

METODOS DE ESTIMACION Y CONTROL DE CONTAMINANTES

Yuri N. Skiba y David Parra-Guevara

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, D.F., México
skiba@servidor.unam.mx, pdavid@atmosfera.unam.mx

El aumento de las emisiones industriales, debido al desarrollo intensivo de los medios de producción, contaminan el medio ambiente y quebrantan el equilibrio ecológico en muchas regiones de nuestro planeta. Todo esto se aplica igualmente a los procesos que ocurren en el continente y el océano. Dado que muchas sustancias de alguna manera influyen en la contaminación ambiental, el problema inmediato que surge consiste en reducir su impacto negativo. En los últimos años, el tema de la protección y recuperación del medio ambiente se ha convertido en una de las tareas más importantes de la ciencia.

Objetivos. El trabajo tiene como objetivo presentar los problemas actuales en la protección del medio ambiente y desarrollar estrategias de control de emisiones, tanto suficientes como óptimas, con el fin de prevenir los niveles peligrosos de contaminación. Entre otros aspectos, se presentan los modelos, métodos y algoritmos desarrollados por los autores durante los últimos quince años, los cuales han sido presentados en varios congresos internacionales en México, Estados Unidos, Finlandia, Austria, Reino Unido, Japón, Singapur, Francia, Alemania, España y otros países.

Métodologías utilizadas. Los modelos matemáticos que se describen son utilizados para la protección del medio ambiente, en aspectos de predicción de las concentración de contaminantes y el desarrollo de los métodos que ayudan a prevenir niveles peligrosos de la contaminación que es generada por fuentes puntuales (contaminación atmosférica por fabricas, derrame de petróleo, remediación de sistemas acuáticos, etc.), por fuentes distribuidas linealmente (contaminación provocada por vehículos), o por fuentes distribuidas superficialmente (contaminación inducida por incendios, etc.).

El trabajo se centra en los aspectos de modelación matemática de problemas de optimización relacionados con la protección del medio ambiente. Nos limitamos al estudio de los efectos directos sobre el medio ambiente, dejando de lado la cuestión del cambio climático debido a las influencias antropogénicas, lo que representa una rama independiente de la ciencia. En la presentación de los temas, separamos el modelo de dispersión de contaminantes del modelo de dinámica de vientos o corrientes, es decir, consideramos sólo la ecuación de transporte y difusión de contaminantes suponiendo que la velocidad de vientos o corrientes es dada (velocidades climáticos o calculados con un modelo dinámico). Aunque los métodos a menudo se ilustran con un simple modelo bidimensional, ellos se pueden aplicar directamente a los modelos de transporte en tres dimensiones.

Se usan varios espacios de Hilbert con el fin de demostrar que los problemas están bien planteados en el sentido de Hadamard (la existencia de soluciones, su unicidad y estabilidad). Se aplica el método de separación de variables para resolver los problemas de difusión unidimensionales. Se usan la identidad de Lagrange, los operadores y modelos adjuntos y el principio de dualidad en el caso de problemas de transporte y difusión de contaminantes en dos y tres dimensiones. El principio de dualidad es de gran importancia en el estudio de sensibilidad de las estimaciones de niveles de contaminación y en el desarrollo de estrategias de control.

Las estimaciones duales permiten medir la concentración de contaminantes en las zonas de importancia ecológica. Notemos que las estimaciones directas utilizan la solución del problema de transporte y permiten realizar el análisis completo de la situación ecológica en todo el dominio. Como opuesto a las estimaciones directas, las estimaciones adjuntas utilizan a menudo sólo las soluciones del modelo adjunto, y explícitamente dependen del número, de la posición y la tasa de emisión de las fuentes, y de la distribución inicial de la contaminación en la región. Las soluciones del problema adjunto sirven como funciones de influencia que determinan la contribución de cada fuente en la contaminación de cada zona. Por lo tanto, las estimaciones adjuntas son eficaces y económicas en el estudio de

sensibilidad de las concentraciones de contaminantes respecto a variaciones en ciertos parámetros de modelo. Se aplican los resultados generales de la teoría de control óptimo a los problemas donde se optimiza la intensidad de las fuentes contaminantes con el fin de reducir el daño al medio ambiente.

