

► Modelos Matemáticos aplicables a los Impactos Ambientales



Región de Murcia
Consejería de Industria y Medio Ambiente
Dirección General de Calidad Ambiental

Edita:



Región de Murcia
Consejería de Industria
y Medio Ambiente
Dirección General
de Calidad Ambiental

Diseño, realización y producción:
C.P.D. Contraste, S.L.

Depósito Legal:
MU-2.376-2005

Este trabajo trata de ser una recopilación, en cuanto a experiencias relacionadas con los modelos matemáticos de dispersión de contaminantes en el medio ambiente, que han tenido y tienen lugar en el continente americano y europeo, no tratándose en ningún caso de un trabajo concluyente.

Su finalidad principal es la de ofrecer un panorama general de los modelos más destacados y más accesibles; la profundización en su manejo sería objeto de publicaciones más especializadas.

Debido a que la mayor parte de la información recogida en este documento proviene de Internet, siendo ésta una herramienta muy ágil que cambia con mucha velocidad, es posible que algunas de las páginas web citadas se hayan modificado o estén inactivas.

Introducción

Un modelo matemático es una descripción, desde el punto de vista de las matemáticas, de un hecho o fenómeno del mundo real. Así, por ejemplo, desde la evolución del número de habitantes de una ciudad, hasta los fenómenos físicos como la velocidad, aceleración o densidad pueden modelizarse. El objetivo del modelo matemático es entender ampliamente el fenómeno, para así predecir su comportamiento en el futuro.

El proceso para elaborar un modelo matemático es el siguiente:

- ▶ Encontrar en el mundo real un problema.
- ▶ Formular acerca del problema un modelo matemático, identificando variables (dependientes e independientes) y estableciendo hipótesis lo suficientemente simples para tratarse de manera matemática.
- ▶ Aplicar los conocimientos matemáticos que se poseen para llegar a conclusiones matemáticas.
- ▶ Comparar los datos obtenidos como predicciones con datos reales. Si los datos son diferentes, se reinicia el proceso.

Es importante mencionar que un modelo matemático no es completamente exacto; de hecho, se trata de una idealización. Centrándonos ya en el campo medioambiental, si bien es cierto que cualquier simulación matemática de un fenómeno tan complejo como son los procesos de contaminación que suceden en el medio ambiente no será nunca exacta,

no es menos cierto que los resultados de un modelo son un instrumento muy válido en la decisión de la planificación y en la adopción de medidas correctoras, ya que con ellos se identifican y se distinguen aquellas zonas con mayor y menor incidencia de la contaminación procedente de una instalación o instalaciones determinadas.

La aplicación de un modelo de dispersión tiene como objeto la integración de todos aquellos elementos que inciden en el aspecto a estudiar. Así, si consideramos la calidad del aire, se tendrán en cuenta las condiciones climatológicas, la localización de los focos e intensidad de los mismos, situación de los receptores, influencia de la topografía, orografía, etc.

En cuanto a los modelos de dispersión atmosférica, aunque existe una gran variedad de los mismos con diferente grado de sofisticación, su utilización práctica con propósitos regulatorios sigue centrándose, tanto en Europa como en Estados Unidos, en los modelos de penacho gaussiano. Otros modelos (lagrangianos de estructuras, de partículas, eulerianos...) se aplican a análisis particulares de la dispersión y transformación de contaminantes, en áreas o problemas concretos, debido a sus elevados requerimientos, tanto de cálculo como de información de entrada.

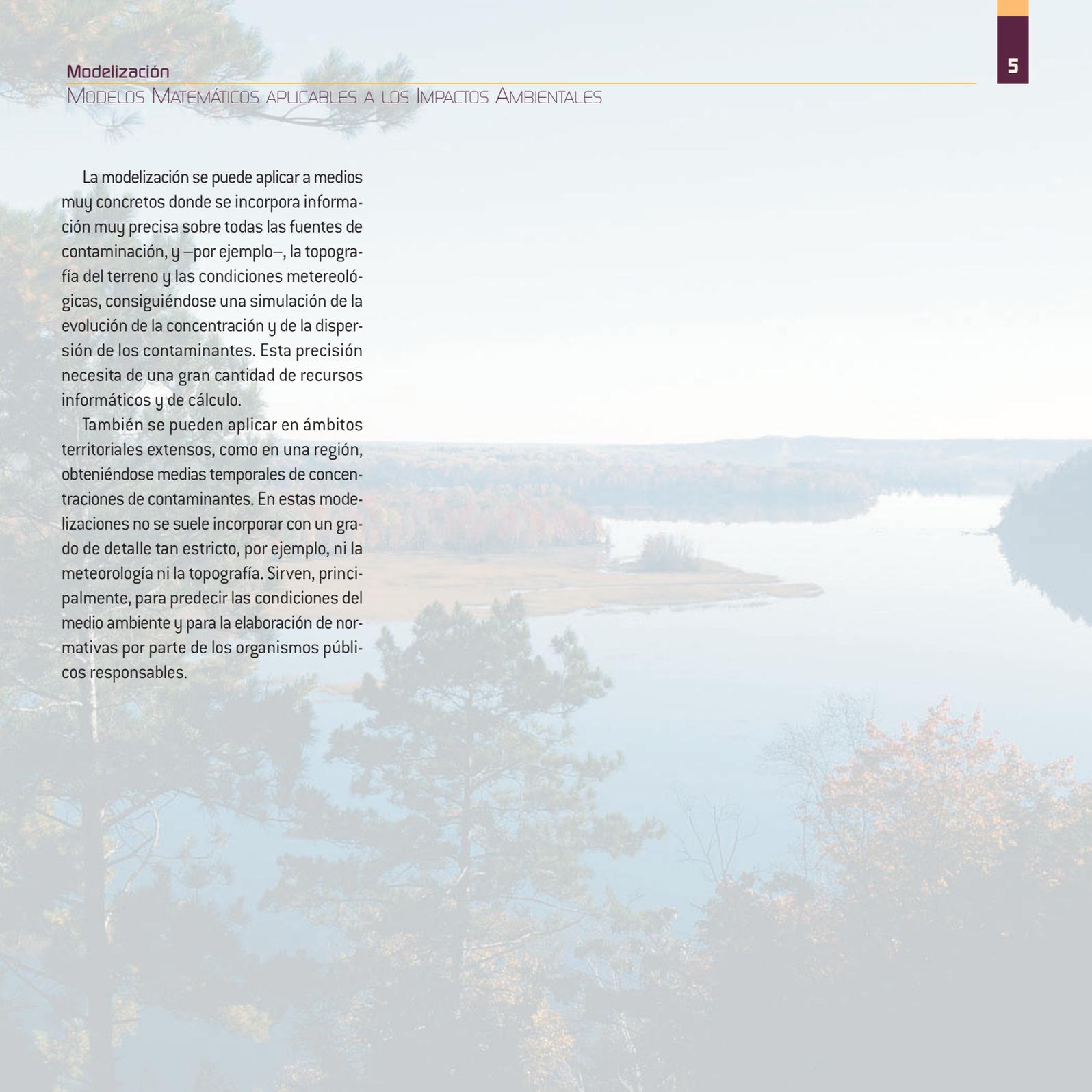
Los modelos de dispersión atmosférica se aplican a una fuente puntual (chimenea), a una fuente lineal (carretera, motores) o a fuentes de área (que se modelan con un gran número de fuentes puntuales).

Modelización

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

La modelización se puede aplicar a medios muy concretos donde se incorpora información muy precisa sobre todas las fuentes de contaminación, y –por ejemplo–, la topografía del terreno y las condiciones meteorológicas, consiguiéndose una simulación de la evolución de la concentración y de la dispersión de los contaminantes. Esta precisión necesita de una gran cantidad de recursos informáticos y de cálculo.

También se pueden aplicar en ámbitos territoriales extensos, como en una región, obteniéndose medias temporales de concentraciones de contaminantes. En estas modelizaciones no se suele incorporar con un grado de detalle tan estricto, por ejemplo, ni la meteorología ni la topografía. Sirven, principalmente, para predecir las condiciones del medio ambiente y para la elaboración de normativas por parte de los organismos públicos responsables.



Índice**MODELIZACIÓN**

▶ Modelos CERC (Reino Unido)	8
▶ Modelos EPA. Environmental Protection Agency (EEUU)	9
▶ Environmental Software and Services (ESS) (Austria)	13
▶ Canaria Software Ambiental (España)	15
▶ Department of Atmospheric Environment (ATMI). National Environmental Research Institute (NERI) (DINAMARCA)	16
▶ Canadian Meteorological Centre (CMC). Environment Canada (Canadá)	18
▶ Software de ingeniería civil y ambiental. BOSS International	18
▶ BEE-Line Software (EEUU)	20
▶ Troposfera.org (España)	20

APÉNDICE I: EJEMPLOS DE EXPERIENCIAS EN ESPAÑA

1. Adaptación de modelos de dispersión atmosféricos para su utilización con fines regulatorios. Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA)	24
2. Desarrollo del modelo EMICAT2000 para la estimación de emisiones de contaminantes del aire en Cataluña y su uso en modelos de dispersión fotoquímica	25
3. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia	27
4. Grupo de modelos y software para el medio ambiente. Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid	28
5. Grupo de Análisis y Gestión Ambiental (AGA). Departamento de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química de Tarragona. Universidad Rovira i Virgili	28
6. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Ministerio de Educación y Ciencia	29
7. Modelos de difusión atmosférica. Área de Proyectos de Ingeniería. Escuela de Minas. Universidad de Oviedo	34
8. La calidad del aire cerca de las carreteras. Instituto de Ciencia y Tecnología ambientales (ICTA). Universidad Autónoma de Barcelona	35
9. Normas Técnicas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales	36

Modelización

1. Modelos CERC (Reino Unido)

Entre los modelos encontrados en el Reino Unido nos encontramos los CERC¹, que se formó en 1986 con el propósito de hacer uso de los nuevos desarrollos en la investigación medioambiental de la Universidad de Cambridge y de otros organismos.

CERC desarrolla modelos de software (modelos basados en Windows), concentrando su atención en áreas de particular importancia: dispersión de la contaminación, calidad del aire y fugas de sustancias gaseosas peligrosas. El más conocido de estos modelos es el Atmospheric Dispersion Modelling System (ADMS), del cual hay un significativo número de usuarios en todo el mundo.

Se puede encontrar información adicional sobre estos modelos en la siguiente página web:

<http://www.cerc.co.uk/software>

1.1. Modelos de dispersión en atmósfera

a) ADMS 3

Evalúa el impacto y el riesgo ambiental de las emisiones atmosféricas de las **industrias** objeto de estudio:

- ▶ Dispersión de penachos industriales: SO₂, CO, NO_x, partículas, metales, dioxinas.
- ▶ Impacto de las emisiones difusas (COV) y accidentales (explosión e incendio).
- ▶ Comparación directa con los valores reglamentarios.
- ▶ Evaluación del riesgo industrial.

