

Módulo: Contaminación Atmosférica

**APLICACIÓN PRÁCTICA DEL
MODELO DE DISPERSIÓN DE
CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS – ISCST3**

Autor: Agustín Torres Jerez

Índice

1.	MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....	3
1.1	TIPOS DE MODELOS	3
1.2	COMPONENTES DE UN MODELO DE CALIDAD DEL AIRE:	8
1.3	APLICACIÓN DE MODELOS	9
1.4	REFERENCIAS.....	11
2.	APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO ISCT3.....	13
2.1	DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	14
2.2	ESTRUCTURA DEL PROCESO DE MODELADO	16
2.3	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	17
2.3.1	Información de las emisiones y datos de la instalación.....	18
2.3.2	Información meteorológica	18
2.3.3	Información del terreno.....	19
2.3.4	Información de los receptores sensibles.....	19
2.4	PRE-PROCESADO DE INFORMACIÓN.....	20
2.4.1	Procesado de los datos meteorológicos.....	20
2.4.2	Procesado de los datos de emisión de las instalaciones.....	25
2.4.3	Procesado de los datos del terreno y receptores.....	26
2.5	DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE MODELIZACIÓN.....	26
2.6	EJECUCIÓN DEL MODELO.....	31
2.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	34

1. MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

La dispersión de contaminantes atmosféricos es un proceso complejo para cuya evaluación es necesaria la aplicación de modelos. Los fenómenos que se desarrollan en la atmósfera no son controlables, ni reproducibles completamente en laboratorio. Por este motivo los modelos de dispersión de contaminantes son herramienta imprescindible en el estudio de la contaminación atmosférica

Las últimas directivas europeas relativas a la calidad del aire plantean un enfoque nuevo en la evaluación de la contaminación atmosférica, dando un importante uso a las técnicas de modelización. En la Directiva 62/1996 sobre la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente, se refiere a estas técnicas de estimación para su empleo de forma complementaria a las medidas que se realizan.

1.1 TIPOS DE MODELOS

Los modelos que describen la dispersión y transporte de contaminantes atmosféricos pueden ser diferenciados por distintos campos

1.- Tipo básico de modelos existentes

- físicos: como representaciones a pequeña escala, como puede ser una replica de una determinada área y el empleo de un túnel de viento;
- matemáticos: basados en sistemas conceptuales y principios físico-químicos. A su vez dentro de estos modelos se pueden distinguir dos grupos, los modelos determinísticos basados en ecuaciones matemáticas (principalmente la ecuación de advección-difusión que representa los procesos atmosféricos) y los modelos empíricos, basados en relaciones estadísticas y empíricas entre los datos relativos a la contaminación (tanto los datos de emisión de la fuente como los de calidad del aire) y otras variables que puedan tener influencia sobre ellas.

2.- Escala espacial de aplicación

- “street canyon”: estiman las concentraciones a nivel de calle, teniendo en cuenta las influencias derivadas de los edificios. Se trabaja en dominios espaciales de cálculo inferiores a 1 km (microescala)
- escala local, el dominio habitual es de unos pocos kilómetros hasta distancias de unos 20 km de las fuentes emisoras.
- local a regional, de aplicación a problemas de calidad del aire referidos al ozono, donde las reacciones fotoquímicas entre compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno tiene gran importancia. El dominio espacial de estudio puede estar definido entre 20 y 500 km.
- regional a continental (escala sinóptica), en esta escala son de importancia los

fenómenos meteorológicos de gran escala

- global, simulan el transporte de contaminantes en toda la atmósfera terrestre. Se suele aplicar a estudios relativos de efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono,...

3.- Escala temporal

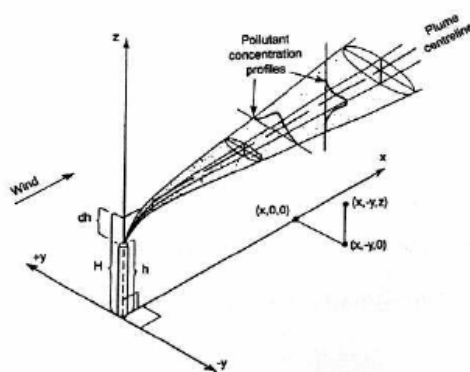
- modelos episódicos (short term) , cubren períodos temporales desde una hora a varios días. Su objetivo es predecir situaciones de contaminación atmosférica debidas a situaciones meteorológicas adversas.
- modelos climatológicos (long term), períodos de uno o varios años con objeto de estudiar la contaminación promedio en una zona.

Estos están asociados al tipo de modelo meteorológico:

- Modelos meteorológicos de pronóstico, proporcionan una predicción de la evolución de la atmósfera a partir de unas condiciones iniciales y de contorno y son por tanto modelos de mayor complejidad.
- Modelos meteorológicos de diagnóstico, proporcionan un diagnóstico de las condiciones presentes en cada instante a partir de datos registrados en estaciones meteorológicas. Los resultados de estos modelos son campos de diferentes parámetros meteorológicos obtenidos a partir de interpolaciones y/o extrapolaciones de las medidas meteorológicas disponibles

4.- Según el tratamiento de las ecuaciones de transporte

- modelos gaussianos, es el más común de los modelos de contaminación atmosférica. Este modelo asume que la distribución de la concentración de contaminantes dentro de la pluma tiene una distribución gaussiana



- modelos eulerianos
- modelos lagrangianos
- modelos de receptores: en contraste con los modelos de dispersión, los modelos receptor comienzan con la observación de las concentraciones que llegan al receptor para posteriormente definir las fuentes que las provocan.

5.- Según el tratamiento de distintos procesos

- modelos químicos o fotoquímicos: incluyen módulos para el cálculo de las transformaciones químicas. Estos módulos incluyen desde las reacciones químicas

más sencillas hasta la descripción de las reacciones fotoquímicas más complejas.

- modelos de deposición húmeda o seca

6.- Según el fin para que se empleen:

- propósito de regulación (1): de uso para estudios de evaluación de impacto ambiental y estudios de contaminación atmosférica industrial.
- apoyo a decisiones políticas (2): aplicable a regulación urbanística e industrial
- información pública (3): procesos fotoquímicos y generación de ozono,...definición de redes de calidad del aire y complementado de la información
- investigación científica (4): aplicables a estudios de cambio climático, lluvia ácida,...

En la siguiente tabla se recoge un resumen de las distintas áreas de aplicación de los distintos tipos de modelos dependiendo de la escala y el fenómeno de la dispersión. (según EEA)

Escala del Proceso Atmosférico	Microescala	Mesoescala		Macroescala
Escala del fenómeno de dispersión	Local	Local a regional	Regional a continental	Global
Gaussiano	1,2,4	1,2		
Semi-empírico	1,2,3,4	1,2,4		
Euleriano	1,2,4	2,3,4	2,4	2,4
Lagrangiano	4	4	2,4	
Químico	(1,2,)4	2,3,4	2,4	2,4
Receptor		2,4		

Dado el amplio uso de los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos empleados y las discrepancias entre ellos, la Unión Europea, a través de la Agencia de Medio Ambiente (EEA - European Environment Agency), a puesto en marcha una iniciativa para armonizar el empleo de estos modelos con usos regulatorios. Tras unos procesos exhaustivos de evaluación la EEA desarrollo una base de datos a través del European Topic Centre on Air and Climate Change.

Esta base de datos conocida como Sistema de Documentación de Modelos (MDS – Modelo Documentation System), recoge estos modelos oficiales de uso recomendable para distintas aplicaciones, y puede ser consultada a través de internet, incluyendo descripciones breves y extensas de los distintos modelos incluidos.

En la siguiente tabla se incluye la clasificación de los modelos de contaminación atmosférica

recogidos en el MDS de la Agencia Europea de Medio Ambiente.

Nombre del modelo	Escala de dispersión del fenómeno	Categoría del modelo	Módulo químico
<i>2-D OSLO</i>	global	2D-Eulerian	sí
<i>3-D OSLO</i>	global	3D-Eulerian	sí
<i>AUSTAL 86</i>	local	Gaussian	no
<i>CALGRID</i>	local a regional	3D-Eulerian	sí
<i>Cambridge model</i>	global	2D-Eulerian	sí
<i>CAR</i>	local	Semi-empirical	no
<i>CAR-FMI</i>	local	Gaussian	sí
<i>CIT</i>	local a regional	3D-Eulerian	sí
<i>CONTILINK</i>	local	Gaussian	no
<i>CTDMPLUS</i>	local	Gaussian	no
<i>CTMK</i>	global	3D-Eulerian	sí
<i>DISPERSION</i>	local a regional	Semi-empirical	no
<i>DMU</i>	regional a continental	2D-Eulerian	sí
<i>DRAIS</i>	local a regional	3D-Eulerian	sí
<i>ECHAM</i>	global	3D-Eulerian	sí
<i>EKMA/OZIPM4</i>	local a regional	Chemical	sí
<i>EMEP/MSC-E</i>	global	2D-Eulerian	sí
<i>EMEP/MSC-E/ acid deposition</i>	regional a continental	2 layer Eulerian	sí
<i>EMEP/MSC-W</i>	global	3D-Eulerian	sí
<i>EMEP/MSC-W/ photochemistry</i>	regional a continental	2D-Lagrangian	sí
<i>EMEP/MSC-W/ acid rain</i>	regional a continental	2D-Lagrangian	sí
<i>EMEP/MSC-W/ sulphur</i>	regional a continental	3D-Eulerian	sí
<i>EPISODE</i>	local a regional	3 layer Eulerian	sí
<i>EURAD</i>	regional a continental	3D-Eulerian	sí

