóstico. d) Porcentaje de datos faltantes de cada variable. e) Porcentaje de datos válidos de cada variable meteorológica evaluadas. f) Comparación cualitativa de datos observados y pronóstico para: <ul style="list-style-type: none"> - Series de tiempo de las variables evaluadas. - Graficas de frecuencia de dirección. - Rosas de viento. - Correlación de variables. g) Evaluación cuantitativa de datos observados y pronóstico considerando los siguientes estadísticos: <ul style="list-style-type: none"> - Error cuadrático medio (RSME). - Sesgo (Bias). - Índice de acuerdo (index of agreement). h) Interpretación de los resultados de incertidumbre respecto al desempeño general de la base meteorológica y su influencia en la dispersión de la emisiones de olor.

³²² Emery, C., Tai, E. (2001). Enhanced Meteorological Modeling and Performance Evaluation for Two Texas Ozone Episodes. Texas Natural Resources Conservation Commission - ENVIRON, International Corp. United States.

³²³ Ibid.

4.7 Estimación y cuantificación de impacto

En la cuantificación de impactos, es recomendable considerar como parte de la evaluación el análisis de posibles impactos acumulativos producto de la contribución de olores generados por otras instalaciones aledañas con emisiones de olor al ambiente.

A nivel internacional existen diversos enfoques que van desde su inaplicabilidad debido al carácter multidimensional de los olores, el desconocimiento de la sinergia de la mezcla de compuestos odorantes en el ambiente y de la limitada información disponible para la caracterización de las condiciones de emisión de otras instalaciones aledañas (Ej. cantidad de fuentes, tipos de fuentes, régimen de emisión, tasa de emisión, entre otras). Por lo cual, este tipo de método está sujeto a un gran número de supuestos e incertidumbre que afectaría de alguna forma en la representatividad de los resultados.

Sin embargo, algunas guías establecen ciertos lineamientos metodológicos que permitirían una aproximación a la evaluación de impactos acumulativos. Uno de ellos tiene relación con un análisis de los incrementos en el nivel de concentración ambiental producto de la incorporación de una nueva instalación generadora de olores. La cual sugiere que un incremento > al 25% del nivel permisible en una zona donde se crucen las plumas de las distintas instalaciones, requieren de la implementación de medidas de control o mitigación de emisiones de olor por parte del nuevo proyecto como requisito para la aprobación de la autorización ambiental.

En la caracterización de instalaciones aledañas al proyecto con emisión de olor, fundamental definir si es aplicable la evaluación de impactos acumulativos a través de un modelo de dispersión, dada la naturaleza compleja del olor. De ser aplicables, establecer lineamientos y criterios metodológicos que permitan estandarizar los requerimientos mínimos asociados a los datos de entrada y la proyección conjunta de las emisiones para una evaluación acumulativa de la concentración de olor en receptores. De igual forma, estos lineamientos podrían extrapolados para la caracterización de línea base, aunque se requerirá de criterios complementarios para su incorporación al modelo y posterior análisis respecto a los aportes generados por el proyecto en evaluación. De modo que tanto el titular del proyecto como el evaluador tenga una mayor claridad respecto a los elementos que deben ser analizados y evaluados.

Resultados de concentración de olor: Ampliar la descripción de requerimientos asociados a la forma en la cual deben ser informados los resultados de concentración de olor. Por ejemplo, acotar los estadísticos descriptivos solicitados a los valores máximos según percentil o de ser aplicable alguna medida de tendencia central definir la más apropiada. Del mismo modo, en la evaluación de un límite normativo de referencia, especificar si es apropiada la comparación en base a valores decimales o enteros de concentración de olor. Dado que los límites permisibles de olor a diferencia de otros contaminantes corresponden a niveles expresados como unidades odoríficas enteras (Ej. 3 [ou_E/m³]).