Entre las fuentes que modela nos encontramos: chimeneas, zonas industriales, carreteras, etc. Calcula la trayectoria de penachos a la salida de la chimenea teniendo en cuenta situaciones meteorológicas complejas, los efectos aerodinámicos generados por obstáculos presentes en el lugar (ej.: edificios), los efectos producidos por la superficie (tierra/mar, naturaleza del suelo, relieve) y la influencia de la turbulencia sobre la dispersión a corto plazo (cálculo en tres dimensiones de la rosa de los vientos).

b) ADMS-Urban

Modelo que se utiliza para la gestión y la evaluación de la calidad del aire en **ciudades**, pequeñas poblaciones, provincias, autopistas y áreas industriales. Se utiliza en mayor medida en ciudades, para comparar los niveles de contaminación con los niveles estándar de calidad del aire.

c) ADMS-Roads

Modelo para evaluar las emisiones del **tráfico rodado** y un pequeño número de fuentes industriales.

d) ADMS-Screen

Es un modelo de fácil uso para la evaluación rápida del impacto en la calidad del aire por **una única fuente** (ej.: una chimenea industrial).



1. Siglas de Cambridge Environmental Research Consultants.

Modelización

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

e) EMIT

Gestión y cálculo de las emisiones tóxicas locales y gases de efecto invernadero. EMIT es una herramienta para el **inventario de emisiones**. Puede ser utilizada para almacenar, manipular y evaluar los datos de las emisiones procedentes de una variedad de fuentes. Los datos de las emisiones pueden ser utilizados para:

- ▶ Estudios de contaminación local por contaminantes tóxicos.
- ▶ Inventarios de emisiones de gases invernadero.
- ▶ Estimar emisiones para las aplicaciones IPPC.
- ▶ Estudio de los mapas de ruido de tráfico rodado.

EMIT es particularmente útil para probar el panorama de emisión-reducción, por ejemplo, para investigar el efecto de zonas de baja emisión en áreas urbanas, y los caminos para reducir las emisiones de gases invernadero como un paso hacia el cumplimiento de la Agenda 21 o los Objetivos de Kyoto.

1.2. Modelización de fugas accidentales de sustancias peligrosas

a) GASTAR

Modelo de dispersión de gases densos en **fugas accidentales**.

2. Modelos EPA. Environmental Protection Agency (EEUU)

En este documento se realiza una breve recopilación de algunos modelos más representativos desarrollados por este organismo.

Estos modelos se pueden consultar en la siguiente página web:

<http://cfpub.epa.gov/crem/>

En algunas de sus páginas se puede descargar el modelo ejecutable, su descripción y un manual de usuario.

Determinadas empresas u organismos han trabajado en el desarrollo de estos proyectos, así, Lakes Environmental es la empresa que desarrolló ISCST (dispersión atmosférica) y Aer-Mod para la US-EPA: <http://www.weblakes.com/>.

2.1. Modelos de dispersión en atmósfera

Estos modelos se pueden consultar en la siguiente página web²:

<http://www.epa.gov>

a) BLP (Bouyant Line and Point Source Model)

Modelo de dispersión del penacho gaussiano a partir de una fuente lineal fija, diseñado para modelar los problemas asociados con industrias.

b) CALINE3

Modelo de dispersión diseñado para determinar la concentración de contaminantes en la vía pública en la dirección del viento.

². La ruta completa es: http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm

c) CALPUFF

Simula los efectos de las condiciones meteorológicas sobre el transporte, transformación y eliminación de sustancias, teniendo como variables el tiempo y el espacio. Puede ser aplicado a escalas entre diez y cientos de kilómetros.

d) CTDMPPLUS (Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations)

Un modelo de calidad del aire gaussiano para utilizar en todas las condiciones de estabilidad en terrenos complejos.

2.2. Modelos de dispersión en agua superficial

Se utilizan para la modelización de la concentración y del movimiento de contaminantes en aguas embalsadas, corrientes de agua, estuarios y medios marinos. Con estos modelos los investigadores pueden comprender mejor cómo la exposición a los contaminantes afecta al medio ambiente acuático.

a) CORMIX

CORMIX puede predecir una mezcla de comportamientos de distintos tipos de residuos procedentes de: la refrigeración por agua de centrales eléctricas, desalinizadoras, aguas residuales municipales o penachos atmosféricos térmicos. También puede ser aplicado a lo largo de una amplia gama de condiciones ambientales.

b) EXAMS (Exposure Analysis Modeling System)

EXAMS es un software interactivo que modeliza los ecosistemas acuáticos y evalúa el transporte y la exposición a concentraciones de sustancias sintéticas orgánicas, incluyendo plaguicidas, materiales industriales y lixiviado de residuos.

c) GCSOLAR

GCSOLAR es un conjunto de rutinas que computeriza los porcentajes de fotólisis y la vida media de los contaminantes en el medio acuático. La vida media es calculada en función de la estación, latitud, profundidad en el agua y otros factores.

d) HSCTM2D (Hydrodynamic, Sediment and Contaminant Transport Model)

Es un modelo que simula el transporte de los sedimentos y los contaminantes en dos dimensiones, la vertical y el flujo horizontal (típico de hidrodinámicas de ríos y estuarios). Incluye un ejemplo-problema. Es un modelo que puede ser utilizado para simular tanto a corto plazo (menos de un año) como a largo plazo los porcentajes de sedimentación y erosión y el transporte de contaminantes.

e) HSPF (Hydrological Simulation Program)

Es un modelo de simulación hidrológico en una línea de cambio de vertiente y de calidad del agua en cuanto a los contaminantes convencionales y los orgánicos tóxicos. Este

modelo permite la simulación integrada de los procesos de percolación de contaminantes en los suelos con las interacciones químicas e hidrológicas. El resultado de esta simulación es un historial del porcentaje del flujo percolado, carga de sedimentos y concentraciones de nutrientes y plaguicidas, junto con un historial de la cantidad y la calidad de agua en cualquier punto de una línea de cambio de vertiente.

f) PLUMES

PLUMES está diseñado para modelizar la dilución de columnas de humo emitidas al mar o al agua dulce.

g) PRZM

Con este modelo se predice el transporte y la transformación de los plaguicidas en la zona radicular de los cultivos. PRZM es capaz de simular el transporte y la transformación de los compuestos primarios y hasta dos especies secundarias.

Incluye la capacidad de modelizar fenómenos tales como la temperatura del suelo, volatilización y fase de transporte de vapor en suelos, riego transformación microbiana, además de un método de características algorítmicas para eliminar la dispersión numérica.

h) QUAL2EU (Enhanced Stream Water Quality Model)

Es un modelo sobre el estado de los contaminantes convencionales en las corrientes

de agua y a nivel superficial en aguas embalsadas. Puede ser utilizado como un modelo estático o dinámico. Se utiliza como una herramienta de trabajo para evaluar la calidad del agua y el impacto de la carga contaminante.

i) SED3D (Three-Dimensional Numerical Model of Hydrodynamics and Sediment Transport in Lakes and Estuaries)

Simula el flujo y el transporte de sedimentos en aguas embalsadas, estuarios, puertos y aguas costeras. Es un modelo dinámico que simula el transporte de los sedimentos a través del agua debido al viento, marea, corrientes de agua dulce y gradientes de densidad con la influencia de la aceleración de Coriolis, la profundidad y la geometría de la costa.

j) SMPTOX3 (Simplified Method Program-Variable Complexity Stream Toxics Model)

Proporciona una técnica para calcular las concentraciones de las sustancias tóxicas (procedentes de un punto de descarga) en la columna de agua y en el lecho del río. Además de las concentraciones de contaminantes, predice los sólidos totales.

k) SWMM (Storm Water Management Model)

Modelo para el análisis cuantitativo y cualitativo de los problemas asociados con la percolación urbana. Se pueden realizar simulaciones singulares y continuas en una cuenca a partir del conocimiento del alcantarillado y/o del drenaje natural, prediciendo los caudales, las eta-

EPA Exposure Assessment Models: Visual Plumes -
 Archivo Edición Ver Favoritos Herramientas Ayuda
 Atrás · Búsqueda · Favoritos · Multimedia
 Dirección: <http://www.epa.gov/ceampub/ewater/vplume/index.htm>

Download Files

File Type / Priority	File Name / Format / Size	File Description
Install / Required	INSTALL VPLUME EXE / Self-extracting Zip / 5.6 MB	Setup file for version 1.0 of the Visual Plumes system. Use this for new installs. See README.TXT for installation instructions.
Update / Optional	UPDATE VPLUME EXE / Self-extracting Zip / 0.6 MB	Components needed to update to the most recent version (August 14, 2001). Use only with a previously installed version of Visual Plumes. See README.TXT for installation instructions.
Document / Recommended	vp-Manual.pdf / Adobe Acrobat / 6.0 MB	Dilution Model Effluent Dilution 4th Edition Plumes 1.0 (PDF, 137

► Visual Plumes.

pas y las concentraciones de los contaminantes. Se pueden simular todos los aspectos del ciclo hidrológico, incluyendo la lluvia, nieve fundida, percolación, caudal de la red de drenaje, almacenamiento y tratamiento. El modelo puede ser utilizado para la planificación o el diseño de ciudades.

l) TMDL USLE (Total Maximum Daily Load Universal Soil Loss Equation)

Es una aplicación de software para estimar la carga de sedi-

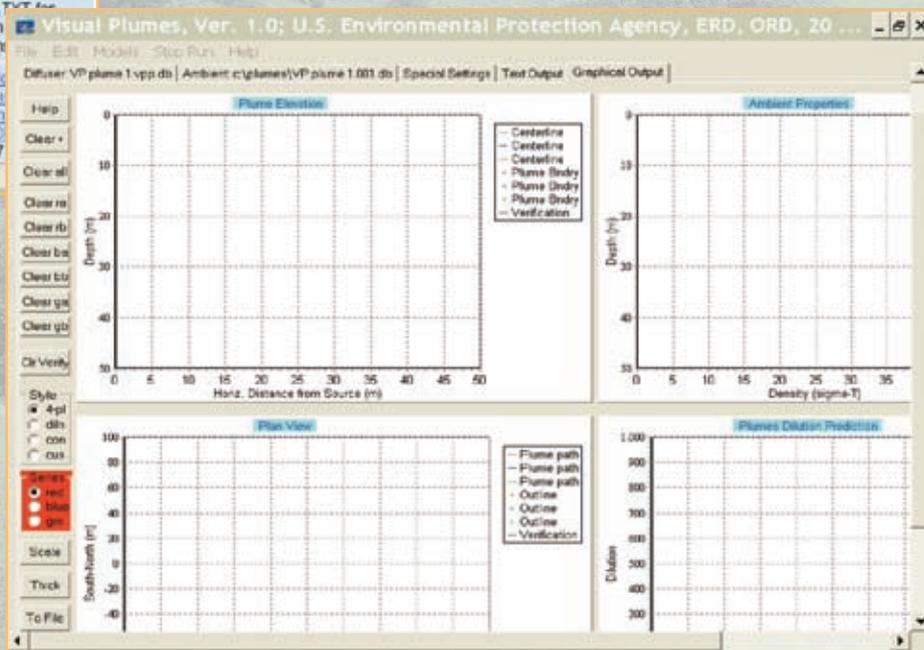
mentos difusos en el marco de una línea de cambio de vertiente. La interfaz del usuario es similar a una hoja de cálculo.

m) VISUAL PLUMES

Es una aplicación de software basada en Windows para simular la superficie del chorro de agua y el penacho. También analiza, en la zona de mezcla, la carga diaria máxima total y otras aplicaciones de calidad del agua.

n) WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)

Es un marco generalizado para la modelización del transporte y destino de los conta-



► Visual Plumes.