Resultados. Se introducen definiciones de problemas de control de emisiones. Hemos desarrollado estrategias suficientes (no óptimas) y óptimas para el control de las tasas de emisión de fuentes puntuales: control en la masa emitida, control en la estructura temporal de las tasas de emisiones, búsqueda de las tasas de emisiones invariantes óptimas. Como ejemplo se muestra la aplicación de las tres estrategias de control. Se consideran estrategias de control óptimo a corto plazo. Se da la solución numérica del problema del control óptimo. Se introduce el control por combinaciones lineales convexas (se enfatiza que cualquier combinación lineal convexa de estrategias representa una estrategia suficiente nueva).

Se describen diversas aplicaciones para la estimación y el control de contaminantes: derrame de petróleo, emisiones vehiculares, detección de las fábricas que violan tasas de emisión prescritas, y búsqueda de la ubicación óptima de una fábrica nueva). También se estudian aplicaciones del cálculo variacional y la programación lineal a problemas de control (remediación de sistemas acuáticos contaminados con biofilms, biorremediación de ecosistemas acuáticos contaminados de petróleo y control de la contaminación del aire). Se muestra que el método variacional desarrollado también se puede utilizar para obtener una estimación más baja de la intensidad de fuente de contaminación en el caso de que su posición es conocida (accidente en la planta nuclear o químico, prueba nuclear, explosión de una bomba en un ataque terrorista, etc.). En todos estos casos, la posición de la fuente es conocida o puede ser localizada desde un satélite. Por último fueron desarrollados los métodos de discretización (métodos de separación) y los esquemas numéricos incondicionalmente estables, y fueron estudiados varias cuestiones computacionales relacionadas con el modelado y la simulación de procesos de dispersión de contaminantes.

Conclusiones. Fueron desarrollados: (a) modelos matemáticos y numéricos para estudiar problemas de transporte y difusión de contaminantes cuasi-pasivos en el aire y las regiones acuáticas, (b) métodos de estimación de las concentraciones medias de contaminantes en zonas ecológicas, (c) estrategias de control de emisiones, tanto suficientes como óptimas, con el fin de prevenir los niveles peligrosos de contaminación. Fue demostrado que los problemas tratados están bien planteados en sentido de Hadamard (la existencia, unicidad y estabilidad de las soluciones). Fueron desarrollados modelos y esquemas numéricos y programas computacionales, para resolver problemas planteados.

Bibliografía:

- Skiba, Yu.N. (1993). *Rev. Intern. Contamin. Ambient.* 9 (2), 39-51.
Skiba, Yu.N. (1996). *Environmental Monitoring and Assessment.* 43 (2), 139-151
Skiba, Yu.N. (1997). *World Resource Review.* 9 (4), 542-556.
Skiba, Yu.N. and D. Parra-Guevara (1999). *Geofísica Internacional.* 38 (2), 117-124.
Skiba, Yu.N. and D. Parra-Guevara (2000). *Env. Modeling Assessment.* 5 (3), 169-175.
Parra-Guevara, D.P. and Yu.N. Skiba (2000). *Env. Modeling Assessment.* 5 (3), 177-184.
Skiba, Yu.N. (2003). *Ecological Modelling.* 159 (2-3), 125-132.
Skiba, Yu.N. and V. Davydova-Belitskaya (2003). *Ecological Modelling.* 166, 169-184.
Parra-Guevara, D. and Yu.N. Skiba (2003). *Ecological Modelling.* 167 (3), 263-275.
Skiba Yu.N., D. Parra Guevara & V. Davydova (2005). *Env. Monit. Assess.* 111, 89-112.
Parra-Guevara D. & Yu. N. Skiba (2006). *Mathemat. Computer Modelling.* 43, 766-778.
Parra-Guevara D. and Skiba Yu.N. (2007). *Intern. J. Applied Math.* 20 (7), 1005-1026.
Skiba Yu.N. & D. Parra Guevara (2007). Ch. 10 en "Progress in Air Pollution Research", pp. 219-260 (Ed. Sergio P. Balduino), USA, NY, Nova Science Publishers.
Parra-Guevara D., Yu.N. Skiba & A. Pérez-Sesma (2010). *Int. J. Appl. Math.* 23, 549-569.
Parra-Guevara D. & Skiba Yu.N. (2011). Ch. 7 en "Advances in Environmental Research", Vol.15 (Ed. J.A. Daniels), USA, NY, Nova Science Publishers.
D. Parra-Guevara, Yu. N. Skiba & F.N. Arellano (2011). *Int. J. Appl. Math.* (in press).

**Yuri N. Skiba y David Parra-Guevara
(para el Diploma)**

Conferencia magistral

Tema: Medio ambiente y contaminación atmosférica