Nombre del modelo	Escala de dispersión del fenómeno	Categoría del modelo	Módulo químico
<i>HARM</i>	regional a continental	2-D Lagrangian	sí
<i>HARWELL</i>	global	2D-Eulerian	sí
<i>HPDM</i>	local	Gaussian	no
<i>HYPACT</i>	local a regional	3D-Eulerian	no
<i>IFDM</i>	local	Gaussian	no
<i>IMAGES</i>	global	3D-Eulerian	sí
<i>INPUFF</i>	local	Gaussian	no
<i>ISCST 2</i>	local	Gaussian	no
<i>IVL</i>	regional a continental	2 layer Lagrangian	sí
<i>Liège model</i>	global	2D-Eulerian	sí
<i>LOTOS</i>	regional a continental	3D-Eulerian	sí
<i>Mainz model</i>	global	2D-Eulerian	sí
<i>MARS</i>	local a regional	3D-Eulerian	sí
<i>MATCH</i>	local a regional	3D-Eulerian	sí
<i>MEMO</i>	local a regional	3D-Eulerian	no
<i>MERCURE</i>	local a regional	3D-Eulerian	no
<i>MOGUNTIA</i>	global	3D-Eulerian	sí
<i>OML</i>	local	Gaussian	no
<i>OSPM</i>	local		no
<i>PLUIMPLUS</i>	local	Gaussian	no
<i>RAMS</i>	local a regional	3D-Eulerian	no
<i>REM3</i>	regional a continental	3D-Eulerian	sí
<i>ROADAIR</i>	local	Gaussian	sí
<i>SCALTURB</i>	local	Gaussian	no
<i>STOCHEM</i>	global	3D-Lagrangian	sí
<i>TREND</i>	regional a continental	Statistical	sí

Nombre del modelo	Escala de dispersión del fenómeno	Categoría del modelo	Módulo químico
<i>TVM</i>	local a regional	3D-Eulerian	no
<i>UAM</i>	local a regional	3D-Eulerian	sí
<i>UDM-FMI</i>	local a regional	3D-Eulerian	no
<i>UiB</i>	regional a continental	2D-Eulerian	sí
<i>UiB model</i>	global	2D-Eulerian	sí
<i>UK photochemical model</i>	regional a continental	2 layer Lagrangian	sí
<i>UK-ADMS</i>	local	Gaussian	no

1.2 COMPONENTES DE UN MODELO DE CALIDAD DEL AIRE:

Modelo de emisiones. En la mayoría de las ocasiones la información de la intensidad con la que se está emitiendo el contaminante se obtiene de medidas directas, pero en otras ocasiones hay que proceder al empleo de estimación de datos mediante la aplicación de factores de emisión o modelos de emisión.

Modelo meteorológico. Son los modelos que estiman los campos de vientos y otras variables meteorológicas que aportan la información sobre el transporte de los contaminantes y el estado turbulento de la atmósfera y como estas variables afectan a la dispersión de contaminantes. Se basan en las ecuaciones fundamentales de la dinámica, gases ideales, conservación de masa, momento lineal y energía.

Modelo fotoquímico. Estos modelos incorporan las ecuaciones de transformación químicas implicadas en la aparición de los contaminantes secundarios como el ozono troposférico, en función de diversos parámetros como la concentración de otros compuestos catalizadores de la reacción o variables meteorológicas específicas. Son también de aplicación a la contaminación ácida

Modelo de deposición. Mediante ecuaciones y parametrizaciones específicas aportan la información de cuando, cuanto y donde los contaminantes emitidos son eliminados de la atmósfera.

1.3 APLICACIÓN DE MODELOS

No sólo son de aplicación en el ámbito de estudio científico sino que también son de gran utilidad en el apoyo a la gestión de la calidad del aire. La normativa actual recoge la aplicación de modelos para evaluar el estado de la calidad del aire, tal y como se recoge en los próximos apartados.

Los modelos de difusión atmosférica son herramientas imprescindibles para abordar diferentes problemas relacionados con los procesos de evaluación ambiental incluyéndose como instrumentos en los siguientes tipos de estudios:

1. En los Estudios de Impacto Ambiental de instalaciones industriales donde la contaminación atmosférica es originada por uno o varios focos de carácter puntual, lineal o superficial existentes o previstos, de tal manera que se evalúe el impacto existente y se definan distintas alternativas para identificar la de menor impacto.
2. Optimización de alturas de chimeneas para grandes y medianas instalaciones industriales. En la actualidad la definición de la altura de chimenea se establece legalmente en la Orden de 18 de octubre de 1976. Los modelos de contaminación atmosférica sirven en este caso de herramientas de contraste y corrección de las alturas teóricas determinadas mediante las ecuaciones recogidas en esta normativa.
3. Estudios de operaciones pre-operacionales o estudios de contaminación de fondo. Estos estudios son de aplicación de forma previa a la instalación de las nuevas industrias, si bien para la aplicación de los mismos hay que disponer de toda la información del entorno existente. Suelen realizarse de forma práctica mediante mediciones reales.
4. Modelos urbanos de difusión, son de aplicación para la definición de las condiciones de capacidad de carga de un centro urbano en la implantación de nuevos polígonos industriales o implantación de industrias aisladas, determinando la afección de las mismas a la implantación. También deben de ser de aplicación en el sentido contrario, para la urbanización de nuevas áreas próximas a instalaciones industriales. Este tipo de aplicaciones de los modelos está relacionada con la planificación urbana e industrial (escala regional, local y nacional).
5. Diseño de redes de calidad de aire. Una red de vigilancia de la contaminación atmosférica tiene como misión analizar en tiempo real la concentración de contaminantes en la atmósfera. Para dimensionar y localizar las estaciones de la red de vigilancia deben tenerse en cuenta muchos aspectos entre los que se encuentran la población y la contaminación a la que ésta está expuesta. Para adecuar su ubicación pueden emplearse modelos de difusión. Asimismo, en las redes de calidad del aire que se encuentran ya en funcionamiento, se emplean como complemento, ya que permiten dar estimaciones de calidad del aire en zonas no cubiertas por estaciones de medida.
6. Predicciones de Contaminación Potencial. Programas de Prevención. Este tipo de modelizaciones se realizan en complejos sistemas informáticos en tiempo real, de tal manera que se pueda informar a la población de eventos de contaminación episódicos.

7. Estudios epidemiológicos, estudios de relación entre niveles de contaminantes en la atmósfera y el número de muertes y hospitalizaciones debidos a afecciones pulmonares.
8. Apoyo a la elaboración de legislación y reglamentación para mejorar la calidad del aire, incidiendo sobre la limitación de las emisiones de contaminantes.
9. Gestión de emergencias por contaminación urbana e industrial o por escapes accidentales de material tóxico o radiactivo que pueden provocar episodios de contaminación aguda. Estas aplicaciones se realizan con modelos específicos desarrollado para su aplicación con gases densos o radiactivos.

Independientemente del empleo de los modelos para abordar los diferentes problemas planteados anteriormente, de forma general los tipos de estudios pueden estar relacionados con los siguientes contaminantes.

- Estudios de calidad del aire urbano [PM10; CO; NO_x; SO₂]
- Estudios de ozono troposférico (modelos fotoquímicos) [CO; COV_s; NO_x]
- Estudios de lluvia ácida [NH₃; NO_x; SO₂]
- Estudio de contaminantes relacionados con cambio climático [CO₂; CH₄; N₂O]
- Estudios de contaminantes relacionados con eutrofización de las aguas (superficiales y subterráneas) [NH₃; NO_x]

En función del tipo de estudio a realizar el fenómeno de la dispersión se corresponderá con una escala distinta. (según EEA)

Tipo de estudio	Escala del fenómeno de dispersión			
	Global	Regional a continental	Local a regional	Local
Cambio climático	X			
Deplección de capa de ozono	X	X		
Ozono troposférico		X		
Acidificación		X		
Eutrofización		X		
Smog fotoquímico		X	X	
Contaminantes tóxicos		X	X	X
Calidad del aire urbano			X	
Contaminantes industriales			X	X
Emergencias nucleares		X	X	X
Emergencias químicas		X	X	X

1.4 REFERENCIAS

Algunas de las múltiples referencias que se pueden encontrar en internet se recogen a continuación.