Modelización

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

minantes en aguas superficiales. Entre los problemas estudiados están: la demanda bioquímica de oxígeno, la dinámica de los nutrientes en cuanto al oxígeno disuelto, la eutrofización, la contaminación bacteriana y la contaminación por compuestos orgánicos y metales pesados.

3. GAIA. Environmental Software and Services (ESS). (Austria)

ESS es una empresa que desarrolla proyectos de formación técnica interactiva por Internet. Uno de ellos es GAIA. Los objetivos de GAIA son la planificación y la gestión medioambiental, así como la información tecnológica. Colabora con 10 países de Europa, África, Asia y Latinoamérica, en la creación de herramientas multimedia para la gestión y educación medioambiental.

La página trata de cubrir el dominio de los problemas medioambientales, intentando completar la información que ya está disponible en la web. La descripción de cada modelo se enriquece por una serie de referencias como bibliografía relevante para el desarrollo del modelo y estudios en los que el modelo ha sido aplicado. Esta documentación conforma las mejores indicaciones para saber si el modelo puede ser aplicado en otras condiciones. También hay referencias en cuanto a la disponibilidad del modelo.

Se puede encontrar información adicional sobre estos modelos en la siguiente página web³:

<http://www.ess.co.at>

Muchos de los modelos de esta sección son de dominio público. El correspondiente software puede ser descargado desde varios sitios de la web.

3.1. Modelos de dispersión en atmósfera

En este bloque podemos encontrar 27 modelos. Aquí se hará una breve referencia a 5 de ellos:

a) CALINE-3

Modelo de dispersión para predecir los niveles de contaminación del aire en las grandes vías de tráfico y las calles adyacentes.

b) CDM (Climatological Dispersion Model)

Modelo gaussiano, calcula los porcentajes de contaminación del aire de un área urbana en un plazo largo de tiempo (anual y mensualmente).

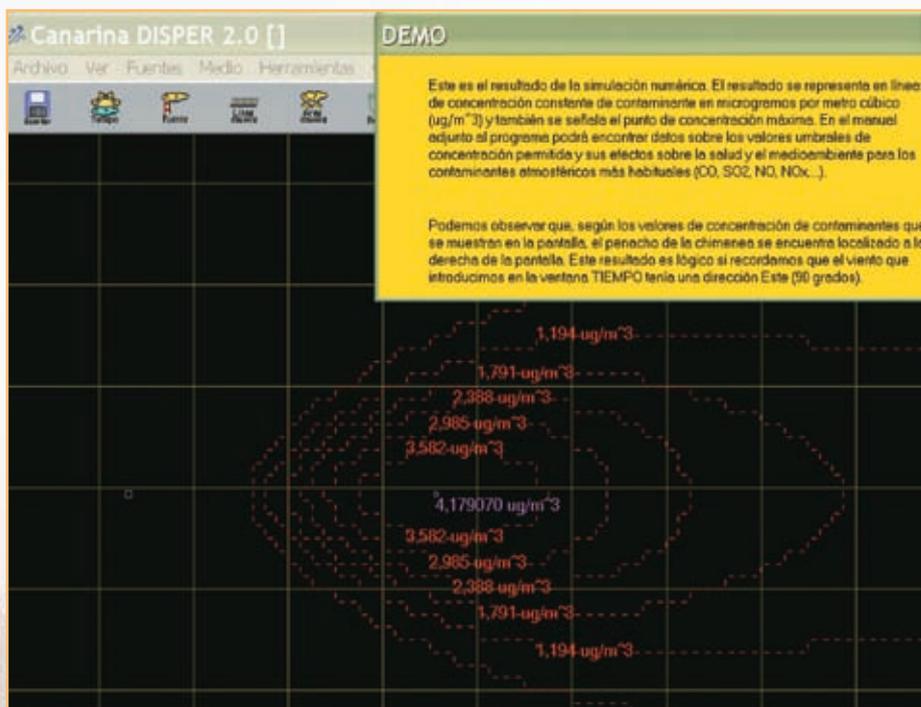
c) CRSTER (Single Source Dispersion Model)

Modelo gaussiano estacionario que computeriza las concentraciones en unos puntos (máx. 19) del área rural o urbana.

d) HIWAY (Highway Air Pollution Model)

Modelo desarrollado por EPA para la evaluación de la contaminación del aire en

3. La ruta completa es: <http://www.ess.co.at/GAIA/models.html>



► Software Disper.

una autopista y para unas condiciones dadas de tráfico. No adecuado si existen obstáculos grandes (edificios, áreas de arbolado) o terrenos complejos.

e) VALLEY (Multiple Point and Area-Source Gaussian Plume Dispersion Model)

Es un modelo de contaminación diseñado específicamente para los terrenos complejos de áreas montañosas. Puede considerar múltiples puntos o bien un área, y trabaja para un periodo de 24 horas o anualmente.

3.2. Modelos de dispersión en agua subterránea

Existen 14 modelos. Aquí reseñamos 5 de ellos:

a) FEMSEEP (A Finite Element Groundwater Flow and Transport Model)

Modelo de simulación del flujo y contaminación de agua subterránea.

b) FlowPath (Groundwater Flow and Pathlines Simulation Model)

FLOWPATH es una herramienta de simulación de un acuífero en dos dimensiones.

c) GWP (Groundwater Pollution and Hydrology Analysis Models)

GWP es un juego de 7 modelos analíticos para evaluar la contaminación y el flujo del agua subterránea.

d) MOC (Method Of Characteristics)

MOC permite la simulación de un contaminante en la zona saturada de un acuífero confinado. El acuífero puede no ser homogéneo.

e) SUTRA (Saturated-Unsaturated Finite-Element Transport Model)

SUTRA es un modelo de flujo y calidad del agua subterránea desarrollado por U.S. Geological Survey. Simula el transporte de solutos en medios saturados e insaturados.

3.3. Modelos en agua superficial

De los 13 modelos, hacemos una breve descripción de 3 de ellos.

Modelización

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

a) HEC-1 (Flood Hydrograph Package)

HEC es el primero de una serie de programas hidrológicos desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros de las Fuerzas Armadas de EEUU. Simula la relación lluvia-percolación en una cuenca, incluyendo los embalses.

b) HEC-3 (Reservoir System Analysis for Conservation)

El programa HEC-3 permite la simulación de un pantano de agua: bajo flujo de aumento, navegación, proveedor de agua para la agricultura y producción hidroeléctrica.

c) SHP (Stream Hydraulic Package)

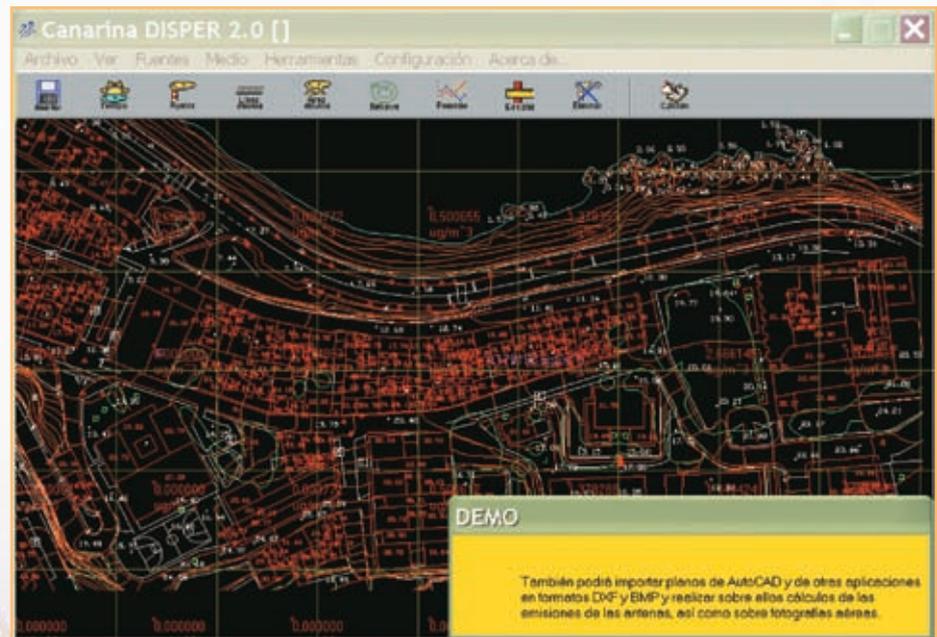
SHP es un programa simulador de la corriente del río que modela regímenes estables e inestables.

4. Canaria Software Ambiental (España)

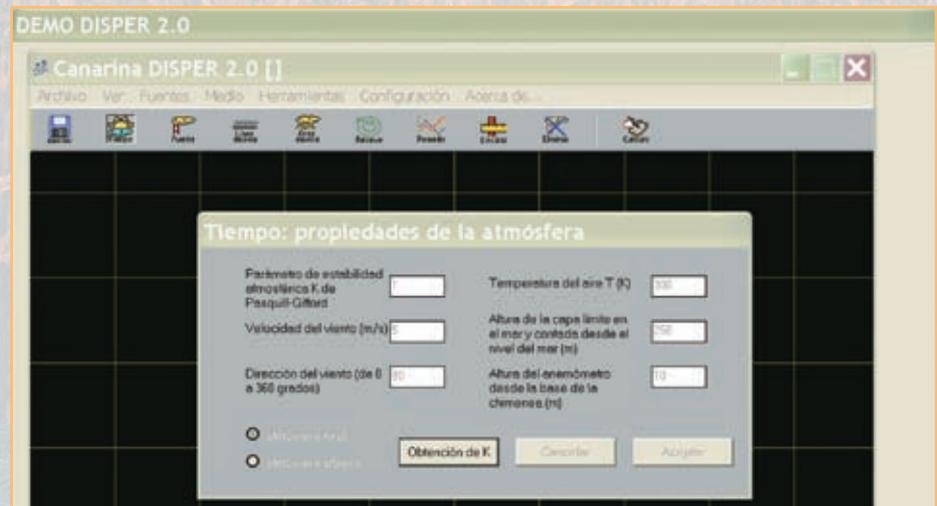
Se trata de una empresa radicada en Santa Cruz de Tenerife (España) que comercializa software para evaluar la contaminación en el medio ambiente: impacto ambiental, ingeniería ambiental, auditoría medioambiental y gestión ambiental en general.