Tabla 13 – Criterios propuestos – Efectos acumulativos (parte 1 de 2)

Actividad	Recomendación
<p>Modelación de efectos acumulativos</p>	<p>Se tienen 2 enfoques para la representación de la contribución de olor de fuentes o instalaciones externas:</p> <p>Instalaciones con actividades generadoras de olores distintos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los datos utilizados deben reflejar la realidad en la medida de lo posible, pudiendo utilizar inventarios/documentos publicados por las instalaciones de interés o de emplazamientos similares. - Considera que los distintos caracteres de los olores generados por las instalaciones de interés son los mismos. <p>Instalaciones con actividades generadoras de olores similares:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Considera instalaciones con autorización ambiental aprobada. - Instalaciones aledañas tienen alguna fuente de emisión significativa del que se tenga información respecto al tipo de olor emitido al ambiente. - Considerar fuentes o instalaciones existentes que cuenten con la información mínima para realizar la modelación individual y posterior evaluación global de los efectos acumulativos. - Evaluar el impacto acumulativo, aplicando un percentil mayor al de la norma de referencia en la región donde es probable que se superpongan las plumas de las distintas instalaciones. <p>Del mismo modo, existe un enfoque de inaplicabilidad, el cual que no considera adecuado la evaluación de los efectos acumulativos, dado que estaría integrando en la evaluación elementos significativos de incertidumbre que no permiten asegurar resultados cercanos a la situación real. Entre los cuales se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sinergia de los compuestos odorantes generados por distintas instalaciones. - Multidimensionalidad de los olores generados al interior de cada instalación y que conformarán el modelo global de evaluación. - Información parcial de fuentes emisoras, régimen de emisión, tasa de emisión, etc.
<p>Evaluación de efectos acumulativos</p>	<p>Algunos enfoques señalan que para evaluar los efectos acumulativos de una nueva instalación sugieren lo siguiente:</p> <p>Enfoque 1 Incrementos en el nivel de concentración:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proyectar las instalaciones aledañas en el modelo de dispersión bajo el supuesto del mismo tipo de olor. - Adicionar las emisiones asociadas a la nueva instalación a evaluar. - En la zona donde se interceptan las respectivas plumas, evaluar el incremento de concentración en base al límite de referencia. - De estimarse un incremento $\geq 25\%$ del límite permisible en un punto receptor de interés, el nuevo proyecto debe implementar medidas de control o mitigación. - De estimarse un incremento $< 25\%$ del límite permisible en un punto receptor de interés, el nuevo proyecto se considera que no genera aportes significativos a la carga basal de concentración. <p>Enfoque 2 – Superposición de plumas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proyectar las instalaciones aledañas en el modelo de dispersión de forma independiente, basado en los archivos de modelación entregados en el proceso de obtención de RCA favorable. - Adicionar las emisiones asociadas al a nueva instalación a evaluar. - Superponer las plumas de cada instalación y evaluar la intersección de las plumas para un límite normativo de referencia. - En caso de que la pluma del nuevo proyecto intercepte con un nivel de concentración límite una zona que donde previamente se tenga la intersección de las plumas ya existentes. El proyecto deberá considerar la implementación de medidas para que el nivel límite de concentración de sus emisiones, no alcance la zona de intersección.

Tabla 14 – Criterios propuestos – Cuantificación de impactos (parte 1 de 2)

Actividad	Recomendación
Perímetro de la instalación	Para la medición de distancia desde un punto receptor a la instalación, se sugiere utilizar el límite predial de la instalación o proyecto.
Estadísticos descriptivos	Dado que algunas medidas estadísticas no serían aplicables a esta componente, se sugiere acotar al reporte de los valores máximos de concentración en un punto de interés y definir una medida de tendencia central adecuada, en caso de que se requiera (Ej. promedio).
Presentación de resultados	<p>Los resultados de concentración y frecuencia deberán ser expresados como valores enteros como múltiplos de 1 [ou_E/m³] como umbral de percepción y cantidad de horas respectivamente.</p> <p>La tasa de emisión de olor y emisión de olor se deberá expresar como cifras numéricas decimales y evitando notación científica.</p>