<http://www.epa.gov/scram001/aqminindex.htm>



U.S. EPA Models
REGULATORY MODELS

<http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/MDS/index.html>



European Topic Centre on Air and Climate Change

MDS - Model Documentation System

<http://airsite.unc.edu/home.html>

AIRSITE
Atmospheric chemistry International Research Site for Information and Technology Exchange
University of North Carolina, USA
University of Leeds, UK

<http://www.camx.com/index.php>

ENVIRON®

<http://www.weblakes.com/lakepa3.html>

Lakes
Environmental

http://directory.google.com/Top/Science/Environment/Air_Quality/Air_Dispersion_Modeling/

Google™
Directory

<http://www.etsimo.uniovi.es/gma/enlaces.htm>



Universidad de Oviedo

<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html>

MMM
Community Model





<http://www.arb.ca.gov/html/soft.htm#modeling>

Gobierno California

http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/html_files/new_links.html

Sitios sobre Meteorología, datos y salidas de modelos

<http://artico.lma.fi.upm.es/>

**GRUPO DE MODELOS Y SOFTWARE PARA EL
MEDIO AMBIENTE
FACULTAD DE INFORMÁTICA, UNIVERSIDAD
POLITECNICA DE MADRID**

<http://www.uamv.com/index.htm>



eoi

2. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO ISCST3

Se va a realizar una ejecución práctica del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term en su versión 3), de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (U.S. EPA). El modelo ISCST3 se integra en un interfaz de usuario, en su versión adaptada de Lakes Environmental, dentro del paquete informático ISC-AERMOD View.

Es el modelo más empleado para la realización de estudios aplicados a la evaluación ambiental de la calidad del aire de fuentes industriales. Incorpora un modelo para terrenos complejos, para elevaciones superiores a la altura de la chimenea, denominado COMPLEX1.

En este mismo paquete informático se integran otros modelos de dispersión de contaminantes, también de la USEPA, para otro tipo de aplicaciones específicas, que aunque se detallan a continuación, no son el objeto de esta práctica.

- ISC-PRIME (ISC-Pluma Rise Model Enhancements): Incorpora nuevos algoritmos integrados en el modelo ISCST con mejoras para determinar la afección de los edificios en la pluma de contaminación (building Downwash)
- AERMOD (AMS/EPA Regulatory Model)

El Modelo ISC es un modelo complejo que estima las máximas concentraciones de contaminantes en cualquier punto en base a datos de emisión de ubicación de las fuentes emisoras y a información meteorológica horaria (dirección y velocidad del viento, entre otros).

Entre los modelos que permiten simular la dispersión de contaminantes en la atmósfera, el ISC3 es uno de los más utilizados. Existen dos modalidades, una de ellas es la denominada Short Term, y la otra, Long Term. Para esta práctica se va a trabajar con la versión Short Term, puesto que ésta permite hacer análisis de concentraciones horarias, diarias y anuales, mientras que el Long Term no permite realizar análisis a corto plazo.

El modelo ISCST3 provee opciones de modelación para un amplio rango de fuentes contaminantes de un complejo industrial típico. Estas corresponden a 5 tipos básicos:

- Fuentes puntuales (chimeneas y antorchas)
- Fuentes volumétricas;
- Fuentes de área;
- Fuentes abiertas (open pit).
- Fuentes lineales



El modelo se basa en la ecuación Gaussiana en estado estacionario aplicada al penacho, y permite modelar: la chimenea como una fuente puntual; emisiones que experimenten los efectos aerodinámicos viento abajo debido a construcciones cercanas; fuentes aisladas; fuentes múltiples; pilas de acopio; cintas transportadoras; etc.

El modelo ISCST3 acepta registros de datos meteorológicos horarios para la definición de condiciones en cuanto a:

- Elevación del penacho;
- Transporte de contaminantes;
- Difusión de contaminantes, y
- Deposición de contaminantes.

Este modelo estima el valor de la concentración o deposición ambiental del contaminante, según las fuentes y los receptores definidos, para cada hora de datos meteorológicos ingresados, calculando promedios seleccionados por el usuario.

En cuanto a la deposición, el modelo permite estimar, ya sea el flujo de deposición seca, húmeda o el flujo de deposición total. Este último corresponde a la suma de los flujos de deposición seca y húmeda para la ubicación de un receptor en particular.

Es un modelo contrastado y validado por la EPA

2.1 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

Previamente a la ejecución del modelo hay que definir de forma clara y concisa los objetivos del trabajo, definiendo la finalidad del estudio que se pretende realizar, el tipo de parámetros a modelizar, las fuentes a considerar, la normativa de referencia a tener en cuenta para valorar los resultados obtenidos.

Al definir los objetivos del estudio no hay que perder de vista las limitaciones del modelo que vamos a emplear, pudiendo o no considerar determinados parámetros primarios o secundarios, si es de aplicación un módulo químico, el ámbito del estudio que define la escala espacial de trabajo, el tipo de datos meteorológicos que requiere cada modelo y su disponibilidad, etc.

Previamente a definir los objetivos de este estudio el marco inicial en el que se trabaja es el siguiente:

- Proceso industrial en una instalación de gran tamaño dedicada a la recuperación de metales
- En la actualidad dispone de distintas líneas de proceso con un número de focos de

emisión importante. Esto supone unos costes amplios en mantenimiento, depuración y control de la emisión de contaminantes.

- Se encuentra ubicada en un polígono industrial alejada de núcleos urbanos importantes, pero con zonas de protección especial de ecosistemas cercanos y algún núcleo de población menor cercano.
- Tiene un funcionamiento continuado de 24 horas al día durante todo el año.
- Focos actuales de emisión (25)
- La altura teórica de la chimenea es de 22,7 metros
- Los contaminantes principales que emite la empresa en mayor o menor concentración en los distintos focos de los procesos industriales son SO_x, CO, NO_x y partículas en suspensión

En este caso hipotético los objetivos del estudio son los siguientes:

La dirección de la empresa ha decidido estudiar la viabilidad técnica, económica y medioambiental de unificar la emisión de todos los focos contaminantes en un único foco de emisión de los gases. Con este objetivo se pretende optimizar los costes que en la actualidad se dedican al control de las emisiones atmosféricas tal y como establece la normativa legal española actual, que se suman a las medidas de depuración de los contaminantes de los gases emitidos y el mantenimiento de las instalaciones actuales.

Por lo tanto, la modelización tiene como objetivos verificar los niveles de calidad del aire para los contaminantes SO_x, CO, NO_x y partículas en suspensión, con las características previstas del nuevo foco de emisión que canalizará los gases emitidos por cada uno de los focos existentes en la actualidad.

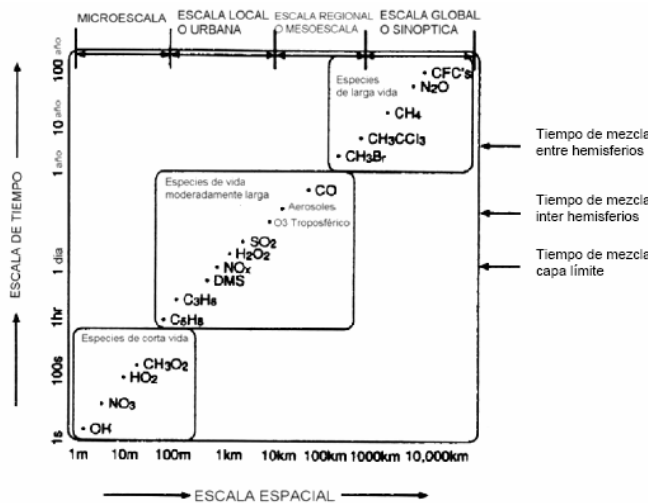
Para determinar la altura de este único foco, que englobará las emisiones de los focos de todos los procesos industriales de la instalación, se realizó el cálculo teórico de la altura de la chimenea con los requisitos establecidos en el Anexo II de la Orden de 18 de octubre de 1976. La altura final de diseño vendrá determinada además por los requerimientos de ingeniería y los resultados de calidad del aire modelados. La ingeniería que realiza el estudio de unificación de los focos propone una altura de 65 metros, que cumpliría a priori con los requisitos exclusivamente técnicos de diseño de la instalación.

Adicionalmente, en el caso de que se estimen incumplimientos de los objetivos de calidad del aire para los parámetros modelizados, según las condiciones de diseño de la altura de la chimenea, se determinará el valor óptimo en el cual no se de ninguna superación de los límites de referencia.

La futura ubicación del nuevo foco de emisión, se encuentra aislada de los edificios cercanos, no viéndose afectada la pluma de gases que emita afectada por su presencia, por lo tanto en el estudio no se tendrá en cuenta el efecto de downwash.

Dada el análisis local que se pretende realizar del estudio, no se van a tener en cuenta coeficientes de decaimiento ni de vida media de los contaminantes, ni el efecto de la deposición húmeda o seca.

A modo de ejemplo, en el siguiente esquema, se dispone la variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos (Brasseur et al., 2003).

