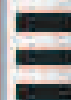


SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TENDENCIAS EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD



www.uaq.mx/ingenieria



Tendencias en ingeniería, tecnología y sociedad

Dr. Gilberto Herrera
(Coordinador)



Buenos Aires • Bogotá • México DF • Santiago de Chile

Edición

Alejandro Herrera

Coordinadores

Gilberto Herrera Ruiz

María del Carmen Espino Gudiño

Vicente Rodríguez Hernández

Revisión

David Moisés Terán Pérez

Gerente editorial

Marcelo Grillo

Datos catalográficosHerrera Ruiz Gilberto; Espino Gudiño María del Carmen;
Rodríguez Hernández Vicente. Coordinadores

Tendencias en ingeniería, tecnología y sociedad

Primera Edición

Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México.

ISBN: 978-607-707-327-7

Formato: 17 x 23 cm

Páginas 290

Tendencias en ingeniería, tecnología y sociedad

Gilberto Herrera Ruiz, María del Carmen Espino Gudiño, Vicente Rodríguez Hernández; COORDINADORES

Derechos reservados © 2012, por Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México

Primera Edición por Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México, febrero 2012

© 2012, por Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México

Pitágoras 1139, Col. Del Valle, C.P. 03100, México, D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana

Registro No. 2317

Internet: <http://www.alfaomega.com.mx>E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx**ISBN: 978-607-707-327-7****Derechos reservados:**

Esta obra es propiedad intelectual de su autor y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Nota importante:

La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele. Los nombres comerciales que aparecen en este libro son marcas registradas de sus propietarios y se mencionan únicamente con fines didácticos, por lo que la editorial no asume ninguna responsabilidad por el uso que se dé a esta información, ya que no infringe ningún derecho de registro de marca. Los datos de los ejemplos y pantallas son ficticios, a no ser que se especifique lo contrario.

Impreso en México. Printed in Mexico**Empresas del grupo:****México:** Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F., México, C.P. 03100

Tel.: (52-55) 5089-7740 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396

E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx**Colombia:** Alfaomega Colombiana, S.A.

Carrera 15 No. 64 A 29, Bogotá, Colombia

PBX (57-1) 2100122 - Fax: (57-1) 6068648

E-mail: cliente@alfaomega.com.co**Chile:** Alfaomega Grupo Editor, S.A.

General del Canto 370-Providencia, Santiago, Chile

Tel.: (56-2) 235-4248 – Fax: (56-2) 235-5786

E-mail: agechile@alfaomega.cl**Argentina:** Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A.

Paraguay 1307 P.B. Of.11, C.P. 1057, Buenos Aires, Argentina

Tel.: (54-11) 4811-0887 y 4811-7183

E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

Contenido

Capítulo 1

¿Qué es el Tepetate? What is Tepetate?.....	1
--	---

Capítulo 2

Tiempo requerido en la compactación del material suelo-cal Time needed in the compaction of the lime-soil material	9
---	---

Capítulo 3

Síntesis y características estructurales de fotocatalizadores de SMD-1 decorados con partículas TiO ₂ Synthesis and structural characteristics of SMD-1 photocatalysts decorated with TiO ₂ particles	19
--	----

Capítulo 4

Efecto de la estructura de tejidos de fibras de henequén sobre las propiedades a flexión de un polímero fibroreforzado Effect of henequen fabric structure on the flexural properties of a fiber reinforced polymer	29
--	----

Capítulo 5

Determinación de la ley de fatiga de mezclas asfálticas a partir de su resistencia en ensayos estáticos de tensión directa Fatigue law of asphaltic mixtures, determined from its breaking strength obtained from direct tensile tests	39
---	----

Capítulo 6

Síntesis y características estructurales de catalizadores Au/(Fe ₂ O ₃)SBA15 Synthesis and structural characteristics of Au/(Fe ₂ O ₃)SBA-15 catalysts	47
--	----

Capítulo 7

Valuación de predios rurales por el método de productividad en función del aprovechamiento del recurso agua Valuation of rural properties by the method of productivity as a function of the obtainability of water resources	57
--	----

Capítulo 8

- Síntesis y caracterización de propiedades físicas de recubrimiento para construcción, aligerado con micro-esferas de copolímero acrílico**
- Synthesis and characterization of physical properties of construction covering, light-weighted with a crylic polymer microspheres..... 65**