Se puede encontrar información adicional sobre estos modelos en la siguiente página web:

<http://www.canarina.com>



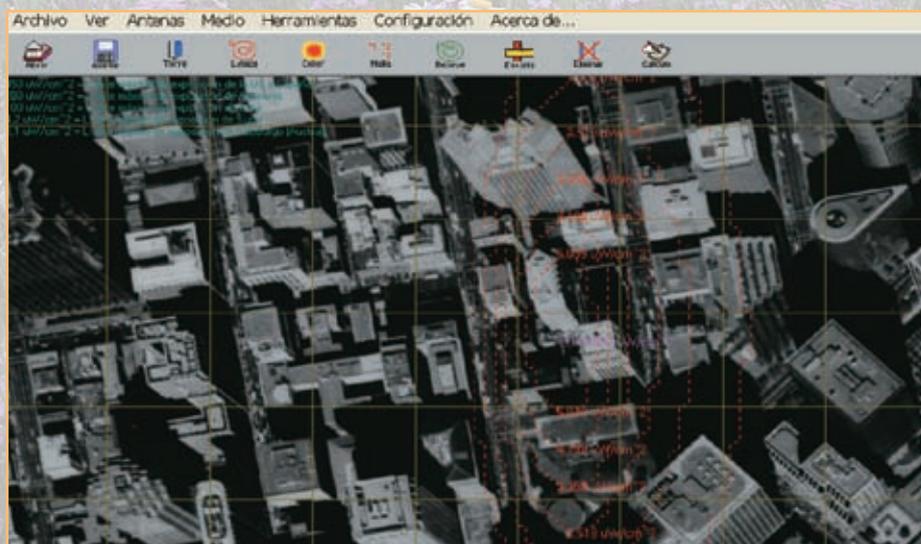
► Software Disper.



► Software Disper.



► Software Custic.



► Software Radia.

4.1. Modelos de dispersión

a) DISPER 2.1

Software para evaluar la contaminación atmosférica en el medio ambiente.

b) CUSTIC 1.0

Software para evaluar la contaminación acústica producida por obras, industrias, talleres, carreteras, vías férreas y aeropuertos.

c) DESCAR 1.0

Software para evaluar la dispersión de contaminantes en el agua producida por emisarios submarinos.

d) RADIA 1.1

Software para evaluar la contaminación electromagnética producida por las estaciones base de la telefonía móvil y sus posibles efectos sobre la salud.

5. Department of Atmospheric Environment (ATMI). National Environment Research Institute (NERI) (Dinamarca)

El Instituto Nacional de Investigación Medioambiental es un instituto de investigación independiente dentro del Ministerio danés de Medio Ambiente. Su finalidad es proveer de bases científicas para la toma de decisiones en materia medioambiental a nivel político, administrativo y comercial.

NERI desarrolla y mantiene varios mode-

Modelización

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

los de dispersión atmosférica. Algunos de estos modelos son requeridos por muchos usuarios, mientras que otros sirven principalmente a nivel de investigación.

Se puede encontrar información adicional sobre estos modelos en la siguiente página web⁴:

<http://www2.dmu.dk>

Para algunos de los modelos se pueden encontrar resultados, describiendo el nivel de contaminación del aire en Dinamarca y en los países vecinos.

5.1. Modelos de dispersión en atmósfera

Se pueden encontrar los siguientes modelos de dispersión:

a) THOR

THOR es un sistema de pronóstico de contaminación del aire con una periodicidad de tres días.

b) OML

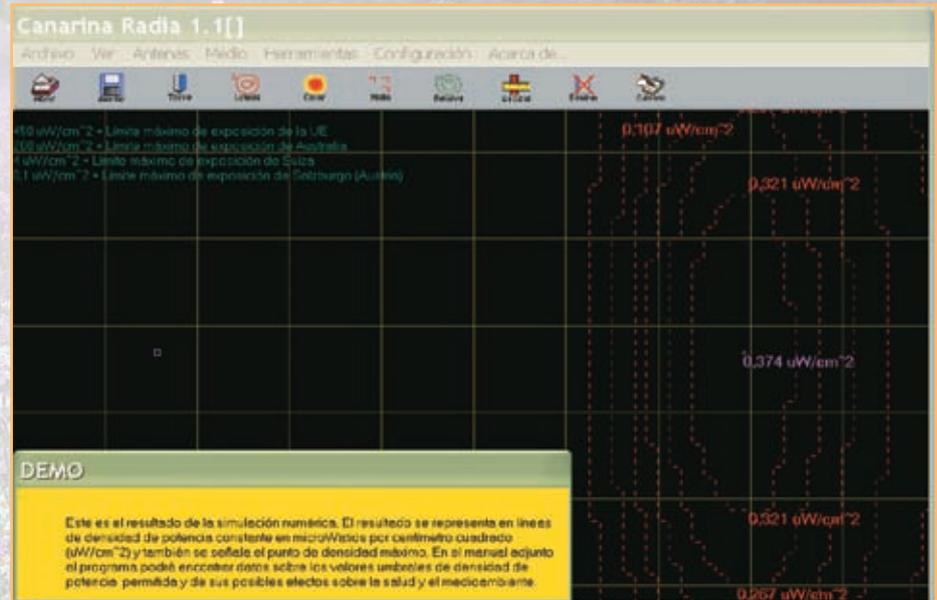
Modelo de dispersión atmosférico.

c) OSPM (Operational Street Pollution Model)

Modelo que puede ser utilizado para evaluar la contaminación resultante del tráfico en las calles.

d) DEM (Danish Eulerian Model)

Es un modelo que estudia fenómenos relacionados con el transporte de contaminan-



► Software Radia.

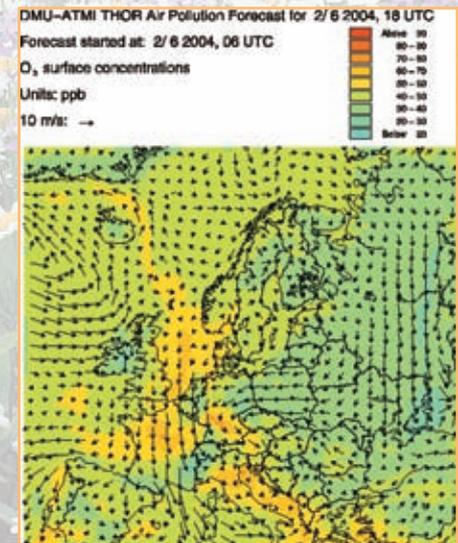
tes en la atmósfera. El dominio de espacio incluye toda Europa.

e) DREAM (Danish Rimpuff and Eulerian Accidental Release Model)

Modelo desarrollado para el estudio del transporte, dispersión y deposición de la contaminación del aire causada por una única pero gran fuente, por ejemplo, un accidente similar al de Chernobil.

f) ACDEP

Modelo lagrangiano. El modelo es utilizado para computerizar la deposición de nitróge-



► Pronóstico de la contaminación del aire para Europa.

4. La ruta completa es: http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_spredningsmodeller/default_en.asp

no en las aguas marinas y para evaluar la contribución a la deposición desde varias áreas y tipos de fuentes. El modelo contiene un mecanismo químico detallado con 37 especies y 80 reacciones.

6. Canadian Meteorological Centre (CMC). Environment Canada (Canadá)

El Centro Meteorológico de Canadá proporciona guías de pronóstico a centros de predicción nacionales y regionales. Depende del Servicio Meteorológico del Canadá (MSC), y éste, a su vez, del Ministerio de Medio Ambiente.

En esta página⁵,

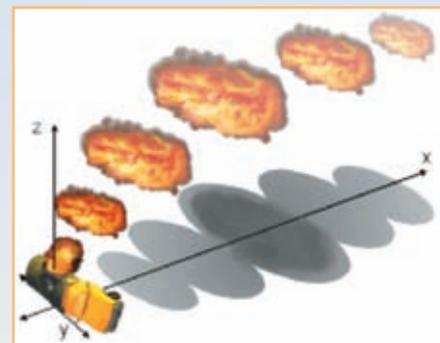
<http://www.cmc.ec.gc.ca>, podemos encontrar información del modelo CHRONOS.

7.1. Modelo fotoquímico

a) CHRONOS (Canadian Hemispheric and Regional Ozone and NO_x System)

La predicción de elevadas concentraciones de ozono troposférico asociadas con episodios de smog fotoquímico es un problema central en el campo de la modelización de la calidad del aire.

Este modelo euleriano fotoquímico ha sido diseñado para la predicción de oxidantes atmosféricos a escalas regional y hemisférica, como el ozono troposférico.

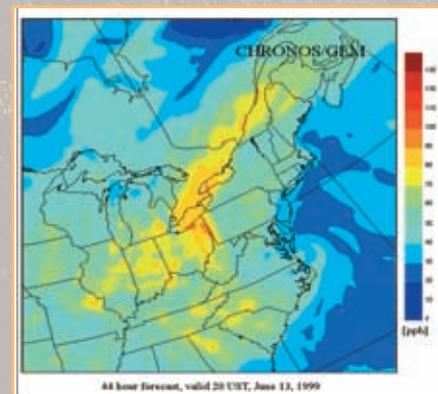


7. Software de Ingeniería Civil y Ambiental. BOSS International

Se puede encontrar información adicional sobre estos modelos en la siguiente página web:

<http://www.bossintl.co.uk/es/>

Fundada en 1986, BOSS International es una empresa que desarrolla su actividad en el campo del software hidrológico e hidráulico, consultoría técnica, librería y fórum de



5. La ruta completa es: <http://www.cmc.ec.gc.ca/ffarqidor/>

► Ejemplo de pronóstico de ozono.

Modelización

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

discusión para profesionales de la ingeniería civil y ambiental.

BOSS International ofrece una amplia gama de programas para modelización de terrenos, aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas residuales:

7.1. Modelos de dispersión en aguas subterráneas

Flujo de agua subterránea, transporte de contaminantes, recuperación de terrenos:

▲ **Visual MODFLOW**. Es un modelo estándar de la industria para aplicaciones en 3D de transporte de contaminantes y flujo de agua subterránea.

▲ **FEFLOW** (Flujo de Elemento Finito). Es uno de los paquetes de modelización de agua subterránea más sofisticado que existe. El programa proporciona un avanzado entorno basado en gráficos 2D y 3D para realizar flujos complejos de aguas subterráneas, transporte de contaminantes y transporte de calor.

7.2. Modelización de aguas superficiales

Ingeniería hidráulica, cálculo de la propagación de crecidas, modelaje de puentes y alcantarillas:

▲ **RMS** (Sistema de Modelización Fluvial). Calcula perfiles de superficies de agua para la planificación de puentes, erosión de puentes, alcantarillas, barreras, vertederos, presas, delimitación de vías de desagüe de crecidas,

recuperación de llanuras inundadas, mejoras de canales y ramificación de flujos.

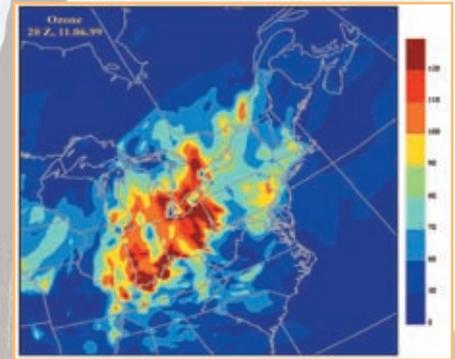
▲ **RiverCAD**. Es un sofisticado software de modelización fluvial. BOSS RiverCAD puede calcular perfiles de superficies de agua para la planificación de puentes, alcantarillas, vertederos, presas, erosión de puentes, delimitación de vías de desagüe de crecidas, recuperación de llanuras inundadas, desviaciones de cauce, mejoras de canales y ramificación de flujos.

▲ **HEC-RAS**. Está basado sobre el modelo HEC-RAS de perfil de superficie del agua del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, utilizado para modelizar flujos unidimensionales de variación gradual constantes, en canales fluviales naturales o hechos por el hombre.