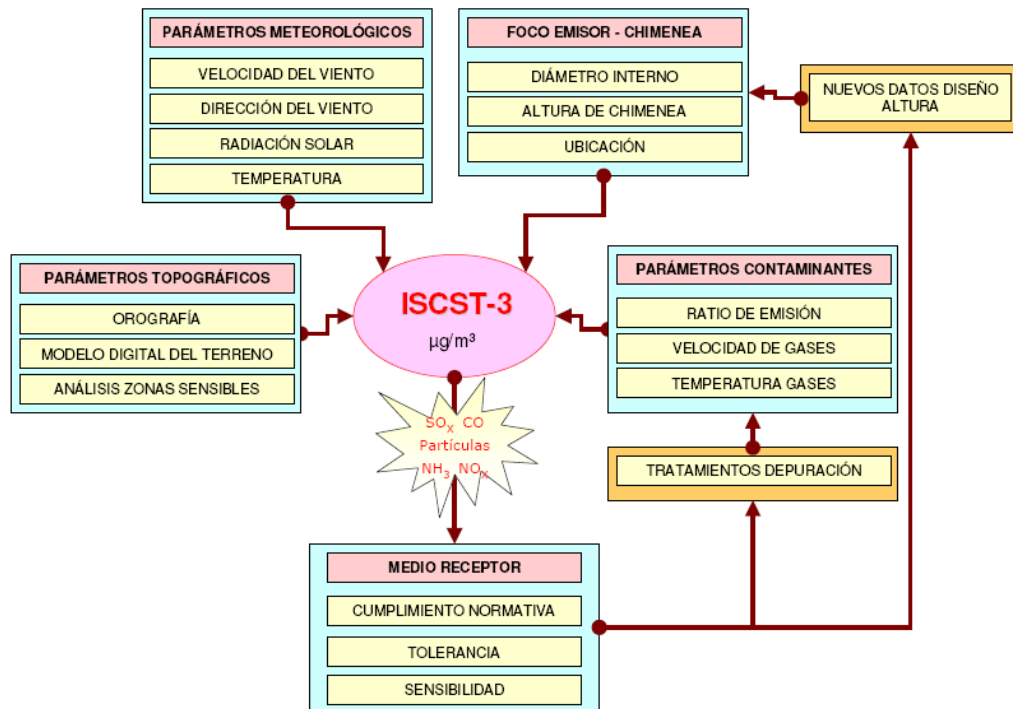


2.2 ESTRUCTURA DEL PROCESO DE MODELADO

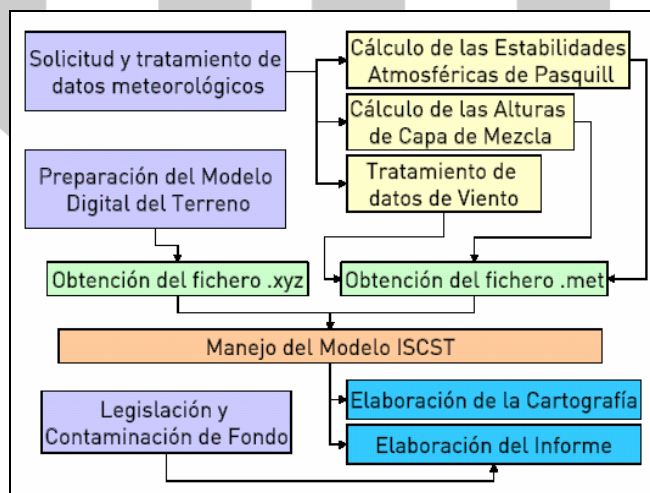
La aplicación de un modelo de difusión tiene como objeto la integración entre aquellos elementos que inciden en la calidad del aire, como son los condicionantes atmosféricos, localización de los focos e intensidad de los mismos, situación de los receptores, influencia de la topografía, orografía, etc.

La estructura conceptual del modelo ISCST3 que vamos a aplicar dentro de las hipótesis de trabajo definida, se recoge en el siguiente esquema. Hay que destacar que en este caso, el proceso de modelado será iterativo, incorporando además en el esquema las fases o posibilidades de actuación sobre las fuentes de datos que el industrial puede modificar.

Estas modificaciones pueden ir referidas a la aplicación de p.e. las mejores técnicas disponibles (MTD's) para la depuración de los gases contaminantes, lo que conllevaría una reducción de los ratios de emisión de los contaminantes, o una nueva definición del foco emisor, p.e. con el incremento de la altura o con la mejora del impulso termoconvectivo resultante, no incluyendo algún foco de gases a temperatura ambiente, lo que incrementaría la temperatura de los gases y por lo tanto su difusión.



Independientemente de esta estructura conceptual del modelo, el esquema de trabajo debe ser sistemático y ordenado debiendo abordar las tareas de forma secuencial. El esquema de trabajo para la aplicación del modelo podría determinarse como sigue:



2.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La fiabilidad de un modelo está directamente relacionada con el origen y fiabilidad de los

datos que se posea, siendo fundamental que la información meteorológica esté sustentada por el conocimiento de series suficientemente extensas y detalladas, de los diferentes parámetros climáticos.

2.3.1 Información de las emisiones y datos de la instalación.

Toda la información debe ser requerida al promotor de la instalación, de tal forma que se trabaje con los datos técnicos más ajustados, bien deducidos para caso de instalaciones nuevas por las capacidades del diseño, bien procedentes de mediciones reales.

Los datos mínimos necesarios para la ejecución del modelo por cada uno de los focos que se quieran modelizar son los siguientes:

- Altura de la chimenea (metros)
- Diámetro interior de la chimenea (en metros)
- Caudal de salida de los gases (Nm^3/h) o
- velocidad de salida de los gases (m/s)
- Temperatura de salida de los gases ($^{\circ}\text{K}$)
- Ubicación de la chimenea (coordenadas UTMX y UTM Y)
- Altura de la base de la chimenea (m.s.n.m.)
- Ratio de emisión de los contaminantes que se quieren modelizar (g/s)

2.3.2 Información meteorológica

Para la utilización de estos modelos es necesario disponer de información meteorológica horaria, adecuadamente consistida, durante un período suficientemente representativo.

En este caso práctico, la modelización se realiza a partir de los datos horarios del año 2005 de radiación, temperatura, dirección y velocidad del viento.

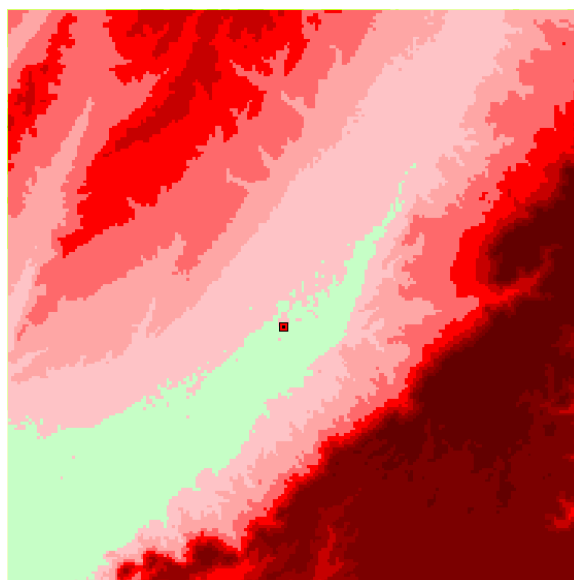
Toda esta información se solicita al Instituto Nacional de Meteorología (INM), especificando los datos meteorológicos que se requieren, el formato (electrónico), su presentación (datos horarios) y especificando la estación meteorológica de la que se requieren los datos y el periodo. Para la aplicación del modelo en esta práctica los datos requeridos fueron los siguientes:

- Temperatura horaria (décimas de $^{\circ}\text{C}$)
- Velocidad del viento (Km/h)
- Dirección del viento (decenas de grado)
- Radiación global horaria ($10\text{kJ}/\text{m}^2$)

En ocasiones toda la información no está disponible en la estación meteorológica más cercana, o incluida en dominio de estudio, por lo que hay disponer de los datos de otras estaciones lo más próximas posibles. Esta información debe quedar reflejada en los informes de resultados que se emitan.

2.3.3 Información del terreno

Para la obtención de la información referente al terreno de este caso práctico, se ha partido de un modelo digital del terreno con una extensión de 50x50 Km y una resolución de 100 metros, ubicando la instalación en el centro del cuadrado. La precisión altitudinal es de ± 16 metros al 90% de probabilidad (± 19 metros al 95% suponiendo normalidad) y la planimétrica de ± 60 metros al 90% de probabilidad (± 68 metros suponiendo binormalidad), lo que supone que estos mapas son adecuados para escalas 1:350.000 bajo las recomendaciones cartográficas del IGN español (a escala 1/350.000, precisión planimétrica al 95% de 70 metros y altitudinal en las curvas de nivel, de ± 33 metros al 95%).



La información del terreno puede ser obtenida de distintas fuentes, bien por digitalización de cartografía del área de estudio, bien por solicitud de datos de archivos xyz al Instituto Geográfico Nacional, o mediante cartografía vectorial existente y que pueda disponerse para el trabajo.

Dependiendo del origen de la información y la resolución que defina este origen, los resultados del modelo serán más o menos detallados y ajustados, si bien, una mayor resolución de datos ralentizará el proceso de ejecución del modelo.

2.3.4 Información de los receptores sensibles

Se debe realizar una recopilación de todos los receptores sensibles a la contaminación atmosférica, con los que posteriormente en base a los criterios legales establecidos en la normativa se puedan aportar criterios de incumplimiento de los valores límites. En estos receptores sensibles habrá que tener en cuenta de inicio todos aquellos para los que en la normativa vigente se establezcan criterios de protección. En la actualidad los criterios de protección en la normativa se establecen para:

1. la salud humana, por lo que se tendrán en cuenta todos los núcleos de población que



se encuentren en la zona de estudio.