Capítulo 9

- Ley de atenuación sísmica para estimar la aceleración máxima del suelo (PGA) en Querétaro, zona del Cinturón Volcánico Mexicano (MVB), deducida por análisis de la trayectoria: Guerrero-Querétaro**
- Seismic attenuation law to estimate the maximum ground acceleration (PGA) in Queretaro, a zone of the Mexican Volcanic Belt (MVB), deduced by trajectory analysis: Guerrero-Queretaro..... 77**

Capítulo 10

- Deconvolución de sismogramas y determinación del ruido sísmico para el sismógrafo instalado en el campus Juriquilla de la UNAM, estación JUR1. Proceso de calibración para la obtención de velocidades, desplazamientos y aceleraciones sísmicas del suelo en Querétaro**
- Deconvolution of Seismograms and determination of noise seismicseismograph installed on campus Juriquilla UNAM, JUR1 station Calibration process to obtain speed, displacement and seismic ground. accelerations in Queretaro..... 91**

Capítulo 11

- Estimación de confiabilidad sísmica de edificios utilizando análisis dinámico incremental del índice de degradación de la rigidez secante**
- Estimation of seismic reliability of buildings using incremental dynamic analysis of the secant stiffness degradation index..... 101**

Capítulo 12

- Estudio cristalográfico de nanocristales de diamante obtenidos a partir de tequila**
- Crystallographic study of diamond nanocrystals synthesized using tequila as precursor 113**

Capítulo 13

- Discursos visuales en la ciudad pantalla**
- Visual speeches in the screen city 121**

Capítulo 14

Ingenio y tecnología para lograr un gran impacto en las transformaciones educativas

Ingenuity and technology to achieve a major impact on educational change 131

Capítulo 15

Ingenierías, requerimientos en competencias

Engineering: requirements of competence 139

Capítulo 16

Sociedad e-Learning e Ingeniería, expectativas para los docentes del SNEST en el paradigma e-Learning

e-Learning society and engineering, expectations for teachers of SNEST in the e-learning paradigm 147

Capítulo 17

Los arcos, vínculo entre la Ingeniería y las Matemáticas

Archs, a link between Engineering and Mathematics 159

Capítulo 18

Aprendizaje colaborativo basado en mundos virtuales

Collaborative learning based on virtual worlds 171

Capítulo 19

Una revisión de detección y remoción de sombras en imágenes de tráfico en horario diurno en escala de gris

A review on the detection and removal of shadows in daytime traffic grayscale images 181

Capítulo 20

Análisis de de gránulos de almidón empleando procesamiento morfológico de imágenes

Analysis of starch granules using morphological image processing 191

Capítulo 21

Modelado de Contaminantes Atmosféricos en la ciudad de México mediante Máquinas de Soporte de Vectores

Modelling of airborne particulate matter in mexico city by using support vector machines 199

Capítulo 22**Análisis de sistemas de control de tracción para un automóvil eléctrico****Analysis of traction control systems for an electric vehicle..... 209****Capítulo 23****Modelado y simulación de redes de tráfico vehicular****Modeling and simulation of vehicular traffic networks 223****Capítulo 24****Diseño e implementación de un servo amplificador basado en microcontrolador de alto desempeño****Design and implementation of a servo amplifier based on high-performance microcontroller 231****Capítulo 25****Procesamiento de imágenes a color para la detección de enfermedades en chile pimienta****Processing color images for the detection of diseases in chili pepper ... 239****Capítulo 26****Identificación de Parámetros en Línea Mediante Redes Neuronales para un Motor de Inducción Trifásico****Line Parameter Identification Using Neural Networks for Three Phase Induction Motor 249****Capítulo 27****Detección de objetos tridimensionales****Three-dimensional object detection..... 259****Capítulo 28****Control multivariable de tanques con sustancias químicas basado en lógica difusa****Multivariable control tank with chemicals based on fuzzy logic Collaborative learning based on virtual worlds 269**

CAPÍTULO 21

MODELADO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO MEDIANTE MÁQUINAS DE SOPORTE DE VECTORES

MODELLING OF AIRBORNE PARTICULATE MATTER IN MEXICO CITY BY USING SUPPORT VECTOR MACHINES

Artemio Sotomayor Olmedo, Marco Antonio Aceves Fernández, Efrén Gorrostieta Hurtado, Jesús Carlos Pedraza Ortega, Emilio Vargas Soto