5 CAPITULO IV: CONCLUSIONES

En la actualidad, tanto a nivel nacional como internacional existe un amplio reconocimiento de la complejidad asociada tanto a la caracterización de las emisiones odorantes como a la evaluación multidimensional requerida por este tipo de contaminante. Si bien se han desarrollado diversos estudios científicos y avances tecnológicos para un mayor entendimiento del comportamiento de los olores, fenómenos de dispersión, sus efectos en la salud de las personas y de las diferencias del olor respecto a otros tipos de contaminantes atmosféricos, aún es necesario seguir avanzado en una comprensión de la dinámica e interacciones de los compuestos que conforman un olor complejo y como estos interactúan en el ambiente.

En una primera aproximación, es necesario definir lineamientos generales que permitan identificar las posibles fuentes de incertidumbre asociadas a la medición y caracterización de las emisiones de olor en todas sus dimensiones. De esta forma, es posible establecer una base comparativa y estandarizada a nivel nacional en lo que respecta a la evaluación de impacto por olores. Chile cuenta hoy con estándares técnicos normados, que permiten abordar en gran medida estos lineamientos, sin embargo, se requiere trabajar en uniformar criterios tanto en el ámbito público como privado.

Dentro de lineamientos complementarios, se deben abordar los elementos críticos tanto del proceso de modelación de olores como de cuantificación y evaluación de impacto. Entre los cuales destaca la información meteorológica utilizada para la proyección y dispersión de emisiones, la caracterización y estimación del aporte odorante de las fuentes y en menor medida, pero no menos importante, la parametrización de la herramienta utilizada para la modelación de olores. En Chile, existe una debilidad importante a nivel nacional ya que la disponibilidad de estaciones meteorológicas públicas y privadas son muy escasas y/o no cumplen estándares requeridos para una modelación de olores.

En este sentido, se requiere definir de forma clara los requerimientos mínimos para un aseguramiento de calidad de los datos meteorológicos, orientados principalmente a las observaciones tanto superficiales como de altura. Debido a la sensibilidad de la componente olor respecto a las condiciones ambientales (meteorológicas y de terreno) se debe privilegiar por el uso de la información meteorológica observada en el modelo de dispersión, siempre y cuando se garantice la calidad y representatividad de los datos. Es por ello, que se requiere un esfuerzo adicional de aquellas instituciones asociadas al manejo de instrumental meteorológico y de control de calidad de registros ambientales para establecer los lineamientos que debieran ser aplicados y exigidos a nivel nacional. Permitiendo estandarizar criterios y controlar posibles incertidumbres asociadas a la medición para su uso en modelos regulatorios tanto de calidad del aire como de olores.

Del mismo modo, es necesario reforzar los requerimientos asociados al control de calidad en el muestreo y análisis olfatométrico, donde cada estudio de levantamiento de emisiones odorantes incluya evidencia gráfica y documental sobre el cumplimiento del estándar normativo tanto en el uso de instrumentos y equipos de medición; calibraciones y mantenciones de los equipos de medición y análisis; puntos de muestreo, número muestras, tiempos de traslado de las muestras de olor, entre otras.

Hoy en día, los estudios de olores que forman parte de los proyectos sometidos a la evaluación de impactos en el marco del SEIA, y que son en gran medida la razón por la cual son realizados a nivel nacional este tipo de estudios, presentan información parcial respecto al cumplimiento normativo, por lo cual se dificulta la revisión de los requerimientos normativos que permitan garantizar el control de la incertidumbre y dar mayor certeza a la representatividad de las emisiones caracterizadas.

Respecto a los criterios de selección del modelo de dispersión y su apropiada parametrización función de las limitaciones propias de la herramienta de modelación, requieren de lineamientos complementarios enfocados en la modelación específica de olores. Al definir los requerimientos mínimos para la parametrización de una modelación de olores, las partes interesadas, tendrán una mayor claridad respecto a los antecedentes que deberán recopilar previo a la configuración del modelo y su aplicación permitirá disminuir los sesgos e incertidumbres asociadas a los resultados. De este modo, se tendrá una mayor confiabilidad al momento de estimar la contribución de olor de otras instalaciones aledañas en un contexto de evaluación de impactos acumulativos. En razón de lo anterior, cobra relevancia nuevamente el tener presente que la modelación de olores como tal, es recomendable abordarla de una manera distinta al resto de contaminantes específicos.