2. La vegetación, por lo que se revisarán todas las zonas de especial protección relacionadas con la flora existentes en el área de estudio (LIC)
3. Y los ecosistemas, incluyendo también otras áreas naturales protegidas (LIC, ZEPAS y otras zonas naturales protegidas)

2.4 PRE-PROCESADO DE INFORMACIÓN

Una vez recabados los datos necesarios de todos los medios implicados, se debe realizar una adecuación y procesado de la información para su adaptación al modelo, teniendo en cuenta los formatos de entrada de datos a la aplicación y las unidades de expresión.

2.4.1 Procesado de los datos meteorológicos

El procesado de la información meteorológica recopilada debe finalizar con la obtención del archivo meteorológico de entrada al modelo “.met”. Este archivo en formato ASCII debe disponer de una estructura específica, y debe contener toda la información mínima (remarcada en rojo) que el modelo ISCST3 requiere para su correcta ejecución.

Surface Station No.	Surface Station Year	Mixing Height Station Number	Mixing Height Station Year											
3928	88	13996	88											
88	1	1	1	181.0000	2.5722	263.1	6	946.7	515.0	0.2060	35.0	0.2000	0	0.00
88	1	1	2	198.0000	4.1155	264.2	5	942.0	515.0	0.3049	81.9	0.2000	0	0.00
88	1	1	3	244.0000	4.1155	263.7	5	939.3	515.0	0.3047	81.7	0.2000	0	0.00
88	1	1	4	243.0000	3.0866	262.6	6	935.7	515.0	0.2302	41.2	0.2000	0	0.00
88	1	1	5	183.0000	1.5433	262.0	7	932.0	515.0	0.1597	35.0	0.2000	0	0.00
88	1	1	6	242.0000	3.0866	262.0	6	928.3	515.0	0.2303	41.1	0.2000	0	0.00
88	1	1	7	205.0000	3.6011	262.0	5	924.7	515.0	0.2572	57.7	0.2000	0	0.00
88	1	1	8	183.0000	3.0866	261.5	4	28.0	527.0	0.2304	41.0	0.2000	0	0.00
88	1	1	9	177.0000	5.1444	262.6	4	173.2	589.0	0.4530	-429.1	0.2000	0	0.00

Default ASCII File Format

El resto de información del archivo debe completarse para modelizar además las opciones

de deposición seca y húmeda de los contaminantes, que no serán objeto de esta práctica

Para obtener la estructura de este archivo es preciso tratar los datos básicos de variables meteorológicas recopilados del INM, convirtiendo las unidades a las requeridas por el modelo, obteniendo otros parámetros como las categorías de estabilidad atmosférica de Pasquill – Gifford y la altura de la capa de mezcla, y tratando los casos específicos de datos.

De inicio hay que observar las unidades en las que se registran los datos en la estación meteorológica y las unidades que requiere el modelo y realizar la conversión. En la siguiente tabla se recogen algunas de las conversiones a realizar.

Parámetro	DATOS INM	ARCHIVO MET u Otros	CONVERSIÓN
<i>Temperatura</i>	°C	°K	°C+273
<i>Velocidad viento</i>	Km/h	m/s	
<i>Dirección del viento</i>	Decenas de grado	Grados (como vector de flujo)	
<i>Radiación global horaria</i>	10kJ/m ²	W/m ²	1 KJh/m ² = 0,27777778 W/m ²

Hay que cambiar la el número que define las 12 a.m., es 24 horas no 0 horas.

El modelo ISCST-3 no permite introducir valores de velocidad del viento superiores a 30 m/s. Por este motivo hay que evaluar en cuantos datos horarios se registra esta incidencia a lo largo del período, y tomar una decisión sobre su tratamiento, pudiendo sustituirse por la velocidad registrada por el máximo admitido por el modelo.

Por otro lado, se pueden dar registros en los que la variabilidad de la dirección del viento no ha permitido establecer un rumbo fijo (remarcados con 99 en la tabla de datos del INM). Para estos casos, también se debe evaluar el número de ocasiones en las que se sucede y realizar una valoración, adoptando un criterio para su solución, como por ejemplo asignar un valor medio de los vientos del día o de esa hora en el resto de los días del mes.

Finalmente se deben obtener otros parámetros de turbulencia de la atmósfera que se caracteriza en base a un parámetro que se denomina clase de estabilidad, que es función de la turbulencia térmica y de la turbulencia mecánica.

Para la determinación de la clase de estabilidad existen diversos métodos: el método de Turner (Turner,1964), Radiación solar/Delta-T (USEPA,1994) basado en la radiación solar, σ_E (USEPA, 2000), basado en la desviación del ángulo de elevación de la dirección del viento, y σ_A (USEPA, 2000) que se basa en el análisis de desviación de la dirección horizontal del viento. A la vista de los datos disponibles se ha utilizado el método conocido como Turner.

El método empleado para la estimación de las clases de estabilidad para este caso práctico,



partiendo de los datos de radiación solar y de la velocidad del viento obtenidos en las estaciones meteorológicas es una variación del desarrollado por Panofsky y Dutton (1984).

Se define inicialmente la clase de insolación, partiendo de los datos de radiación solar medidos por el radiómetro de la estación meteorológica.

RADIACIÓN SOLAR (W/m²)	INSOLACIÓN	CLASE DE INSOLACIÓN
$R > 917.10$	FUERTE	4
$567.95 < R \leq 917.10$	MODERADA	3
$231.35 < R \leq 567.95$	DÉBIL	2
$20 < R \leq 231.35$	MUY DÉBIL	1
$R \leq 20$	NOCHE	0

Una vez obtenida la clase de insolación mediante el empleo de la radiación solar, se deben cruzar con los datos de velocidad del viento, concluyendo finalmente con las clases de estabilidad para cada dato horario.

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ÍNDICE DE RADIACIÓN NETA				
	4	3	2	1	0
$V \leq 0.5$	1	1	2	3	7
$0.5 < V \leq 1.5$	1	2	2	3	6
$1.5 < V \leq 2.5$	1	2	3	4	6
$2.5 < V \leq 3.5$	2	2	3	4	5
$3.5 < V \leq 4.5$	2	3	3	4	5
$4.5 < V \leq 5.5$	3	3	4	4	4
$V > 5.5$	3	4	4	4	4

Se pueden definir otras metodologías para la definición de las clases de estabilidad, de las cuales se adjuntan los siguientes ejemplos.

El siguiente cuadro sintetiza la definición de las clases de estabilidad para condiciones diurnas y nocturnas, según la radiación solar incidente, para todos los rangos de velocidades de viento, debiendo disponer de los datos de la nubosidad para el período nocturno:

Velocidad del viento (m/s) a 10 m de altura	Día			Noche ⁽¹⁾	
	Radiación solar incidente			$4/8 \leq \text{Nubosidad} \leq 7/8$	Nubosidad $\leq 3/8$
	Fuerte (mayor que 50 cal/cm ² h)	Moderada (entre 25 y 50 cal/cm ² h)	Débil (menor que 25 cal/cm ² h)		
< 2	A	A - B	B	F	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

(1) La noche se define como el período desde una hora después de la puesta de sol, hasta una hora antes de la salida del mismo.

Para cielos totalmente cubiertos, tanto para el día como para la noche, debe asumirse clase de estabilidad D.

Existen otros métodos alternativos, Radiación solar/Delta-T, como el de radiación solar, que consideran la desviación estándar de la dirección horizontal del viento o del ángulo de elevación del viento, y el basado en los gradientes verticales de temperatura, que se formularon para ser usados cuando no existe nubosidad, y eliminan las subjetividades que introducen los observadores en la determinación de la cantidad de cielo cubierto y la altura de la base de la capa de nubes.

Wind Speed (m/s)	DAYTIME Solar Radiation (Wm ⁻²)			
	≥ 925	675 - 925	175 - 675	<175
<2.0	A	A	B	D
2.0 - 3.0	A	B	C	D
3.0 - 5.0	B	B	C	D
5.0 - 6.0	C	C	D	D
>6.0	C	D	D	D

Wind Speed (m/s)	NIGHTTIME Temperature Difference (°C)	
	<0.0	≥ 0.0
<2.0	E	F
2.0 - 2.5	D	E
≥ 2.5	D	D

Otro de los parámetros a definir es la altura de la capa de mezcla. La capa de mezcla se define como la capa inferior de la atmósfera en la que el penacho puede desarrollarse y subir libremente en dirección vertical.

Para la evaluación de la altura de la capa de mezcla, se recomienda el empleo de dos procedimientos alternativos. El primero se basa en los datos correspondientes a los perfiles de temperatura en función de la altura, mientras que el segundo evalúa la altura de la capa de mezcla, en base a parámetros tales como la velocidad de fricción, el parámetro de Coriolis y la longitud de Monin-Obukhov. Para el primer procedimiento se debe contar con datos de radiosondeos de las estaciones de altura del INM.

El método recomendado para la determinación de la altura de la capa de mezcla es el método de Holzworth (Holzworth, 1972; USEPA, 2000), sin embargo, sólo puede ser utilizado cuando se dispone de datos procedentes de sondeos de las capas altas de la atmósfera. Dada la dificultad para encontrar estaciones que realicen dichos sondeos, el INM recomienda para la realización de los estudios de dispersión de contaminantes la aplicación del criterio de Klug. Este método es de muy sencilla aplicación una vez es conocida la clase de estabilidad.