Facultad de Informática de la Universidad Autónoma de Querétaro

artemio.sotomayor@uaq.mx

RESUMEN

El modelado y la predicción de partículas contaminantes son temas de especial interés en las ciencias ambientales y de la salud. El desarrollo de modelos de partículas contaminantes permite evitar contingencias ambientales, prevenir aumento en los niveles de enfermedades respiratorias sobre la población, entre otros. El objetivo de este trabajo es manifestar la factibilidad del uso de modelos de partículas contaminantes utilizando Máquinas de Soporte de Vectores (MSV). El caso de estudio en este artículo es la ciudad de México y su zona metropolitana, a partir de un conjunto de mediciones experimentales de partículas contaminantes con un radio menor a diez Micras (PM10)

Palabras clave

Modelado y predicción de partículas contaminantes, máquinas de soporte de vectores, PM10.

INTRODUCCIÓN

La predicción de partículas contaminantes es un tema de gran actividad e interés en las áreas de investigación médica y de salud pública, centrando su estudio en las áreas metropolitanas y densamente pobladas. Los primeros trabajos de modelado de partículas contaminantes utilizando técnicas de soft computing (lógica difusa, redes neuronales, algoritmos genéticos, etc.), se sitúan a finales de los años 90's y principios de esta década. (Gardner y Dorling 1999; Nagendra y Khare, 2004; Yildirim y Bayramoglu, 2006). Desde 1995, las máquinas de soporte de vectores han sido utilizadas como generalizadores universales en distintas áreas del

conocimiento, desde aplicaciones de control industrial, (Vapnik e *et al.* 1995,) hasta modelos de predicción económicos (Sapankevych y Sankar, 2009).

En 2002, Lu y Wang (Lu *et al.*, 2002) fueron los primeros investigadores en proponer el uso de máquinas de soporte de vectores (MSV), para su aplicación en el modelado de parámetros relacionados con la calidad del aire. Predicen, a corto plazo, los parámetros de calidad del aire mediante el uso de métodos de regresión no lineales en MSV; donde los datos de entrada son las partículas suspendidas en el ambiente (Óxidos de Nitrógeno - NO_x, Óxidos de Sulfuro - SO_x, etc.). Utilizan exclusivamente una función de kernel gaussiano y los parámetros libres de las máquinas de soporte de vectores son elegidos de manera arbitraria.

En 2005 Wang (Wang *et al.*, 2005) amplía el trabajo de MSV para predicción de partículas contaminantes al hacer una comparación con redes neuronales artificiales. Las MSV utilizan funciones de kernel gaussiana para la predicción de contaminantes. Las predicciones son realizadas durante intervalos de tiempo de 72 horas.

En el trabajo de Osowsky y Garanty (2006), centrado en la predicción de partículas contaminantes, se utiliza una técnica híbrida que incluye máquinas de soporte de vectores y la transformada wavelet Daubechies Db8. Las máquinas de soporte de vectores utilizan funciones de kernel gaussiano y polinomial. Los parámetros utilizados en este trabajo son: temperatura, humedad, presión atmosférica, mes, día de la semana, velocidad, dirección del viento y datos específicos de cada partícula, que dan como resultado una máquina de soporte por cada tipo de contaminante (SO₂, CO₂, PM₁₀, etc.). Los parámetros libres son ajustados arbitrariamente.

En este trabajo, se realiza un estudio comparativo utilizando máquinas de soporte de vectores con las funciones de kernel gaussiano y polinomial, realizando predicciones de niveles de contaminantes atmosféricos de forma mensual, con datos de partículas contaminantes comprendidas entre los años: 2008-2010. Las partículas a modelar son las menores a diez micras de diámetro (PM₁₀).

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación ambiental ha sido por varios años un problema creciente y constante, especialmente en ciudades densamente pobladas y zonas metropolitanas. Existen diferentes tipos de contaminantes ambientales, por ejemplo, algunos compuestos como dióxido de sulfuro, monóxido de carbono y partículas ambientales (particulate matter) que se consideran como indicadores típicos de calidad ambiental (Zamboni *et al.*, 2009, Horvath *et al.*, 2000).