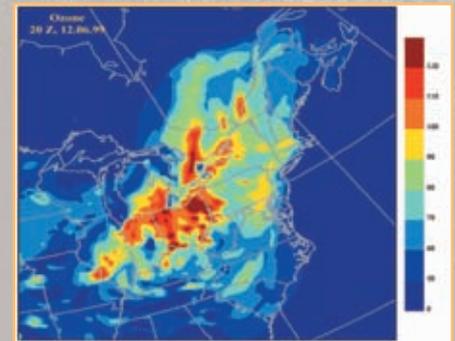
▲ **DAMBRK**. Es el software de cálculo de propagación de crecidas hidrodinámico y unidimensional más avanzado y fácil de usar. El software da cuenta de fallos en puentes y diques, efectos de almacenaje, flujos de llanuras de inundación y atenuación de ondas de crecidas. DAMBRK es utilizado para el cálculo dinámico de la propagación de crecidas, análisis de la seguridad de presas y análisis y diseño de derrames de embalses.

7.3. Modelización de aguas urbanas

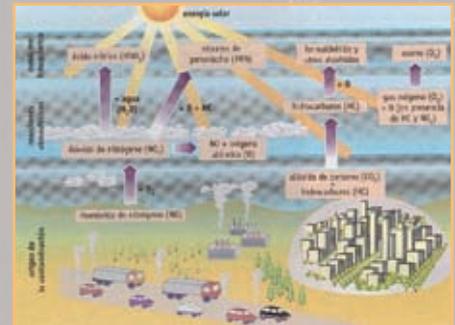
Tratamiento y distribución de aguas, conductos de descarga de aguas pluviales y sanita-



► Ejemplo de simulación de un episodio de smog ocurrido en Canadá y EE.UU. el 11 de junio de 1999.



► Ejemplo de simulación de un episodio de smog ocurrido en Canadá y EE.UU. entre el 12 de junio de 1999.



► Formación del smog fotoquímico.

rias, modelización de escorrentía de agua pluvial, tratamiento de aguas residuales.

▲ **StormNET.** El modelo se utiliza para el análisis y diseño de los sistemas de drenaje urbano (aguas residuales no sanitarias y sanitarias y agua de lluvia).

7.4. Modelos de terrenos

Modelaje espacial y digital en 3D de terrenos:

- ▶ Surfer.
- ▶ Grapher.
- ▶ CurveFIT.
- ▶ Didger.
- ▶ MapViewer.

8. Bee-Line Software (EEUU)

Se puede encontrar información adicional sobre estos modelos en la siguiente página web:

<http://www.beeline-software.com>

BEE-Line Software es una empresa que distribuye y comercializa software de modelos de dispersión de atmósfera basados en modelos de dispersión populares de la EPA tales como AerMod, ISCST3 e ISC-Prime.

9. Troposfera.org (España)

Dos técnicos gallegos de medio ambiente⁶, han puesto en marcha un proyecto pio-

nero en España, que permite a cualquier ciudadano de a pie conocer la calidad del aire que respira, las predicciones futuras, la concentración de ozono, etc. La página web compila informaciones de utilidad que estaban accesibles por Internet pero de forma dispersa.

Troposfera.org pone al servicio del usuario, de modo gratuito, la utilización on-line de modelos de dispersión que pueden ser utilizados para trabajos de investigación, evaluación de la calidad del aire en estudios de impacto ambiental, cálculo de altura de chimeneas, etc.

Estos modelos se pueden consultar en la siguiente página web⁷:

<http://www.troposfera.org>

9.1. Modelo de dispersión en atmósfera

Modelo gaussiano

“Para la estimación de la dispersión de los gases procedentes de una chimenea, existen diversos modelos matemáticos, sobre base euleriana o lagrangiana, que son de aplicación en este problema. Sin embargo, una solución analítica relativamente simple de la ecuación de difusión atmosférica, que describe el balance de contaminante en la atmósfera, es la expresión matemática básica del modelo de penacho gaussiano. El modelo de penacho gaussiano supone que el contaminante es arrastrado por el viento medio en

6. David Cartelle y José Manuel Vellón

7. La ruta completa es: <http://www.troposfera.org/modules.php?name=Models>

Modelización

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

una única dirección, a una altura efectiva de emisión que determinaremos posteriormente. Alrededor de esta trayectoria rectilínea se supone que el contaminante se dispersa como consecuencia de la turbulencia, de modo que las distribuciones vertical y horizontal de contaminante en cada sección transversal del penacho siguen una función gaussiana, caracterizada por su desviación estándar”.

Para la resolución del problema, es necesario introducir los datos del foco emisor: altura chimenea (m), velocidad de salida de gases (m/s), diámetro chimenea (m), t° salida de gases ($^{\circ}$ C), tasa emisión (g/s), temperatura ambiente ($^{\circ}$ C) y categoría de las condiciones atmosféricas. El resultado es la concentración de contaminante estimada a nivel del suelo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a ciertas distancias (km) del foco.

Modelo con inestabilidad

“Este modelo calcula la dispersión de contaminantes en una situación de inestabilidad (capa de mezcla convectiva). En este caso particular, las masas de aire caliente se elevan desde la superficie hasta la capa de mezcla. El humo es emitido desde un foco emisor a una cierta altura, y el viento dispersa los contaminantes a una distancia a favor de viento. Queremos conocer la concentración de estos contaminantes en un receptor a favor de viento.

Este modelo difiere ligeramente con el gaussiano en que tiene en cuenta las corrientes de aire ascendentes que ocurren en la

capa inestable, mientras que los modelos gaussianos tienden a despreciarlas”.

Modelo de Street Canyon

El modelo está disponible a través de la página web. Los datos de entrada que debe de cumplimentar el usuario son los siguientes: ancho de la calle (m), distancia respecto a los coches a la que se encuentra la persona que respira el aire (m), altura sobre el asfalto a la que se encuentra esta persona (m) –la acera se considera altura igual a cero–, número de vehículos por hora que circulan en la calle, porcentajes de vehículos que circulan en la calle (turismos, vehículos comerciales ligeros de peso menor de 3 t, vehículos comerciales pesados de peso mayor de 3 t, autobuses y motos) y velocidad del viento (m/s). Como resultados tenemos las concentraciones de los contaminantes y la valoración de la calidad del aire que respiramos.

9.2. Modelo fotoquímico

“Mediante un modelo de regresión simple podemos predecir los valores de ozono, basándonos en datos meteorológicos” como temperatura, fracción de cobertura por nubes, velocidad del viento, altura del sol, etc. Los parámetros utilizados para esta ecuación son los generados a través del análisis estadístico de datos a lo largo de varios años. Una vez se determina la concentración para 1 hora, se puede usar otra regresión para estimar la concentración en 8 horas (octohoraria).

9.3. Cálculo de altura de chimeneas

En este modelo, la altura de la chimenea está dimensionada para cumplir con la Orden de 18 de octubre de 1976. La Orden proporciona unas instrucciones para el cálculo de la altura de chimeneas de instalaciones industriales pequeñas y medianas con el fin de mejorar la dispersión de los contaminantes emitidos a la atmósfera a través de las mismas.

Apéndice I: ejemplos de experiencias en España

1. Adaptación de modelos de dispersión atmosféricos para su utilización con fines regulatorios. Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA)

Página web⁸:

<http://www.cesga.es>

DATOS

El Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA) es el centro de cálculo, comunicaciones de altas prestaciones y servicios avanzados de la Xunta de Galicia y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

CESGA colabora con instituciones y empresas en el desarrollo de proyectos de investigación e innovación tecnológica.

Así, en el período agosto 1998 - diciembre 1998, CESGA desarrolló el proyecto “DISPER - Modelos de dispersión atmosférica regulatorios” para la Dirección Xeral do Centro de Información e Tecnoloxía Ambiental, Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia”.

RESUMEN

“Aunque existe una variedad de modelos de dispersión atmosférica, con diferente grado de sofisticación, la utilización práctica de modelos de dispersión atmosférica con propósitos regulatorios sigue centrándose, tanto en Europa como en EEUU,

en los modelos de penacho gaussiano. Otros modelos (lagrangianos de estructuras, de partículas, eulerianos) son aplicados a análisis particulares de la dispersión y transformación de contaminantes, en áreas o problemas concretos, debido a sus elevados requerimientos, tanto de cálculo como de información de entrada.

Bajo estas premisas, se eligieron dos modelos de dispersión de contaminantes, de distinto grado de complejidad, que permitían abarcar los requerimientos regulatorios de la Xunta de Galicia en el control de focos emisores contaminantes y evaluación del impacto de nuevos focos:

▲ **Modelo 1:** modelo de penacho gaussiano, elaborado según el “Manual de diseño de chimeneas industriales” publicado por el Ministerio de Industria y Energía. Se trata, en este caso, de un modelo sencillo, de gran utilidad práctica cuando se dispone de escasa información sobre el entorno en el que se encuentra instalado o se pretende instalar una chimenea emisora. Este modelo permite mostrar una primera aproximación al problema, y es de uso obligado en el inicio de un estudio de impacto ambiental.

▲ **Modelo 2:** ISCST (Industrial Source Complex Short Term Model), avalado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EEUU (EPA), como uno de los modelos más utili-

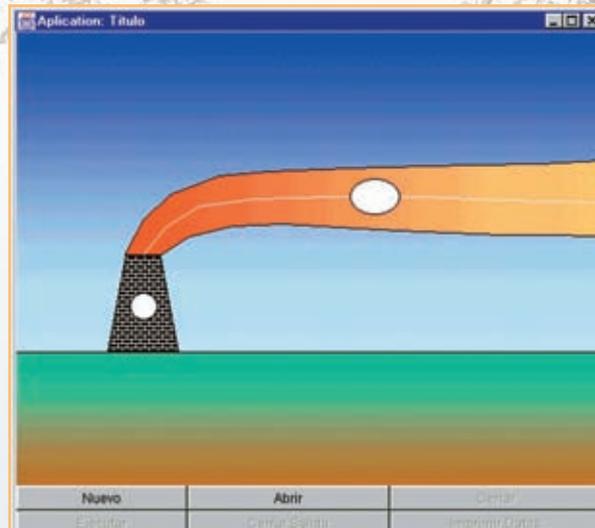
8. La ruta completa es: http://www.cesga.es/component/option,com_proyectos/task,view/Itemid,9/catid,46/id,37/lang,gl/

zados en los estudios de impacto ambiental de focos emisores atmosféricos. Abarca focos emisores puntuales, lineales y de área, y puede ser aplicado en condiciones meteorológicas muy diversas y entornos orográficos complejos.

Se implementó el primero de los dos modelos escogidos. La implementación, consistió inicialmente en estudiar el código existente para este modelo y adaptarlo a las necesidades de aplicación regulatoria. Posteriormente, y una vez conocido los datos tanto de entrada como de salida del modelo, se desarrolló una interface de usuario accesible vía web que permite la introducción de los datos iniciales (datos de la chimenea, de la meteorología, de los contaminantes, etc.) y la visualización de los resultados obtenidos tras la ejecución del modelo.

El próximo paso a seguir es el estudio del segundo modelo (ISCST), así como su implementación y creación de una interface adecuada.