CLASE DE ESTABILIDAD DE PASQUILL-GIFFORD						
	A	B	C	D	E	F
Altura (m)	1500	1500	1000	500	200	200

En la siguiente figura se muestra la influencia sobre una columna de humo de diferentes situaciones de estabilidad. La línea a trazos muestra el perfil adiabático seco y la línea continua el perfil real de la atmósfera.

	<p>Abanico o cinta. Comportamiento bajo condiciones estables cuando los contaminantes son emitidos en una inversión de temperatura, normalmente de carácter radiativo. Prácticamente inexistencia de difusión vertical. Se puede observar antes de la salida del sol.</p>
	<p>Fumigación. Se produce cuando el penacho atrapado en un proceso de abanico es arrastrado hacia el suelo como consecuencia de la acción turbulenta de origen convectivo del aire originada por el calentamiento del terreno. Se pueden alcanzar elevadas concentraciones de contaminantes a niveles bajos de la atmósfera.</p>
	<p>Penacho en forma de lazo, rizo o serpenteo. Las condiciones atmosféricas son inestables y provocan un arrastre del penacho por la actividad turbulenta del aire. La dispersión de la contaminación es buena en conjunto. Pueden darse niveles altos de contaminantes en el suelo debido a corrientes descendentes. Con cielos despejados y con velocidades de viento pequeñas o en calma.</p>
	<p>Penacho en forma de cono. Se produce cuando la estratificación atmosférica es neutra. El perfil de temperatura es entre adiabático e isotermo. Días o noches con cielos cubiertos y vientos de moderados a fuertes.</p>

	<p>Perfil elevado. Se produce cuando el perfil de temperatura de la atmósfera muestra una capa de aire inestable sobre una inversión de temperatura en superficie. La dispersión del penacho es rápida y eficaz hacia arriba por encima de la inversión, pero no hacia abajo. Situación transitoria antes de una inversión más profunda</p>
	<p>Atrapamiento. Tiene lugar cuando existe una inversión térmica en altura, por subsidencia anticiclónica o frontal, de forma que el penacho es incapaz de atravesarla y los contaminantes quedan atrapados por debajo de la inversión. Con condiciones anticiclónicas estancadas.</p>

2.4.2 *Procesado de los datos de emisión de las instalaciones*

En este apartado se pueden definir los distintos criterios de aplicación para la determinación de las características del foco emisor de y de los contaminante emitidos.

Se pueden aplicar los criterios legales establecidos en la normativa para determinar la altura teórica de la chimenea, en este sentido, se procedería según los criterios de la Orden 18 de octubre de 1976.

Asimismo, para este caso práctico se ha realizado también un balance de masas de todos los contaminantes de las chimeneas que se quieren unificar para determinar cual es el caudal final de los ratios de emisión de los distintos contaminantes en el foco único que se pretende modelizar. Para la determinación de la carga másica de emisión (g/s) de cada contaminante se multiplicaron los caudales (Nm³/h) y las concentraciones (mg/Nm³) reales de emisión de cada uno de focos, de forma que la suma de los mismos aportará un valor estimativo de emisión de contaminantes al aire ambiente desde el foco único.

En el caso de que no se disponga de las tasas de emisión de los contaminantes a modelizar, se realizará, a través de referencias bibliográficas, un estudio y aproximación de las mismas, aplicando los factores de emisión y las cargas previstas de producción de la instalación. Un ejemplo de estas referencias, es el *Background Report - Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), Fifth Edition. Volume I: Stationary Point and Area Sources. Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency - EPA*

Una vez tratada toda la información, la tabla resultante de aplicación en el modelo es la siguiente:

LOCALIZACIÓN			
UTM X	478136	UTM Y	4490162
HUSO	30N	COTA (m)	624,72

CARACTERÍSTICAS DE LA CHIMENEA					
Altura de la chimenea	65	m	Diámetro interno	3,5	m
Velocidad de salida de los gases	9,37	m/s	Temperatura de salida de los gases	316,02	K
RATIO DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES					
	PARTÍCULAS	NO _x	SO _x	CO	--
(g/s)	5,65	1,89	0,17	1,43	--

2.4.3 Procesado de los datos del terreno y receptores

Partiendo de la información inicial del terreno se debe obtener los archivos de entrada a la aplicación. Admite distintos formatos de entrada. En el caso práctico que nos ocupa la información inicial procede de un MDT, del cual, a través de un sistema de información geográfico y el procesado de este MDT mediante extensiones se ha obtenido el archivo xyz para incluir en el modelo.

Asimismo, se realiza un análisis de los receptores sensibles disponiendo de las coordenadas de ubicación de cada uno de ellos para su inclusión en el modelo como un receptor discreto.

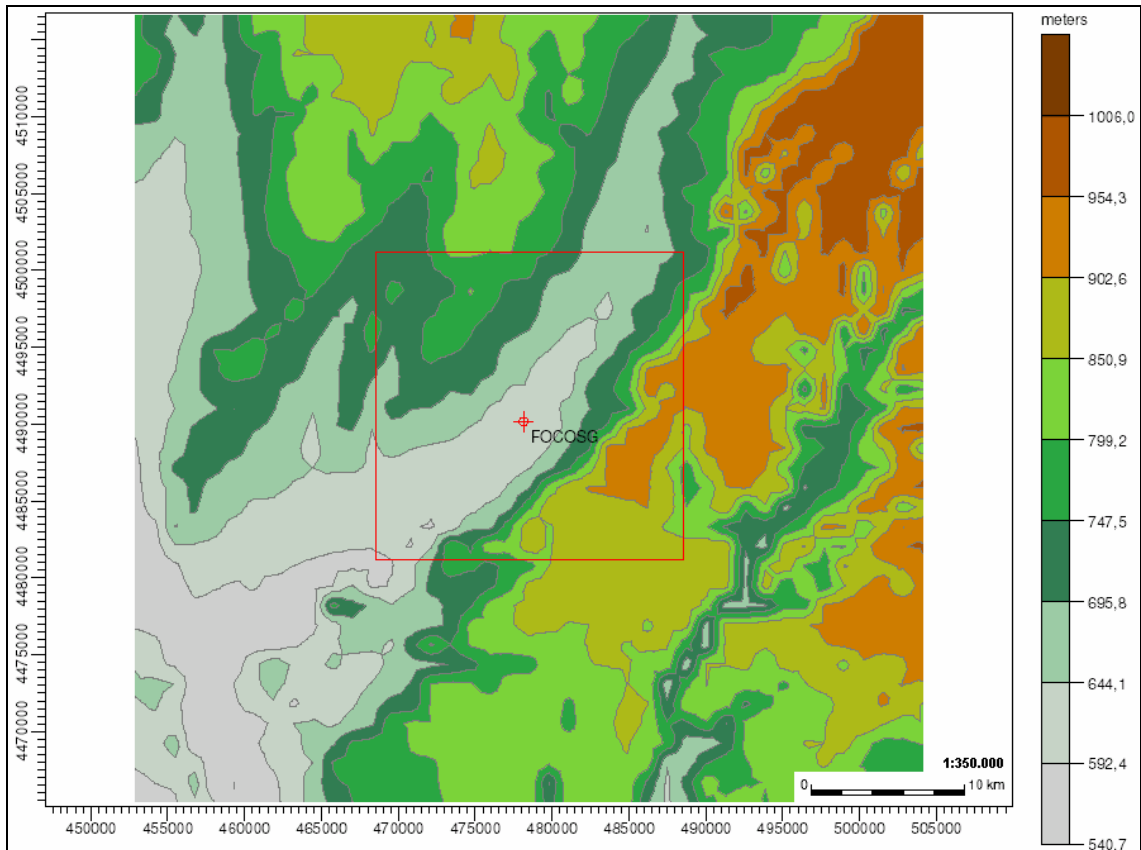
2.5 DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE MODELIZACIÓN

Previo a la ejecución del modelo, incluyendo todos los datos procesados de la información de partida, se debe proceder a definir los distintos criterios de parametrización del mismo.

En este sentido, uno de los principales criterios que hay que estudiar es la definición del dominio espacial de ejecución del modelo, donde afecta el foco emisor. Para definir este área, se pueden tener en cuenta los siguientes criterios. La zona que queremos estudiar debe ser hasta una distancia tal que cubra un área donde se produzcan los máximos de contaminación. De manera teórica, se asignan distintos radios de cobertura en función de la altura de la chimenea del foco emisor:

Altura de la chimenea (m)	Radio (Km)
<50	7
50-100	10
100-150	15
150-200	20
200-250	25-30
250≤	30-50

En nuestro caso el radio definido es de 10 kilómetros, para una altura de chimenea de 65 metros. La zona de estudio que inicialmente se había definido como un área de 50 x 50 kilómetros, se ajustará aun dominio espacial que ocupa un área de 20x20 Km, de forma que la chimenea única (FOCO) queda en el centro del polígono que la define.