Algunas de las partículas que se encuentran suspendidas en el aire son emitidas directamente desde su fuente de origen, como chimeneas industriales y coches, pero en otros casos como el dióxido de azufre SO₂, el dióxido de nitrógeno NO₂, el monóxido de carbono CO y compuestos orgánicos volátiles (VOC), se interactúa con otros compuestos en el aire que forman partículas ultrafinas o aerosoles, las cuales varían sus propiedades químicas y físicas dependiendo de su localización, tiempo/estación del año y medio ambiente (Briggs *et al.*, 2008).

Existe mucho interés en monitorear, modelar y predecir tendencias de los niveles y efectos de las partículas ambientales (particulate matter) menores a 10 μm (Wang *et al.*, 2010, Ling -

Yan *et al.*, 2008, Briggs *et al.*, 2008). Estas partículas son especialmente importantes por su impacto en la salud pública, por ejemplo, esta es la fracción de partículas que mayoritariamente se aloja en los pulmones; esto es principalmente grave para la población más vulnerable como los niños y ancianos (Weinmayr *et al.*, 2010, Brook *et al.*, 2010). Además, ha sido ligado el incremento en complicaciones médicas en individuos con problemas cardiovasculares e individuos con asma, con el incremento en la concentración de PM10 y PM2.5 en el ambiente (Weinmayr *et al.*, 2010).

En general, las partículas menores a 10 micrómetros son sub-clasificadas en 3 divisiones: PM10 (partículas de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico), PM2.5 (partículas de 2.5 micrómetros) y PM1 (partículas de 1 micrómetro, también llamadas partículas ultrafinas). Estas últimas no son tan estudiadas debido a su alta volatilidad y tamaño. De acuerdo con diversos estudios, la composición de PM10 y PM2.5 generalmente contiene carbono, sulfatos, metales y otros materiales inorgánicos de diferente composición y fuente, que hacen extremadamente difícil de modelar su comportamiento (Zamboni *et al.*, 2009). Por las características presentadas en estos tipos de partículas, es que presentan un comportamiento dinámico no lineal durante su tiempo de vida, debido a todos los fenómenos físicos y químicos presentados, al igual que a los cambios climáticos, y a las condiciones geográficas de la área.

MÁQUINAS DE SOPORTE DE VECTORES

La teoría de las máquinas de soporte de vectores fue desarrollada por Vapnik en el año de 1995 (Vapnik *et al.*, 1995). Está técnica pertenece al ámbito del aprendizaje automático. Las MSV han sido ampliamente utilizadas en aplicaciones de clasificación de objetos, predicción de series de tiempo, análisis por regresión y reconocimiento de patrones. Las máquinas de soporte de vectores tienen como base el principio de minimización de riesgo estructurado.

En el análisis mediante máquinas de soporte de vectores, la idea principal es transportar un conjunto de datos x a un espacio dimensional más alto F , utilizando una función de mapeo no lineal ϕ y posteriormente realizar una regresión lineal en el espacio dimensional original. Por lo tanto, la aproximación de la regresión, aborda un problema de estimación de funciones utilizando un conjunto de datos $G = \{x_i, d_i\}_i^l$ donde x_i representa vectores de entrada y d_i representa los valores de salida deseados, la representación formal a partir de la función ϕ , se muestra en la siguiente ecuación:

$$y = \sum_{i=1}^l w_i \phi_i(x) + b \quad (1)$$

Donde $\{\phi(x)\}_{i=1}^l$ representa el conjunto de datos de entrada x $\{w\}_{i=1}^l$ y b son los coeficientes calculados mediante una función de minimización de riesgo estructurado definida en la ecuación 2.

$$R(C) = C \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{\varepsilon}(d_i, y_i) + \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (2)$$

Donde,

$$L_\varepsilon(d, y) = \begin{cases} |d - y| - \varepsilon & |d - y| \geq \varepsilon \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (3)$$

Donde ε es un parámetro establecido, $L_\varepsilon(d, y)$ es la función pérdidas ε -insensibles que no penaliza los errores de valor inferior a ε . El término de la ecuación 2, $\frac{1}{2} \|w\|^2$ es la medida de la función de uniformidad y el factor de penalización C , es una constante regularizada que determina la compensación entre la función de riesgos y la uniformidad del modelo.