Para efectos de una evaluación de impactos por olor, es necesario evaluar el impacto en todas sus dimensiones, incorporando la herramienta FIDOL/FIDOS como parte del análisis, ya sea que el modelo arroje impacto o no. Mediante la aplicación de este tipo de herramienta permite integrar se pueden determinar las concentraciones intermedias en un punto receptor, pudiendo encontrar peaks de concentración de olor que no fueron presentados en una modelación de medias horarias, por otro lado, se puede identificar la sensibilidad de un receptor en cuanto a su ciclo de actividades diarias (presencia o ausencia durante los eventos de olor) o simplemente entender si el receptor se siente o no afectado por olores que un modelo de dispersión pudiese entregar como resultado en una evaluación odorante, como también definir si las emisiones de una determinada fuente, contribuye o no al potencial de generación de molestia, considerando sus características en términos de tipo de olor, grado de ofensividad y tono hedónico, pudiendo incluso ser emisiones descartables o no modelables si cumplen con ciertas características de no ser un aporte “negativo” de olor. Este tipo de análisis puede también ser aplicado para efectos de fiscalizaciones, especialmente aplicando las evaluaciones psicométricas que este apartado menciona.

Por otro lado, y para efectos de un control interno, las mismas herramientas pueden utilizarse para así generar además un vínculo industria-comunidad, integrando a la población en las evaluaciones internas que una industria pudiese aplicar para evaluar el grado de molestia (o no) de sus vecinos, y con ello además mantener sus operaciones controladas para cumplir con los estándares en base a los compromisos ambientales adquiridos o exigibles por la autoridad ambiental.

La variabilidad de las fuentes, el tipo de emisión y su modo de difusión y la subjetividad de la percepción humana conllevan a que para un robusto análisis de impacto o molestia por olores el camino sugerido a seguir sea una combinación de diferentes herramientas de evaluación como métodos predictivos (modelos matemáticos) y métodos empíricos (observaciones que involucran a la población).

En cuanto al proceso de modelación ante fuentes intermitentes o estacionarias, se recomienda tener cuidado y exactitud en cuanto a la caracterización de dichas fuentes. Es importante definir de qué manera se representan las fuentes intermitentes en el modelo (aquellas que tienen emisiones de corto plazo y de forma esporádicas) de manera de no generar representaciones de impacto que puedan ser sub o sobre estimadas. Por lo tanto, se recomienda en procesos de compromisos ambientales o no regulatorios realizar análisis y modelamiento subhorarios en que la visualización de impactos por fuentes intermitentes sea representativa. Uno de los procesos óptimos para ejecutar dichos análisis es en la etapa de compromisos ambientales mediante el Plan de Gestión Odorante, específicamente en la etapa de diagnóstico, en que además de tener resultados anuales de posibles impactos, se suma un análisis de potencial impactos en receptores de fuentes que emiten con poca frecuencia, pero en altas concentraciones y con ello tomar medidas de control óptimas según cada caso.

Los criterios de impactos por olores establecidos por las diferentes legislaciones se basan en percentiles horarios de todo el año. Los percentiles tienen limitaciones, ya que sólo refleja un conjunto de concentraciones máximas en un número determinado de horas del año. Para el caso de fuentes intermitentes, es probable que éstas sí generen impactos de olor, aunque los resultados a un determinado percentil arrojen que no habría impacto. Importante es considerar que, ante este alcance, Chile a la fecha no cuenta con una normativa de emisión o de calidad oficial, pero sí está próximo a contar con una regulación priorizada y diferenciada para 5 principales sectores asociados a la generación de olores ofensivos y de mayor potencial de impactos. Estos sectores corresponden al sector porcino, pesquero, celulosa, sanitarias y rellenos sanitarios y/o de disposición de residuos, por ende, nuestro país se encuentra en vías de avanzar y definir los primeros límites.