De los diversos criterios para la selección de la condición urbana o rural (rugosidad de la superficie, uso de la tierra, densidad de población), se adopta el procedimiento basado en el uso de la tierra. Esta clasificación del terreno como rural o urbano se ha realizado en función del criterio de Auer (1978). Este procedimiento determina el empleo de parámetros de dispersión urbanos en aquellos casos para los cuales el uso de la tierra para más del 50 por ciento de la zona de influencia, corresponde a zonas alta o medianamente industriales, comerciales o de residencias multifamiliares. Dicha zona de influencia queda determinada por un círculo de 3 kilómetros de radio con

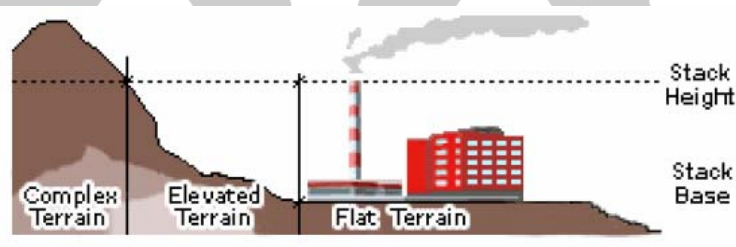


centro en el foco emisor y por la dirección respectiva del viento.

En aquellas situaciones para las cuales la distinción entre zona urbana o rural sea poco clara, deberán analizarse ambas posibilidades. Algunas localizaciones pueden presentar condición urbana para algunas direcciones de viento y rural para otras.

En el caso práctico la definición del uso del suelo se ha realizado mediante el estudio de los usos del suelo, pudiendo establecer, en función de la componente principal del viento (norte), que el uso del suelo es rural, tal y como se puede observar en la siguiente cartografía.

Atendiendo a los criterios sobre la elevación del terreno que establece el modelo, el foco se asienta sobre un terreno elevado de características complejas, ya que la altura del terreno supera la altura de la chimenea en determinadas posiciones del dominio, tal y como se puede observar en el siguiente gráfico de interpretación.



Hay que definir también el tipo y número de receptores para la ejecución del modelo.

Se conoce como receptor a la localización (en coordenadas x,y,z) en la cual se miden o estiman las concentraciones ambientales de los contaminantes de interés.

La ubicación de receptores con respecto al terreno puede considerarse dentro de dos tipos principales: terreno simple o terreno complejo. En el terreno simple todos los receptores se hallan entre la altura de la base y el tope de la chimenea, mientras que en el terreno complejo algunos receptores se encuentran por encima del tope de la chimenea.

La selección de receptores debe proveer un adecuado muestreo de la zona de influencia. Como óptimo se debe utilizar una grilla de paso 50m x 50m en las zonas de máxima concentración esperable, con el objetivo de asegurar la presencia de receptores en dichas áreas, si bien esta mejora en la resolución del resultado empeora los tiempos de ejecución del modelo, no obteniendo en todos los casos unos resultados mejores.

Existen algunas circunstancias bajo las cuales para el cálculo de las concentraciones máximas esperables será necesario considerar ubicaciones especiales de receptores, que

denominaremos críticos. Ejemplos de esto son el caso de terreno simple con elevaciones cercanas menores a la altura de las chimeneas, y la presencia de algún edificio más alto que el resto de la edificación que rodea a la central en estudio.

- Demográfica: núcleos urbanos, población, etc.
- Vegetación y cultivo; dependiendo del tipo de vegetación y cultivo la contaminación causará mayor o menor impacto
- Suelos; el razonamiento es análogo al anterior
- Patrimonio Cultural
- Áreas sensibles en el entorno
- Geografía

En el proceso de modelización se han considerado dos tipos de receptores:

1. Malla cartesiana: la malla cartesiana está compuesta por una trama de 20 Km de lado que comprende un total de 10201 receptores repartidos en 101 filas y 101 columnas con un espacio de separación entre ellos de 200m.
2. Receptores discretos: se han considerado 15 receptores discretos, que corresponden con los núcleos de población situados dentro de la zona de 20 Km en la que se ha desarrollado el modelo.

Los parámetros a modelizar han quedado definidos inicialmente, pero se deben establecer los periodos para los cuales se deben referenciar. Para la aplicación de estos criterios, la normativa legal de referencia es el Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre de 2002, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el Dióxido de nitrógeno, Óxidos de Nitrógeno, Partículas, Plomo, Benceno y Monóxido de Carbono, que refleja la transposición de la Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire.

El Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre de 2002, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el Dióxido de nitrógeno, Óxidos de Nitrógeno, Partículas, Plomo, Benceno y Monóxido de Carbono, establece en sus distintos anexos los valores límites y umbrales para distintos contaminantes:

- Anexo I: Valores límite y umbral de alerta para el Dióxido de Azufre.
- Anexo II: Valores límite para el dióxido de nitrógeno (NO₂) y los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y el umbral alerta para el dióxido de nitrógeno.
- Anexo III: Valores límite para las Partículas (PM₁₀) en condiciones ambientales.
- Anexo VI: Valor límite para el Monóxido de Carbono.

Estos valores límite se expresan en µg/m³, el volumen se normalizará a la temperatura de 293 °K y a la presión de 101.3 kPa. A continuación se describen los límites establecidos en dicho R.D. para cada uno de los contaminantes objeto del presente estudio.

Límites para NO₂ y NO_x

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor límite</i>	<i>Margen de tolerancia para el 1 de enero del 2006</i>	<i>Fecha de cumplimiento del valor límite</i>
Valor límite horario para la protección de la salud humana	1 hora	200 µg/m ³ de NO ₂ , que no podrán superarse en más de 18 ocasiones por año civil ⊃	40	1 de enero de 2010
Valor límite anual para la protección de la salud humana	1 año civil	40 µg/m ³ de NO ₂	8	1 de enero de 2010
Valor límite anual para la protección de la vegetación*	1 año civil	30 µg/m ³ de NO _x	Ninguno	31-octubre-2002

* Para la aplicación de este valor límite se tomarán en consideración los datos obtenidos en las estaciones de medición representativas de los ecosistemas a proteger, si perjuicio, en su caso, de la utilización de otras técnicas de evaluación.

⊃ - El valor del percentil 99,8 obtenido para algunas de las posiciones (ya indicado anteriormente) se refiere a estas 18 ocasiones sobre el total de las 8760.

Límites para SO₂

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor límite</i>	<i>Margen de tolerancia para el 1 de enero del 2006</i>	<i>Fecha de cumplimiento del valor límite</i>
Valor límite horario para la protección de la salud humana	1 hora	350 µg/m ³ , valor que no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil ⊃	---	1 de enero de 2005
Valor límite diario para la protección de la salud humana	24 horas	125 µg/m ³ , valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil	Ninguno	1 de enero de 2005
Valor límite para la protección de los ecosistemas*	Año civil e invierno (del 1 de octubre al 31 de marzo)	20 µg/m ³	Ninguno	31-octubre-2002

* Para la aplicación de este valor límites e tomarán en consideración los datos obtenidos en las estaciones de medición representativas de los ecosistemas a proteger, si perjuicio, en su caso, de la utilización de otras técnicas de evaluación.

⊃ - El valor del percentil 99,7 obtenido para algunas de las posiciones (ya indicado anteriormente) se refiere a estas 18 ocasiones sobre el total de las 8760.

Límites para PM₁₀

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor límite</i>	<i>Margen de tolerancia para el 1 de enero del 2006</i>	<i>Fecha de cumplimiento del valor límite</i>
Fase I 1. Valor límite diario para la protección de la salud humana	24 horas	50 µg/m ³ de PM ₁₀ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año ⊃	---	1 de enero de 2005
Fase I 2. Valor límite anual para la protección de la salud humana	1 año civil	40 µg/m ³ de PM ₁₀	---	1 de enero de 2005
Fase II 1. Valor límite diario para la protección de la salud humana	24 horas	50 µg/m ³ de PM ₁₀ que no podrán superarse en más de 7 ocasiones por año ⊕	Se derivará de los datos y será equivalente al valor límite de la fase I	1 de enero de 2010

Fase II 2. Valor límite anual para la protección de la salud humana	1 año civil	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10}	16	1 de enero de 2010
--	-------------	---	----	--------------------

⊃ - El valor del percentil 99,6 obtenido para algunas de las posiciones (ya indicado anteriormente) se refiere a estas 18 ocasiones sobre el total de las 8760.

⊄ - El valor del percentil 99,9 obtenido para algunas de las posiciones (ya indicado anteriormente) se refiere a estas 18 ocasiones sobre el total de las 8760.

Límites para CO

	Periodo de promedio	Valor límite	Margen de tolerancia para el 1 de enero del 2006	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor límite para la protección de la salud humana	Media de ocho horas máxima en un día	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	---	1 de enero de 2005

La media octohoraria máxima correspondiente a un día se escogerá examinando las medias móviles de ocho horas, calculadas a partir de datos horarios y que se actualizarán cada hora. Cada media octohoraria así calculada se atribuirá al día en que termine el período, es decir, el primer período de cálculo para cualquier día dado será el período que comience a las 17:00 de la víspera y termine a las 1:00 de ese día; el último período de cálculo para cualquier día dado será el que transcurra entre las 16:00 y las 24:00 horas de ese día.