Las variables de holgura son las responsables de la uniformidad del modelo. Si introducimos las variables de holgura ζ y ζ^* en la ecuación 2, nos llevará a la reformulación mostrada a en la ecuación 4:

$$R(w, \zeta) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\zeta_i + \zeta_i^*) w \phi(x_i) + b - d_i \leq \varepsilon + \zeta_i \quad (4)$$

$$\text{Sujeto a: } d_i - w \phi(x_i) + b - d_i \leq \varepsilon + \zeta_i \quad (5)$$

En consecuencia, la ecuación de regresión puede ser rescrita de la siguiente forma:

$$f(x, \alpha, \alpha^*) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x, x_i) + b \quad (6)$$

En la ecuación 6, α y α^* son múltiplos de Lagrange que satisfacen la igualdad $\alpha_i^* \alpha_i = 0$, $\alpha_i^* \geq 0$, $i=1, \dots, l$; puede ser calculada maximizando la forma dual obteniendo:

$$\phi(\alpha, \alpha^*) = \sum_{i=1}^l d_i (\alpha_i, \alpha_i^*) - \varepsilon \sum_{i=1}^l (\alpha_i, \alpha_i^*) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l (\alpha_i, \alpha_i^*) (\alpha_j, \alpha_j^*) K(\alpha_i, \alpha_j) \quad (7)$$

Donde,

$$\sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0$$

con restricciones:

$$i=1, \dots, l$$

$$0 \leq \alpha_i^* \leq C \quad i=1, \dots, l \quad (8)$$

De acuerdo a la naturaleza cuadrática de la programación, sólo los pares de datos distintos de cero $(\alpha_i - \alpha_i^*)$ pueden ser utilizados como vectores de soporte y $K(x_i, x_j) = \phi(x_i)^* \phi(x_j)$ representan las funciones de kernel.

LAS FUNCIONES DE KERNEL

Los cálculos relacionados con ϕ serán realizados sólo por una función de kernel y se aplicarán a un conjunto de datos de entrada (Vapnik, 1995). Para que una función matemática pueda ser utilizada como función de kernel, debe satisfacer la condición de Mercer's (Schölkopf B y Smola, 1999). La condición de Mercer's esta descrita en la ecuación 4:

$$K(x_i, x_j) = \langle \phi(x_i), \phi(x_j) \rangle \tag{4}$$

Las funciones de kernel son un tópico de especial interés en el desarrollo y la implementación de máquinas de soporte de vectores, debido a que las operaciones, relacionadas con ϕ , son realizadas únicamente por una función de kernel K y su propósito es transportar un conjunto de datos x, a un espacio dimensional más alto, F. Las funciones de kernel también permiten analizar problemas no-lineales en un subconjunto de problemas lineales (Schölkopf y Smola 1999; Cristianini, 2000). En este trabajo se propone el uso de funciones de kernel distintas, gaussiano, y polinomial. A continuación se presentan las funciones de kernel más utilizadas la literatura de máquinas de soporte de vectores:

La definición de una función de kernel gaussiano está definida en la ecuación 5, donde σ es un parámetro libre y su valor puede ser ajustado de manera arbitraria (Cristiani, 2000).

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(\frac{-\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \tag{5}$$

La función de kernel polinomial es definida (Schölkopf y Smola, 1999) por la ecuación 6. Donde $\langle x_i, x_j \rangle$ es el producto punto de x_i y x_j , la variable indica la longitud del espacio dimensional mapeado:

$$K(x_i, x_j) = \langle x_i, x_j \rangle^d \tag{6}$$

En general, una máquina de soporte de Vectores comparte un modelo matemático y una arquitectura similar a una red neuronal, esto se ilustra en la Figura 21.1.