La modelación de olores, utilizada como herramienta de prevención, control y seguimiento, se recomienda la utilización de plumas de olor en tiempo real. Es una herramienta completa, que mezcla parámetros de emisión, meteorología, receptores, reclamos por olor, entre otras. Además, entrega suficiente información para evaluar futuras mejoras en las unidades de procesos para la mitigación de impactos, acorde al comportamiento odorante de cada fuente levantada. Para obtener el máximo potencial de estas herramientas, es necesario que la calidad de la información que ingresa sea lo más representativo y bien caracterizada en términos de cantidad y tipo de fuentes, ciclos de emisiones, perfiles de emisiones, caracterización de entorno, topografías y meteorología.

Como observación a las metodologías planteadas anteriormente se debe tener en cuenta que la modelación inversa, y en particular para determinar la TEO de una fuente tiene sentido cuando hay una sola fuente de olor, o cuando hay emisiones fugitivas en todo el edificio. Para múltiples fuentes emisoras no es posible asignar una TEO específica para cada fuente. Además, generalmente en Chile las operaciones de emisiones de olor no cuentan con una única fuente emisora por lo que la implementación de estas metodologías sería limitada a una escasa cantidad de proyectos y/o actividades para la realidad nacional.

Finalmente, en Chile desde el año 2010 se ha trabajado continuamente para implementar normas técnicas que establecen directrices para la toma y análisis de muestras, y la cuantificación de emisiones, lo que debe ser la prioridad. Por lo que, estas herramientas debiesen ser consideradas en una medida fiscalizadora, de estimación o como implementación adicional de la gestión de olores de ciertos proyectos y/o actividades.

Respecto de la normativa y el marco regulatorio para la modelación de la dispersión de olores en Chile se cuenta con guías publicadas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) tales como: Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA (SEA; 2017); Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (SEA; 2012). Existen, además, diversas normativas relativas al muestreo y análisis olfatométrico, mediciones de campo, entre otras, que buscan asegurar la confiabilidad de los datos ingresados al modelo de dispersión, no obstante, establecer límites normativos que permitan la evaluación de cumplimiento o no de impactos por olor, es hoy uno de los principales desafíos a nivel nacional.

6 BIBLIOGRAFIA

- Alberta Environment and Parks, (2021). Air Quality Model Guideline. Air Policy, Government of Alberta. Canada.
- British Columbia Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Environmental Protection Division. Canada.
- Bull, M., et al. (2018). Guidance on the Assessment of Odour for Planning. Institute of Air Quality Management. United Kingdom.
- Bureau of Land Management Utah State Office. (2013). Utah Air Resource Management Strategy Modeling Project: Meteorological Model Performance Evaluation. United States.
- Brancher et al, 2016, A review of odour impact criterio in selectes countries around the world.
- Department of Environment and Conservation. (2006). Technical Framework: Assessment and Management of Odour from Stationary Sources in NSW. Department of Environment and Conservation NSW. Australia.
- Department of Environment and Natural Resources. (2008). Guidelines for Air Dispersion Modeling. Philippines.
- Department of Water and Environmental Regulation. (2019). Guideline: Odour Emissions. Government of Western Australia. Australia
- Department for Environment Food & Rural Affairs. (2021). Local Air Quality Management – Technical Guidance (TG16). Environment Northern Ireland. United Kingdom.
- Emery, C., Tai, E. (2001). Enhanced Meteorological Modeling and Performance Evaluation for Two Texas Ozone Episodes. Texas Natural Resources Conservation Commission - ENVIRON, International Corp. United States.
- Environment Agency. (2007). Review of Dispersion Modelling for Odour Predictions. United Kingdom.
- Environment Agency. (2011). Additional Guidance for H4 Odour Management. United Kingdom.
- Environment Northern Ireland. (2021). Local Air Quality Management – Technical Guidance (TG16). United Kingdom.
- Environmental Management Bureu. (2008). Guidelines for Air Dispersion Modeling. Department of Environment and Natural Resources. Republic of the Philippines.
- Environmental Protection Agency. (2001). Odour Impacts and Odour Emission Control Measures for Intensive Agriculture. Environmental Services Operational Programme. Ireland.
- Environmental Protection Agency. (2011). Odour Impact Assessment Guidance for EPA Lincsed Sites Note (AG5). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.
- Environmental Protection Agency. (2019). Odour Emissions Guidance Note (AG9). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.
- Environmental Protection Agency. (2020). Air Dispersion Modelling from Industrial Installations Guidance Note (AG4). Office of Environmental Enforcement (OEE), Ireland.
- Environmental Protection Agency (EPA). (s.f.). Air Quality Dispersion Modeling – Related Model Support Programs. United States.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. United States.
- Environmental Protection Agency Victoria. (2022). Guidance for Assessing Odour. Victoria Government. Australia.
- Environmental Protection Authority. (2016). Ambient Air Quality Assessment. Environmental Protection Authority. Southern Australia.
- Environmental Services Operational Programme. (2001). Odour Impacts and Odour Emission Control Measures for Intensive Agriculture. Ireland.
- Fox, D. G. (1984). Uncertainty in Air Quality Modeling: A Summary of the AMS Workshop on Quantifying and Communicating Model Uncertainty. American Meteorological Society. United States.