2.6 EJECUCIÓN DEL MODELO

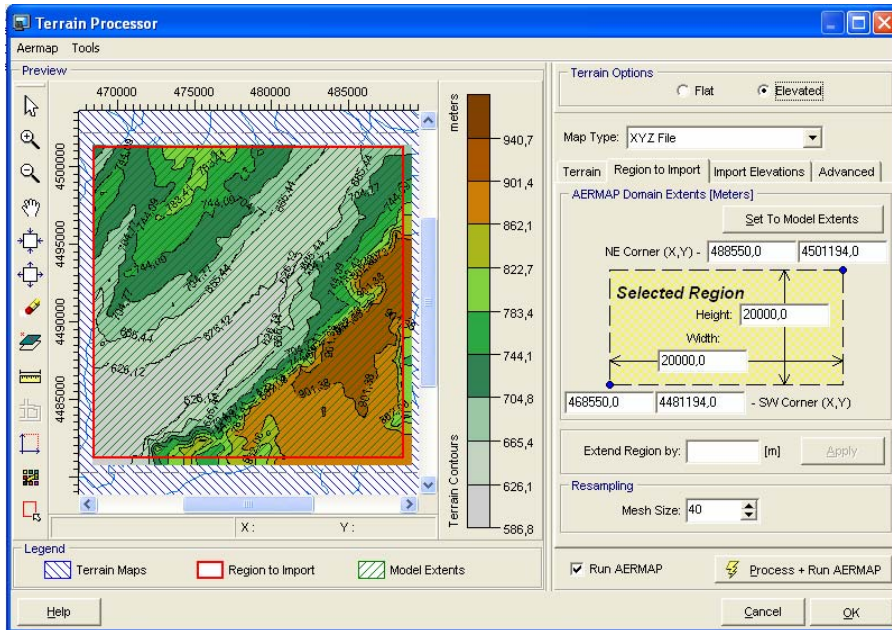
Una vez realizado el tratamiento previo de la información necesaria para ejecutar el modelo, y definidos los criterios básicos que sirvan para parametrizar el modelo, entendiendo por este concepto la ejecución de distintas ecuaciones según opciones definidas en base a criterios técnicos, se debe proceder a la inclusión de forma ordenada de los archivos resultantes según los formatos que la aplicación requiere.

De forma inicial, y una vez tratados los datos del terreno y estudiados los criterios sobre la tipología del mismo, así como el dominio espacial del estudio, se debe incluir y preparar esta información en la aplicación.



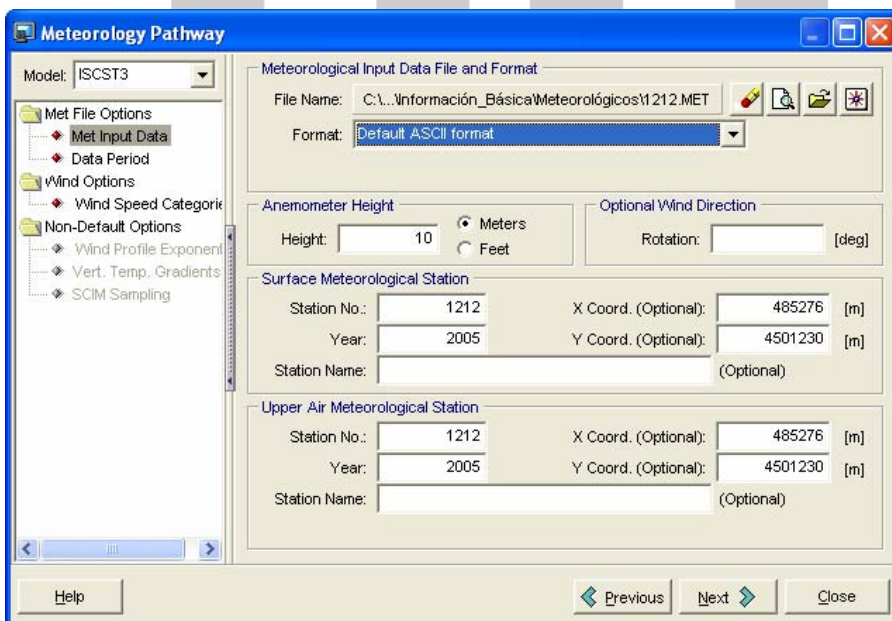
La selección del módulo de procesado del terreno nos requiere el archivo procesado xyz (como opción seleccionada para este caso práctico) y la definición del tipo del modelo.

Una vez incluido el terreno procesado, se debe especificar la región a importar, introduciendo las coordenadas de uno de los vértices y la anchura y altura de la región. Automáticamente se definen las coordenadas del otro vértice.



Una vez que se ha importado la información del terreno y defino el dominio de estudio se debe proceder a la inclusión del archivo con la información meteorológica.

Se debe definir la altura desde el suelo en la que se ubica el anemómetro (generalmente 10 metros)





Se recogen todos los datos de las fuentes definiendo toda la información para cada tipo, con respecto a la localización de la misma y los parámetros contaminantes y características de emisión.

Source Inputs

Source Type
 Type: POINT Source ID: FOCO
 Description: foco único (Optional)

Source Location
 X Coordinate: 478136,00 [m]
 Y Coordinate: 4490162,00 [m]
 Base Elevation: 624,72 [m]
 Release Height Above Ground: 65 [m]

Source Release Parameters
 Emission Rate: 5,65 [g/s]
 Stack Gas Exit Temperature: 316,02 [K]
 Stack Gas Exit Velocity: 9,37 [m/s]
 Stack Inside Diameter at Release Point: 3,5 [m]



Tal y como se ha descrito anteriormente se deben describir los receptores en el modelo. La aplicación permite introducir ilimitados receptores de formas distintas.

Receptor Pathway

Model: ISCST3

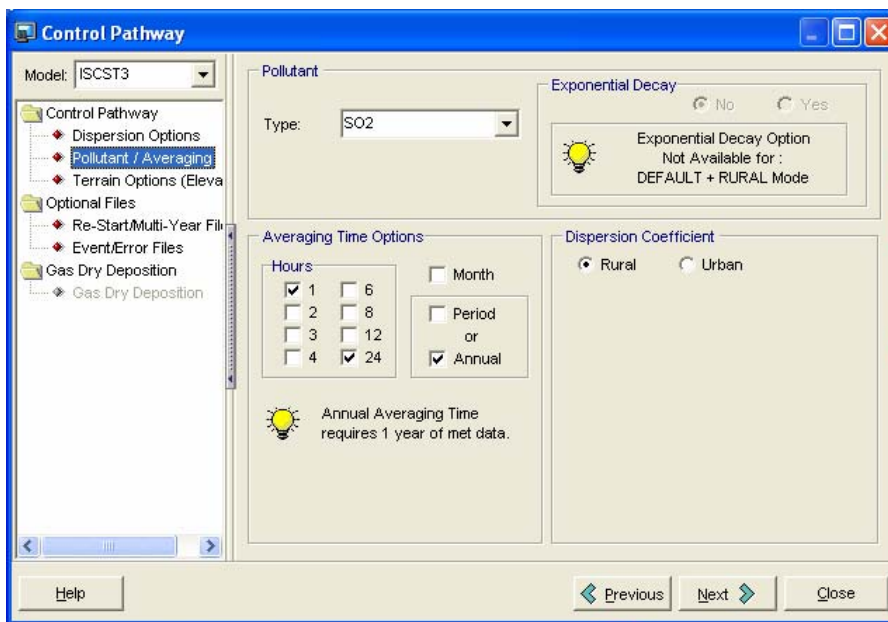
Flagpole Receptors
 Yes Default Height = 0,0 [m]
 No (Default Height = 0.0 m)

Receptor Summary

Receptor Type	No. of Networks	No. of Receptors
Uniform Cartesian Grid	1	--
UCART1	--	10201
Non-Uniform Cartesian Grid	0	--
Uniform Polar Grid	0	--
Non-Uniform Polar Grid	0	--
Multi-Tier Grid (Risk Grid)	--	0
Discrete Cartesian	--	14
Discrete Polar	--	0
Cartesian Plant Boundary	--	0
Cartesian Plant Boundary Intermediate	--	0
Polar Plant Boundary	--	0

No. of Net. 1 No. of Rec. 10215

El programa calcula para cada receptor todas las inmisiones horarias que se producen a lo largo del periodo (8.760 por año) y a partir de esos resultados puede dar la media en 24h, media anual, el máximo absoluto o el percentil 50 (mediana), según proceda y se establezca en la legislación aplicable a cada contaminante. Estos criterios se definen para cada contaminante en la pantalla principal de control.



2.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Como resultado de la modelización se tienen dos tipos de salidas de resultados, una numérica y otra gráfica para cada tipo de contaminante y expresión considerada. Con estos resultados se debe evaluar la situación de la instalación con respecto a la contaminación atmosférica.

Se deben tener en cuenta distintos aspectos, en primer lugar los valores límite de normativa vigente (salud humana, ecosistemas,...), tal y como se ha mostrado anteriormente. En este caso se deben establecer factores de seguridad sobre los límites. Los resultados obtenidos por los modelos de contaminación atmosférica tienen unas incertidumbres mayores que las medidas realizadas de forma directa, por lo que se debería tener en cuenta esta misma incertidumbre a la hora de realizar las valoraciones de incumplimientos.

Se pueden deducir otras conclusiones tales como la adecuación de la altura de chimenea comparándolo con el cálculo teórico realizado por los criterios establecidos por la orden, o el incremento de concentraciones en las estaciones de control de calidad del aire, este último caso únicamente para instalaciones nuevas.