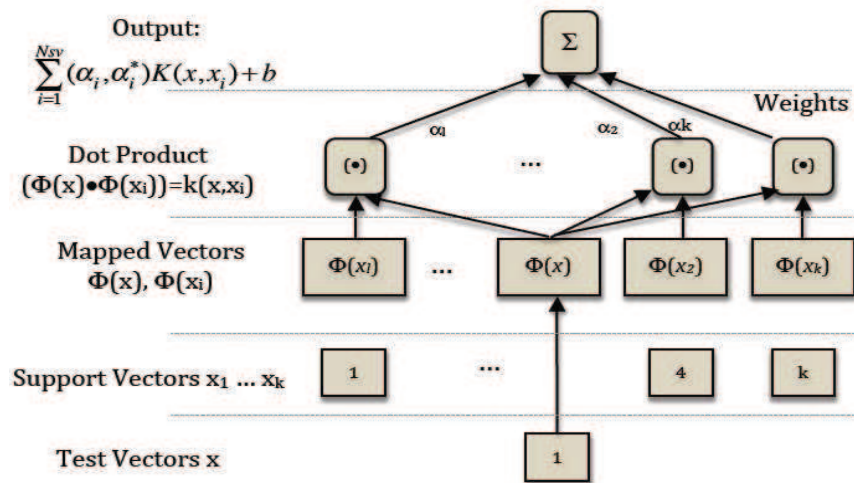


Figura 21.1 Arquitectura de una máquina de soporte de vectores.

METODOLOGÍA

La metodología propuesta es tomada de Lu y Wang (2005) y Wang (2010), en la que se describe, de manera general, los pasos mínimos necesarios para realizar predicciones de partículas contaminantes, utilizando máquinas de soporte de vectores y, de manera exclusiva, funciones de kernel gaussiana y polinomial. En esta tesis, se propone el uso y la comparación de diferentes funciones de kernel, añadiendo bloques extra a la metodología sugerida que se muestra en la Figura 21.2.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Utilizando mediciones experimentales de PM_{10} durante los años 2008 a 2010, (donde los datos del 2008 y 2009 se utilizaron para crear, entrenar y afinar el modelo de MSV's) seguido de múltiples simulaciones realizadas (ajustando los valores de los parámetros libres de las MSV), el parámetro libre σ se ajustó con valores de 2; el parámetro libre ϵ se ajustó con un valor 11; la variable de compensación C se ajustó con el valor de 1000.

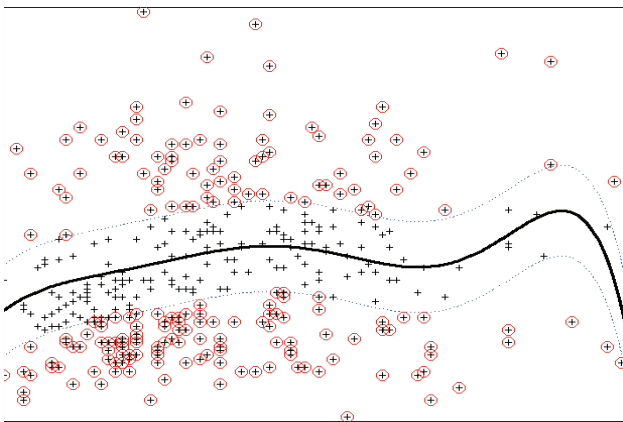


Figura 21.3a. Modelo de partículas contaminantes PM_{10} mediante máquinas de soporte de vectores utilizando un kernel Gaussiano.