Para la realización de la interface de usuario para el primero de los dos modelos se utilizó Java (JDK) como lenguaje de programación. La elección de este lenguaje se debió a la posibilidad de ejecución de dicha aplicación a través de paginas web. Pero dada la mayor complejidad del segundo modelo, se cuestionó esta elección, ya que este requiere una gran cantidad de recursos gráficos”.



►DISPER: Introducción de datos.

2. Desarrollo del modelo EMI-CAT2000 para la estimación de emisiones de contaminantes del aire en Cataluña y su uso en modelos de dispersión fotoquímica

Página web⁹:

<http://www.tdx.cesca.es>

DATOS

Se trata de una tesis realizada por René Rolando Parra Narváez, en la Universidad Politécnica Cataluña, dentro del departamento “Proyectos de Ingeniería” y el área de conocimiento “Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente-Meteorología”. El título de la tesis

9. La ruta completa es: <http://www.tdx.cesca.es/TDX-0803104-102139/>

es “Desarrollo del modelo EMICAT2000 para la estimación de emisiones de contaminantes del aire en Cataluña y su uso en modelos de dispersión fotoquímica”.

RESUMEN

A continuación transcribimos un resumen de la misma:

“En Cataluña se presentan episodios de contaminación por ozono troposférico, especialmente en verano. El complejo comportamiento del ozono, su interacción con la atmósfera y sus efectos sobre la calidad del aire, pueden ser analizados con un Modelo de Transporte Químico (MTQ). Los inventarios de emisiones proporcionan la distribución espacial y temporal de los precursores de ozono (NO_x, COV) y de otros contaminantes que requiere un MTQ.

EMICAT2000 es un modelo de alta resolución espacial (1 km²) y temporal (1 hora), para la obtención de inventarios de emisiones de Cataluña durante el año 2000. Incluye a los principales contaminantes primarios (NO_x, COV, CO, SO₂ y PST) y gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O). EMICAT2000 integra las emisiones diarias, mensuales y anuales, permitiendo su uso con fines de política ambiental o modelización fotoquímica.

Incluye las emisiones de la vegetación, tráfico de vehículos, industrias y las producidas por el consumo de combustibles fósiles y disolventes en los sectores doméstico y comercial.

El modelo de emisiones de COV provenientes de la vegetación (isopreno, monoterpenos, otros COV) utiliza el algoritmo de Guenther et al. (1993), adaptado para considerar el particular comportamiento emisor de ciertas especies mediterráneas. Incorpora factores de emisión, definidos mediante la selección exhaustiva de factores de emisión de las especies vegetales más importantes.

El modelo de tráfico incluye las emisiones en caliente, en frío y evaporativas, mediante una red digital de las autopistas y de las más importantes carreteras y vías urbanas (con intensidades medias de tráfico mayores a 3.000 vehículos). EMICAT2000 utiliza como base el método y los factores de emisión del modelo EMEP/CORINAIR-COPERTIII, e incorpora perfiles de tráfico mensuales, diarios y horarios diferenciando el parque automotor circulante para días laborables y festivos.

Las emisiones industriales incluyen registros reales de emisión de chimeneas conectadas a la Xarxa de control d'emissions (XEAC) del Departamento de Medio Ambiente; así como las emisiones estimadas de las centrales eléctricas, cementeras, refinerías, plantas de olefinas, industrias del sector químico e incineradoras, principalmente.

Estas fuentes definen la configuración espacial y temporal de las emisiones. La potencial agregación de otras fuentes aportará información a nivel de detalle”.

De esta forma, para el período anual se estiman las emisiones en Cataluña indicando las principales fuentes de los contami-

nantes. Así, por ejemplo, para el NO_x las principales fuentes fueron el tráfico (58%) y la industria (38%).

“EMICAT2000 fue probado exitosamente en el diagnóstico de varios eventos de contaminación fotoquímica. Es la base potencial el análisis del efecto fin de semana, o el pronóstico de la calidad del aire de Cataluña, bajo diferentes escenarios. Es una herramienta que en materia de emisiones proporciona total libertad, flexibilidad y control, pudiendo ser fácilmente explotada en otras regiones de similares características”.

3. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA). Universidad Politécnica de Valencia

Página web¹⁰:

<http://www.upv.es>

DATOS

“El Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente tiene el objetivo de impulsar la investigación científica y técnica, de forma coordinada y pluridisciplinar mediante la integración de grupos de investigación de diferentes áreas de conocimiento, así como promover la docencia especializada y el asesoramiento técnico en todos aquellos temas relacionados con el agua, considerada tanto como recurso como soporte de la biosfera, principalmente en:

- ▶ Hidrología aplicada. Inundaciones.
- ▶ Hidrobiología; agua y medio ambiente.
- ▶ Tecnologías de tratamiento de aguas potables y residuales.
- ▶ Contaminación y calidad de aguas.
- ▶ Obras hidráulicas.
- ▶ Planificación y gestión integral de recursos hídricos.
- ▶ Hidráulica e ingeniería fluvial.

Este instituto, cuya creación se aprobó en el año 2001, está integrado por una serie de grupos de investigación de la Universidad Politécnica de Valencia que tienen una trayectoria científico-técnica ampliamente consolidada a lo largo de los últimos 20 años en diversas líneas de investigación relacionadas con la hidrología y el medio ambiente.

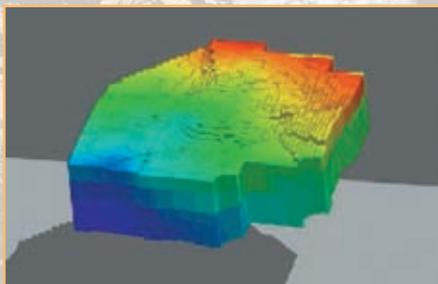
Entre los grupos de investigación y oferta tecnológica relacionados con la modelización, destacamos el grupo de modelación matemática de procesos de flujo y transporte de masa en el subsuelo”.

RESUMEN

“Grupo de modelación matemática de procesos de flujo y transporte de masa en el subsuelo. Realiza las siguientes funciones:

- ▶ Modelación de acuíferos y sistemas de recursos hídricos: desarrollo, calibración y aplicación de modelos matemáticos de flujo en acuíferos para estudios de plani-

¹⁰. La ruta completa es: <http://www.upv.es/iama/grupos.htm#MOD.%20MATEMÁTICA>



► Modelización matemática de procesos de flujo y transporte de masa en el subsuelo.

ficación y gestión de recursos hídricos, y para el análisis de problemas medioambientales.

- Modelación matemática de flujo y transporte de contaminantes: desarrollo, calibración y aplicación de métodos y modelos de transporte para el estudio de problemas de polución de suelos y aguas subterráneas, y para el diseño de estrategias de recuperación.

Se han desarrollado diversos modelos y aplicaciones ajustados a casos reales tanto para problemas de flujo como de movimiento de contaminantes. Estos estudios se desarrollan para organismos encargados de la planificación y gestión de recursos hídricos, para agencias medioambientales y para organismos con responsabilidad en la regulación y gestión de residuos nucleares¹¹.

4. Grupo de modelos y software para el medio ambiente. Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Madrid

Página web:

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

DATOS

El laboratorio está integrado por profesores y alumnos de la Politécnica de Madrid, dis-

poniendo de equipamiento informático y de instrumentación experimental. Su objetivo es la modelización y la medida de la calidad del aire.

RESUMEN

El laboratorio dispone de una estación de medida que ha sido utilizada para monitorizar los diferentes contaminantes de la atmósfera en el área de Madrid. Esto es fundamental para inicializar y llevar a cabo los modelos de calidad del aire.

Las actividades de modelización están enfocadas a desarrollar softwares capaces de pronosticar y diagnosticar la calidad del aire en dominios urbanos, regionales, nacionales y continentales.

El laboratorio ha desarrollado software para determinar el impacto producido por varias fuentes: IMW, una aplicación para modelar el impacto industrial (basado en el EPA ISCT3) y EMMA, un modelo operacional complejo para grandes áreas urbanas.

5. Grupo de Análisis y Gestión Ambiental (AGA). Departamento de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Química de Tarragona. Universidad Rovira I Virgili

Página web¹¹:

<http://www.etseq.urv.es>

11. La ruta completa es: <http://www.etseq.urv.es/aga/castella/evaluac.php>

Apéndice I: ejemplos de experiencias en España

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

DATOS

“El Grupo de Análisis y Gestión Ambiental (AGA) nace en el año 1994 teniendo como objetivo la investigación medioambiental, satisfaciendo las necesidades tecnológicas generadas especialmente para los sectores productivos”.

RESUMEN

“La Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA), que pertenece a los proyectos I+D, es el proceso que evalúa la probabilidad de que ocurran o puedan ocurrir efectos adversos sobre el medio o sobre la salud humana como consecuencia de la exposición a uno o más agentes físicos, químicos o biológicos.

Las herramientas utilizadas por el grupo en la evaluación del riesgo son:

- ▶ Modelo BEEST para Windows, basado en el modelo ISCT3, para la simulación de la dispersión en el aire de los diferentes contaminantes. Dicho modelo considera tanto la deposición seca como la húmeda, los procesos de simulación pueden ser obtenidos tanto para largas como para cortas distancias y permite considerar los efectos producidos por la presencia de edificios u otras estructuras en el área de influencia del foco emisor.
- ▶ Los modelos MEND-TOX, EUSES y CALTOX son utilizados para la dispersión de con-

taminantes en los distintos medios (agua, suelo, vegetación, etc.). Los resultados obtenidos son verificados mediante análisis en el laboratorio”.

6. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Ministerio de Educación y Ciencia

Página web¹²:

<http://www.ciemat.es>

DATOS

El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) es un organismo público adscrito al Ministerio de Educación y Ciencia, de investigación y desarrollo tecnológico.

En el Departamento de Medio Ambiente: Unidad de Contaminación Atmosférica, se desarrolló el siguiente proyecto siendo responsable D. Fernando Martín Llorente. A continuación resumimos lo expresado en la página web.

RESUMEN

“Objetivos. La Unidad de Contaminación Atmosférica perteneciente a la División de Tecnologías Ambientales surge con un objetivo general claro: el estudio de procesos físico-químicos de los contaminantes en la atmósfera y su efecto en los ecosistemas

¹² La ruta completa es: http://www.ciemat.es/actividad/programas/p_ta_contaminacion.html

naturales y agrosistemas. Entre sus objetivos específicos se encuentran:

- ▶ Evaluar el impacto ambiental de origen atmosférico procedente de fuentes o instalaciones industriales y/o energéticas, tanto desde un punto de vista experimental como modelístico.
- ▶ Desarrollar y mejorar modelos meteorológicos y de dispersión y realizar las aplicaciones necesarias de los mismos, teniendo en cuenta las necesidades de España en materia de contaminación atmosférica.

▲ **Actividades de I+D.** Entre sus actividades I+D se encuentra la modelización atmosférica.