- Government of Western Australia. (2019). Guideline: Odour Emissions. Western Australia.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2010). NCh 3190 – Calidad del aire – Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). NCh 3386:2015 Calidad del Aire – Muestreo Estático para Olfatometría. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). NCh 3387: – Calidad del aire – Evaluación de la molestia por olores – Encuesta. Chile
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2020). NCh 3431/1 - Determinación de emisiones difusas por mediciones — Parte 1: Conceptos básicos. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2020). NCh 3431/2:2020 Determinación de Emisiones Difusas por Mediciones - Parte 2: Galpones Industriales y Granjas de Ganadería. Chile.
- Kemball-Cook, S., et al. (2005). Alaska MM5 Modeling for the 2002 Annual Period to Support Visibility Modeling. Center for Environmental Research and Technology - University of California. United States.
- Maqsood, I., (2012). Saskatchewan Air Quality Modelling Guideline. Ministry of Environment -Government of Saskatchewan. Canada.
- Ministry of Environment. (2015). British Columbia Air Quality Dispersion Modelling Guideline. Canada.
- Ministry for the Environment. (2016). Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour. Wellington: Ministry for the Environment. New Zealand.
- Minnesota Pollution Control Agency. (2018). MPCA Air Dispersion Modeling Practices. Minnesota, United States.
- Office of Air Quality – Planning and Standards. (2000). Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. United States.
- Office of Environmental Enforcement (OEE). (2011). Odour Impact Assessment Guidance for EPA Lincensed Sites Note (AG5). Ireland.
- Olores.org & Asociación Medioambiental Internacional de Gestores del Olor (AMIGO). (Draft, 2022). Handbook Odour Exposure Modelling – International Handbook on the Assessment of Odour Exposure by using Dispersion Modelling.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2012). Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA. Chile.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2017). Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Olor en el SEIA. Chile.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Wang, W., & Powers, J. G. (2005). A description of the advanced research WRF version 2. National Center For Atmospheric Research Boulder Co Mesoscale and Microscale Meteorology Div.
- Sullivan, J., et al. (2018). MPCA Air Dispersion Modeling Practices. Minnesota Pollution Control Agency. United States.
- United States Environmental Protection Agency. (2017). Guidelines on Air Quality Models, Appendix W. Code of Federal Regulations. United States.
- Utah Air Resource Management Strategy Modeling. (2013). Meteorological Model Performance Evaluation. Utah, United States.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (2000). VDI 3788 Part 1 – Environmental meteorology Dispersion of odorants in the atmosphere – Fundamentals. Germany.
- Wellington: Ministry for the Environment. (2016). Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour. Wellington, New Zealand.