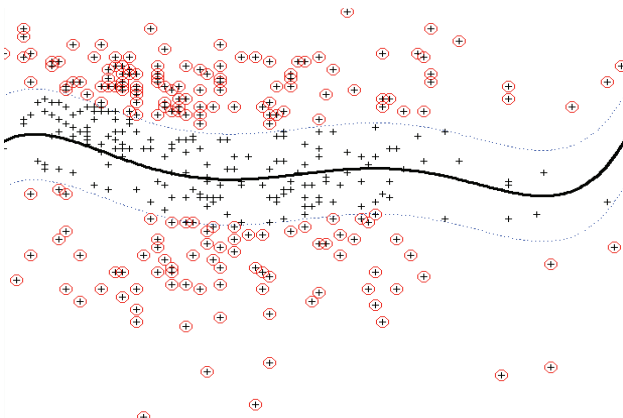
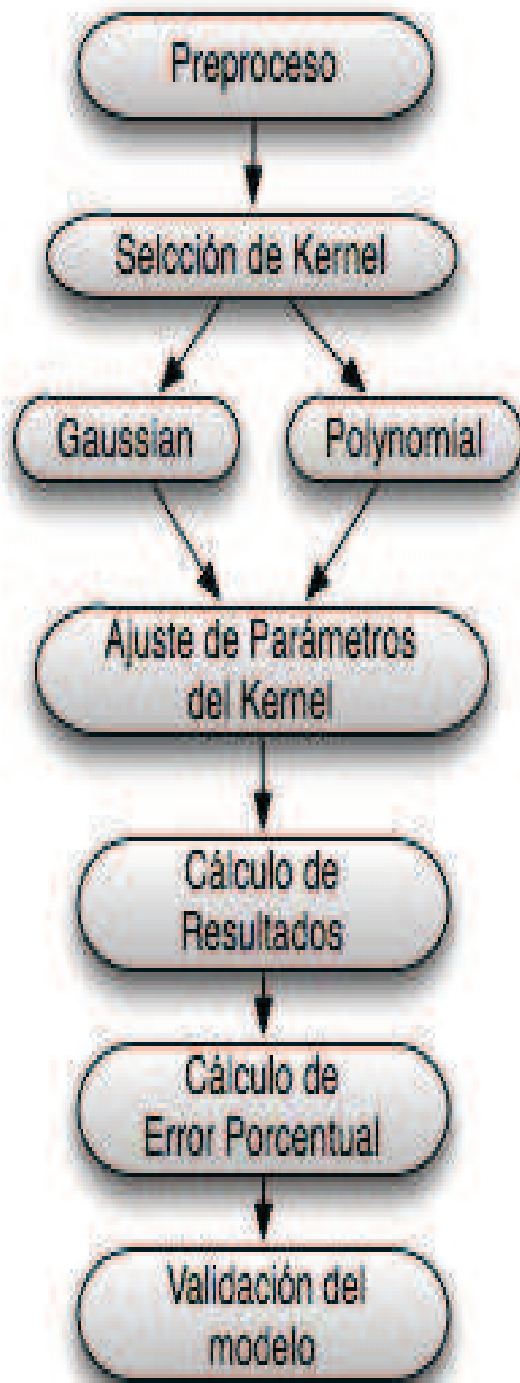


Figura 21.3b. Modelo de partículas contaminantes PM_{10} mediante máquinas de soporte de vectores utilizando un kernel Gaussiano.

Figura 21.3. Modelos Anuales de partículas contaminantes PM_{10} mediante máquinas de soporte de vectores.



Preprocesamiento: analizar los datos de entrada, si es posible, normalizar los datos en una escala de $[-1,1]$ e identificar posibles datos fuera de rango.

Máquinas de Soporte de vectores: elegir el modo de trabajo de las máquinas de soporte de vectores y determinar si es un problema de regresión o de clasificación. En este trabajo, únicamente se utilizará máquinas de soporte de vectores trabajando en modo de regresión.

Selección de funciones de kernel: en este paso se elige una función, se añaden los parámetros libres. En el caso de un kernel gaussiano se añade el valor de las varianzas δ . En caso de que el kernel sea polinomial, se añade el grado del polinomio p .

Selección de parámetros libres C y ϵ : selección de los parámetros libres de las máquinas de soporte de vectores. El parámetro libre C , llamado constante de penalización, determina la compensación entre la función de riesgo (inherente a cada máquina de soporte de vectores) y la uniformidad del modelo. El parámetro libre responsable de la sensibilidad del modelo a los errores y todo valor menor al parámetro ϵ , serán omitidos.

Cálculo de resultados: una vez ajustados los parámetros de la máquina de soporte de vectores, se procede a realizar los cálculos.

Evaluación de resultados: los resultados del modelo se evalúan utilizando *Maximum Absolute (MAE) Error* o bien *Least Means Square Error (LMSE)* (Lu y Wang, 2005; Osowkis y Garanty, 2007; Wang 2010).

Figura 21.2 Metodología para la construcción de modelos implementando Máquinas de Soporte de Vectores.

Tabla 21.1 Resumen de resultados contaminantes PM₁₀ mediante máquinas de soporte de vectores

	Kernel Gaussiano	Kernel Polinomial
Tiempo de ejecución	675.9 segundos	1126.1 segundos
No. Máquinas de Soporte de Vectores	203	196
Sigma	2	--
Grado del polinomio	--	5
Error porcentual.	13%	19%

Tabla 21.2 Resumen de resultados mensuales de partículas contaminantes PM₁₀.