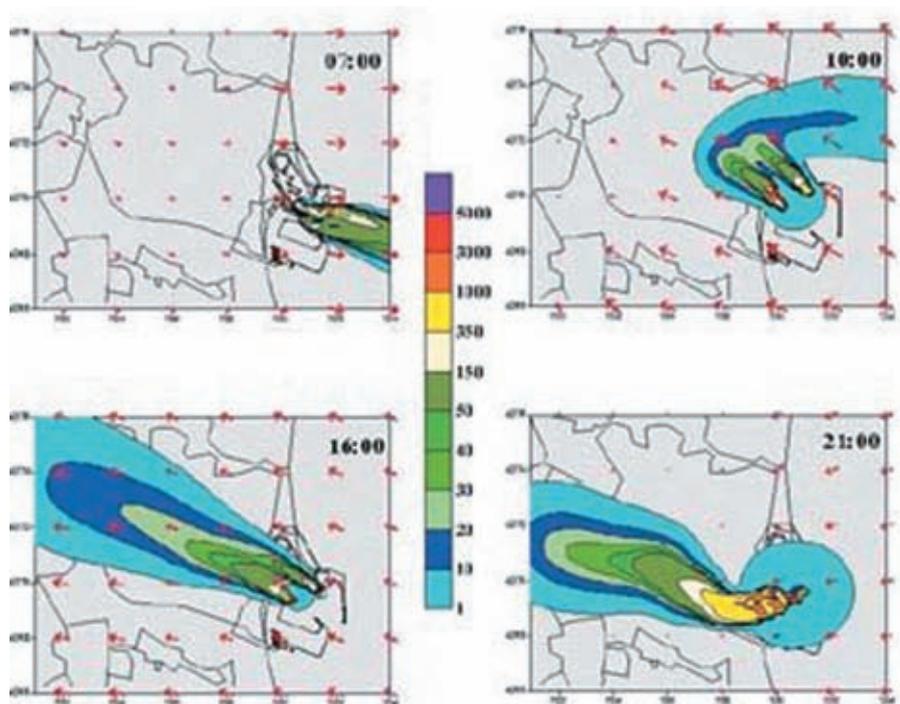
▲ **Situación actual.** El grupo mantiene colaboraciones con diversas universidades, centros de investigación, administraciones y empresas, así como con otros grupos del CIE-MAT. Estas colaboraciones se han traducido en proyectos concretos de los que a continuación se exponen algunos aspectos.

Entre los proyectos destaca, por su importancia en sí y por la carga de trabajo, un acuerdo de colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente para la evaluación de la calidad del aire en España aplicando modelos de dispersión de contaminantes a escala nacional. Los resultados están siendo utilizados por el Ministerio de Medio Ambiente y las comunidades autónomas en la preparación de los informes y cuestionarios sobre evaluación de la calidad de aire anual exigidos por la Comisión Europea. Este acuerdo está en su segundo año de vigencia [a fecha 1/7/2005], y le quedan al menos otros dos.

Otro proyecto importante es el Proyecto del Programa Europeo LIFE2 HADA (Herramienta Automática de Diagnóstico Ambiental) liderado por Puertos del Estado. Entre sus objetivos está el desarrollo de modelos y sistemas informáticos que simulen, predigan y controlen la calidad del aire en varios puertos españoles.

Relacionado también con la contaminación atmosférica por partículas atmosféri-

PANTANO BAROMÉTRICO. VERANO. TRES FOCOS.



Apéndice I: ejemplos de experiencias en España

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

cas está en marcha un proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D llamado DUS-TCERAM, liderado por el Instituto de Tecnología Cerámica de Castellón, enfocado a investigar los procesos que afectan a la dispersión de partículas atmosféricas emitidas desde industrias cerámicas (con especial atención a las emisiones difusas y a los procesos atmosféricos de depósito de partículas en el suelo) y al análisis de áreas de impacto y medidas de reducción del mismo.

Otro proyecto de notable relevancia es el proyecto PRECOZ, por el cual se está desarrollando un sistema informático para la predicción y control de la contaminación en la ciudad de Zaragoza.

Hay que destacar la participación en el ejercicio internacional de intercomparación de modelos de "street-canyon", donde se han utilizado datos meteorológicos y ambientales de tres calles de tres ciudades europeas (Estocolmo, Berlín y Londres) para simular con modelos los flujos de aire y dispersión de contaminantes emitidos por el tráfico de coches dentro de las mismas.

También ha participado y todavía participa en los grupos de trabajo relativos a diversos aspectos de la calidad del aire que desde el Ministerio de Medio Ambiente y las comunidades autónomas se están promoviendo al objeto de armonizar criterios dentro de las necesidades impuestas por la Directiva Marco sobre Calidad del Aire y sus directivas hijas. Además, un miembro de este grupo es el representante español en el Working Group

on Implementation del Programa Europeo Clean Air For Europe (CAFE).

▲ **Resultados Destacables.** Dentro del proyecto HADA:

- ▶ Desarrollo de un modelo para la estimación del depósito de partículas atmosféricas (SEDPORT) e implantación en el modelo de dispersión MELPUFF, que en su versión para puertos se llamará PORTPUFF.
- ▶ Puesta a punto de una metodología para determinar factores de emisión de partículas atmosféricas emitidas en operaciones portuarias, utilizando mediciones de su concentración en aire realizadas por el Grupo de Caracterización de la Contaminación Atmosférica y el Instituto Jaime Almera del CSIC, y aplicando modelos de dispersión.
- ▶ Acoplamiento de PORTPUFF a modelos meteorológicos (ARPS, CALMET-MASS y CALMET-HIRLAM) e integración en sistemas de predicción y control de la calidad del aire para diversos puertos españoles.

En el marco del acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente para la evaluación de la calidad del aire en España mediante modelos:

- ▶ Realización de las primeras evaluaciones de la calidad del aire en España para los años 2002 (SO₂ y Pb) y 2003 (SO₂, CO, PM10 y Pb) para toda España utilizando el modelo MELPUFF acoplado al modelo CALMET. Ha sido necesario desarrollar un procedimiento de asimilación de las predicciones

de los modelos con los datos medidos de concentración de contaminantes en estaciones. Los resultados están siendo utilizados por el Ministerio de Medio Ambiente y las comunidades autónomas en la preparación de los informes y cuestionarios sobre evaluación de la calidad de aire anual exigidos por la Comisión Europea.

- ▶ Revisión de la zonificación española relativa a la calidad del aire, encontrando algunas redundancias y aconsejando cierta simplificación en el establecimiento de zonas y uniendo zonas de similar calidad del aire.
- ▶ Revisión de nuevos modelos de utilidad para evaluar otros contaminantes, como el ozono, a escala nacional o investigar la contaminación al nivel de calles de una forma eficiente y rápida.
- ▶ Continuación de la participación en el Working Group on Implementation del Programa Europeo Clean Air for Europe (CAFE) incluyendo la participación en la elaboración de un extenso informe de revisión de la Directiva 1999/30 para la Comisión Europea¹³.
- ▶ Impartición en CIEMAT de dos cursos (2003 y 2004) sobre Modelización de la Contaminación Atmosférica.
- ▶ Los proyectos DUSTCERAM y PRECOZ están todavía en su primer año de ejecución y todavía no hay resultados destacables que reseñar.

En cuanto a la investigación en modelos que simulen las circulaciones atmosféricas y dispersión de contaminantes en calles:

- ▶ Realización de simulaciones RNS en dos dimensiones en configuraciones complejas de secuencias de calles variando la altura de edificios y el ancho de las calles, encontrándose perturbaciones importantes causadas por edificios más altos y la generación de vórtices múltiples cuando se estrechan las calles.
- ▶ Desarrollo de un modelo de dispersión de tipo lagrangiano de partículas, que incorpora procesos de depósito (SLP-2D).
- ▶ Participación en un ejercicio internacional de intercomparación de modelos llamado SEC. Los resultados de SLP-2D han sido bastante buenos. Estos ejercicios continúan y se espera su extensión a un proyecto europeo.

Otros resultados relevantes han sido:

- ▶ Realización y presentación de una tesis doctoral sobre la contaminación fotoquímica en Sao Paulo y la evaluación de modelos meteorológicos (CALMET) y de dispersión (CIT), y su potencial aplicación al diseño de estrategias de control de la contaminación por ozono.
- ▶ Elaboración de un estudio sobre episodios de contaminación fotoquímica en el centro de la Península Ibérica y la determinación de áreas de mayor probabilidad de afectación.

13. Ver http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/working_groups/pdf/wg_report.pdf.

Apéndice I: ejemplos de experiencias en España

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Capacidades tecnológicas

- ▶ Modelos meteorológicos (MM5, TVM, CALMET), CFD (FLUENT) y de dispersión (MELPUFF, CALPUFF, CIT, SLP-2D), fotoquímicos (CHIMERE, etc.).
- ▶ Desarrollo de nuevos modelos y mejora de los disponibles.
- ▶ Evaluación de la calidad del aire.
- ▶ Análisis de episodios de contaminación.
- ▶ Impacto de actividades contaminantes.
- ▶ Estimación de medidas de reducción de la contaminación.
- ▶ Desarrollo de sistemas informáticos de control y predicción de la contaminación (en colaboración con el Dpto. de Informática).
- ▶ Apoyo a investigaciones realizadas por los demás grupos.

Proyectos recientes o en vigor

- ▶ Modelado de la concentración de partículas atmosféricas producidas por industrias cerámicas en Castellón¹⁴.
- ▶ Implementación en áreas portuarias de un sistema de modelización atmosférica y la determinación de factores de emisión¹⁵.
- ▶ Predicción de la dispersión de partículas para la empresa Magnesitas de Navarra¹⁶.

Convenios recientes o en vigor

- ▶ Unidad Asociada de Contaminación Atmosférica, CIEMAT-CSIC.
- ▶ Resolución de la D.G. de la Energía MINER (1997), creación de la OCEM.
- ▶ Acuerdo de colaboración CIEMAT-Universidad de Valencia. Proyecto SPARC(ESA).
- ▶ Estudio de fuentes de material particulado en España (segundo acuerdo CIEMAT/CSIC, Ac 04/45), Ministerio de Medio Ambiente. Duración: 2004-2007.
- ▶ Desarrollo de un sistema de control y predicción de la contaminación por partículas en el puerto de A Coruña. CIEMAT-Puertos del Estado, Autoridad Portuaria de A Coruña y U. de Santiago. 2003-2005.
- ▶ Realización de un estudio piloto para la prevención de la contaminación atmosférica en la ciudad de Zaragoza. CIEMAT-Ayuntamiento de Zaragoza. 2003-2006.
- ▶ Acuerdo específico de colaboración CIEMAT-Ministerio de Medio Ambiente para la realización de trabajos relativos a la evaluación de la calidad del aire en España mediante modelización. CIEMAT-Ministerio de Medio Ambiente. 2003-2006¹⁷.

14. Dirección General de Investigación. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Proyecto ref.:REN-2003-08916-CO2-02. 2004-2006.

15. Proyecto HADA Herramienta Automática de Diagnóstico Ambiental LIFE2 ENV/E/000274. CIEMAT-Puertos del Estado. 2003-2005.

16. CIEMAT-Magnesitas de Navarra. 2004-2005.

7. Modelos de difusión atmosférica. Área de Proyectos de Ingeniería. Escuela de Minas. Universidad de Oviedo

Página web:

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

DATOS

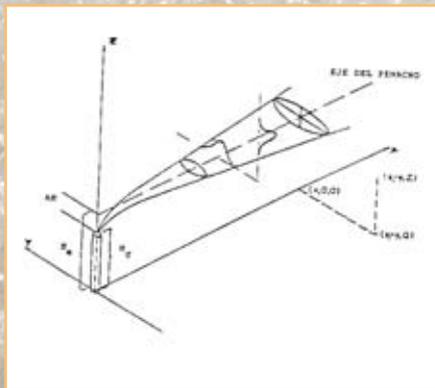
El Área de Proyectos de Ingeniería de la Escuela de Minas de la Universidad de Oviedo confeccionó a nivel teórico las bases de los modelos de difusión atmosférica, que pueden verse de forma desarrollada en su página web. A continuación se transcribe el índice de dicho contenido.

RESUMEN

Modelos de difusión atmosférica

Introducción

- ▶ Introducción: la necesidad de los modelos de difusión.



- ▶ Ecuación de Gauss.

- ▶ Guía para la justificación en la selección y uso de los modelos, y realización de informes y comunicación de resultados.
- ▶ Definición de contaminación atmosférica. Legislación.
- ▶ Efectos debidos a la contaminación ambiental.
- ▶ Fuentes de contaminación ambiental.
- ▶ Distintas formas de clasificar la contaminación atmosférica.
 - ▶ Clasificación de los contaminantes según la fuente de emisión.
 - ▶ Clasificación de los contaminantes físicos.
 - ▶ Clasificación de los contaminantes químicos.

Modelo de difusión gaussiano

- ▶ La ecuación de Gauss.
- ▶ Perfil de velocidades del viento.
- ▶ Fórmulas de elevación del penacho.
 - ▶ Bañado del extremo de la chimenea.
 - ▶ Fuerza ascensional y cantidad de movimiento de flujo inestable o neutro.
 - ▶ Límite entre fuerza ascensional y cantidad de movimiento.
 - ▶ Elevación por fuerza ascensional.
 - ▶ Elevación por cantidad de movimiento.
- ▶ Parámetro de estabilidad.
 - ▶ Límite entre fuerza ascensional y cantidad de movimiento.
 - ▶ Elevación por fuerza ascensional.
 - ▶ Elevación por cantidad de movimiento.

Apéndice I: ejemplos de experiencias en España

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

- ▶ Los parámetros de dispersión:
 - ▶ Parámetros de dispersión para una fuente puntual.
 - ▶ Distancias virtuales lateral y vertical.
- ▶ Procedimientos para valorar los efectos por apantallamiento de los edificios en la dispersión de emanaciones”.
 - ▶ CALINE4.
 - ▶ PUFF.
- ▶ Resultados:
 - ▶ Influencia de los diferentes parámetros sobre la dispersión de contaminantes.
 - ▶ Metodologías de trabajo según los diferentes problemas de calidad del aire.

8. La calidad del aire cerca de las carreteras. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales (ICTA). Universidad Autónoma de Barcelona

Página web¹⁷:

<http://antalya.uab.es>

DATOS

El proyecto “La calidad del aire cerca de las carreteras” pretende dar a conocer los fenómenos relacionados con las emisiones y la dispersión de contaminantes por parte de los vehículos que circulan por las carreteras. El estudio se realizó desde el año 2000 a 2002 y su esquema de trabajo fue el siguiente:

- ▶ Datos de entrada:
 - ▶ Meteorología.
 - ▶ Emisiones.
 - ▶ Terreno.
- ▶ Modelización:
 - ▶ SCIPUFF.

En la página web se encuentran desarrollados todos estos apartados, siendo también posible descargar los modelos.

RESUMEN

A continuación se comentan los modelos con los cuales se ha trabajado para llevar a cabo este estudio:

▲ SCIPUFF (Second-order Closure Integrated PUFF model).

Modelo de transporte y dispersión lagrangiano. Creado por Titan Corporation, EPA lo recomienda a nivel medioambiental. Trabaja en entorno de Windows. Entre las características más generales del modelo, cabe destacar:

- ▶ Diversos tipos de fuente, con la posibilidad de confeccionar fuentes lineales (hasta 100 fuentes).
- ▶ Contaminantes gaseosos y de partículas.
- ▶ Posibilidad de incorporar terrenos complejos.
- ▶ Sedimentación, deposición seca y húmeda.
- ▶ No dispone de módulo fotoquímico.

¹⁷La ruta completa es: http://antalya.uab.es/_c_ceambientals/recerca/aire/Modelitzaci%F3/models.htm

- ▶ Diversos tipos de entrada de datos meteorológicos, desde datos de superficie hasta datos tridimensionales.

Entre los datos que proporciona, cabe destacar:

- ▶ Concentraciones de contaminantes.
- ▶ Estimaciones de las incertidumbres.
- ▶ Posibilidad de realizar animaciones y secuencias.

▲ CALINE4

Es la cuarta versión del modelo de dispersión para fuentes lineales CALINE, creado por el Departamento de Transporte de California en 1978. Trabaja en entorno de Windows. Entre los datos de entrada tenemos:

- ▶ Características de la simulación.
- ▶ Características de las carreteras: ubicación, emisiones, duración.
- ▶ Descripción de los contaminantes modelados.
- ▶ Ubicación de las estaciones receptoras. Información meteorológica.

El modelo da como salidas las concentraciones de contaminantes.

▲ PUFF

Para describir la dispersión, o mejor, la difusión de los contaminantes, se puede elegir una solución sencilla: la ecuación de difusión gaussiana. Ahora bien, el comportamiento de la pluma gaussiana no es válido siempre, y en particu-

lar cuando en el camino de la pluma se encuentran obstáculos. Estos obstáculos vienen a modificar el comportamiento difuso respecto al caso ideal (Kaplan y Dinar, 1986).

El modelo PUFF es el resultado de estudiar desde otro punto de vista el fenómeno de la difusión. El modelo considera que junto con los contaminantes se liberan unas partículas trazadoras que se comportan igual que las del gas contaminante. Evidentemente, al paso del tiempo (sin condiciones ambientales) se obtendrá una distribución gaussiana de trazadores. El movimiento de los trazadores es, pues, también un proceso de difusión. El modelo PUFF es capaz de describir la posición de los trazadores en cualquier instante y en diferentes condiciones de viento y de estabilidad atmosférica. Un postprocesador permite establecer la concentración de los trazadores en torno a la fuente.

9. Normas Técnicas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales

NTP 329: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas.

Esta norma se puede consultar en la siguiente página web¹⁸:

<http://www.mtas.es>

18. La ruta completa es: http://www.mtas.es/insh/ntp/ntp_329.htm

Apéndice I: ejemplos de experiencias en España

MODELOS MATEMÁTICOS APLICABLES A LOS IMPACTOS AMBIENTALES

DATOS

En esta norma se ilustra “la aplicación de un modelo de dispersión (Pasquill-Gifford) para la estimación de las concentraciones ambientales de contaminantes producidas por una fuente puntual continua de gases no pesados”.

RESUMEN

Así, según la norma, “una de las características principales que condiciona la evolución de un gas/vapor en la atmósfera es su densidad, distinguiéndose tres posibilidades:

- ▶ Gases ligeros. Densidad inferior a la del aire.
- ▶ Gases pasivos o neutros. Densidad similar a la del aire.
- ▶ Gases pesados. Densidad mayor que la del aire.

A efectos prácticos no se puede hablar, en la mayoría de los casos, de un comportamiento puro de gas ligero neutro o pesado, ya que los factores que influyen en él son múltiples y variables en el tiempo y una mezcla gas/aire puede evolucionar como un gas pesado sin serlo.

Otra característica es la duración del escape, que puede dar lugar a:

- ▶ Escapes instantáneos formando una bocanada (“puf”).
- ▶ Escapes continuos sin depender del tiempo, formando un penacho (“plume”).
- ▶ Escapes continuos dependiendo del tiempo.

En este documento, por razones de simplificación, se estudia el segundo tipo de escape.

La mayoría de los incidentes por escape empiezan con una descarga de un producto peligroso desde su continente normal. Estos incidentes se pueden originar por orificios o roturas de recipientes de proceso, por juntas de unión en bridas o por válvulas y venteos de emergencia, por destacar las causas más frecuentes.

Los escapes pueden ser en forma de gas, de líquido o en fase mixta líquido-gas”. En esta norma se tratará únicamente el primer tipo.

“El modelo gaussiano de fuente puntual continua que se va a tratar en este documento supone como hipótesis de partida que las concentraciones de contaminante en cualquier punto considerado viento abajo están estabilizadas y no dependen del tiempo. Este modelo describe el comportamiento de los gases/vapores de fuerza ascensional neutra, dispersados en la dirección del viento y arrastrados a la misma velocidad. Los gases pesados muestran una elevación inicial del penacho debida al impulso de salida, como sucede en todo escape, seguida de una cierta caída en curva por influencia de su densidad”.

En la norma se describe el modelo, estimando la elevación del penacho y determinando los factores que influyen en la dispersión del penacho, concluyendo con la resolución de un caso práctico.

NTP 475: modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales instantáneas.

Esta norma se puede consultar en la siguiente página web¹⁹:

<http://www.mtas.es>

DATOS

Tal y como recoge la norma “en el análisis de la estimación de las consecuencias de las emisiones accidentales a la atmósfera de contaminantes procedentes de actividades industriales, un aspecto clave es su dispersión en el medio ambiente (aire). En la NTP-329 se pretendía ilustrar la aplicación del modelo de dispersión de Pasquill-Gifford para estimar las concentraciones ambientales de contaminantes producidos por una fuente puntual continua de gases neutros”.

Por el contrario, la norma NTP 475 trata de la emisión instantánea.

RESUMEN

Según la norma “el primer paso para el cálculo de la dispersión es establecer las condiciones de la fuga del producto, especialmente su duración en el tiempo. Según el tiempo de fuga del producto las emisiones se clasifican en:

Continuas: Cuando el tiempo de emisión es mayor que el tiempo necesario para que la nube llegue a un determinado punto.

Instantáneas. Cuando el tiempo necesario para que la nube llegue a un punto determinado es mayor que el tiempo de emisión del producto.

La emisión instantánea, llamada también “puff” o soplido, forma una nube que se va dispersando con el tiempo. Gráficamente puede asimilarse a una nube casi esférica que se dispersa trasladando su centro de emisión en la dirección del viento.

A efectos prácticos la división en emisión continua o discontinua es artificial y subjetiva, porque la mayoría de emisiones son un estado intermedio, dado que el tiempo de fuga es finito, asumiendo un estado estacionario durante un cierto tiempo y dispersándose finalmente”.

Así, la NTP 475 muestra criterios empleados para decidir si la fuga puede ser considerada continua o instantánea.

A lo largo de la norma se desarrollan distintos conceptos como: la concentración en un punto y en un tiempo de gases debida a una fuente instantánea, los coeficientes de dispersión y las correcciones según la rugosidad del terreno que incluye la vegetación, los cultivos y los edificios. Además, “mediante procesamiento informático se obtendría la representación gráfica de la distribución de concentraciones en el tiempo y a diferentes distancias. Ello facilitaría el estudio simulado en situaciones accidentales para verificar la idoneidad de las medidas de seguridad y el nivel de efectividad del plan de emergencia”.

La norma finaliza con la resolución de un caso práctico.

¹⁹ La ruta completa es: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_475.htm





Región de Murcia
Consejería de Industria y Medio Ambiente
Dirección General de Calidad Ambiental