Modelo 2010	Kernel Polinomial		Kernel Gaussiano	
	No. of SVM	Tiempo de ejecución	No. of SVM	Tiempo de ejecución
Enero	18	0.4s	21	0.2s
Febrero	25	0.4s	28	0.2s
Marzo	10	0.4s	14	0.2s
Abril	10	0.4s	12	0.2s
Mayo	29	0.6s	31	0.3s
Junio	30	0.6s	30	0.3s
Julio	27	0.6s	31	0.2s
Agosto	16	0.4s	18	0.2s
Septiembre	25	0.3s	30	0.3s
Octubre	29	0.6s	31	0.3s
Noviembre	14	0.3s	16	0.2s
Diciembre	14	0.3s	16	0.2s

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Las máquinas de soporte de vectores proveen un mecanismo flexible y escalable de modelado de sistemas dinámicos y no-lineales. En este trabajo se presentó un método de modelado de partículas contaminantes PM₁₀ mediante la aplicación de máquinas de soporte de vectores, con una función de kernel gaussiano y polinomial, trabajando en modo de regresión. Estos modelos poseen un buen desempeño con distintos datos. La importancia de los parámetros libres reside en su selección, pues un ajuste adecuado en los valores de dichos parámetros es

crítico para el buen desempeño de las MSV's. Una ventaja más, que ofrece la aplicación de MSV's, es el garantizar la identificación de valores mínimos y máximos globales en un sistema, característica que no poseen las redes neuronales artificiales. Finalmente, en un futuro, en las funciones de kernel (cuya tarea principal es mapear datos de un espacio dimensional a un espacio dimensional de orden superior), se planea implementar funciones más novedosas, como: Wavelet kernel, Fuzzy kernel o kernels híbridos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal por la asequibilidad de las bases de datos del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). También, se agradece a la SEP a través del programa PROMEP, por su apoyo moral y económico (número de proyecto 103-5/09/4100).

REFERENCIAS

Aceves-Fernandez M.A., Jones G.R., Kolupula Y.R., Reichelt T., Spencer J.W., Pedraza-Ortega C., and Gorrostieta E. "Capability of a Portable Chromatic Unit for Monitoring Airborne Particles over Wide Urban Areas". *Journal of sensors*, Hindawi Publishing Corporation. (2009)

Briggs D.J, Hoogh K., Morris C., Gulliver J. "Effects of travel mode on exposures to particulate air pollution", *Environment International*, Vol.34, pp. 12-22, (2008).

Cristianini, N., Shawe-Taylor, J., *An introduction to Support Vector Machines and other kernel-based learning methods*, Cambridge University Press, Cambridge, UK 2000.

Grivas, G., & Chaloulakou, A. "Artificial neural network models for prediction of PM10 hourly concentrations, in the Greater Area of Athens, Greece". *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp. 1216-1229. (2006).

Horvath H.: "Aerosols - an introduction", *Journal of Environmental Radioactivity* Vol. 51, pp. 5-25, (2000).

I. Sapankevych and R. Sankar, "Time series prediction using support vector machines: A survey," *Computational Intelligence Magazine, IEEE*, vol. 4, no. 2, pp. 24-38, (2009).

M.W. Gardner and S.R. Dorling, *Neural network modelling and prediction of hourly NOx and NO2 concentrations in urban air in London*, *Atmospheric Environment* Vol. 33. pp. 709-719. (1999).

Nagendra SMS, Khare M. *Artificial neural network based line source models for vehicular exhaust emission predictions of an urban roadway*. *J Transport Res. D*. Vol.9 No. 3 pp.199-208. (2004).

Osuna, E., R. Freund, F. Girosi.: *Support vector machines: Training and applications*. AI Memo 1602, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 44. 1997.

P. Viotti and P.D. Genova, *Atmospheric urban pollution: applications of artificial neural network (ANN) to the city of Perugia*, *Ecological Modelling* Vol. 148 pp. 27-46. (2002)

P.D. Hien, V.T. Bac, H.C. Tam, D.D. Nhan and L.D. Vnh, Influence of meteorological conditions on PM_{2.5} and PM_{2.5}-PM₁₀ concentrations during the monsoon season in Hanoi, Vietnam, *Atmospheric Environment* Vol.36 pp. 3473–3484. (2002)

Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., & Kakaliagou, O. Saharan “The dust contributions to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain”. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp. 2433–2447. 2001

S. Osowski and K. Garanty, "Forecasting of the daily meteorological pollution using wavelets and support vector machine," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 20, no. 6, pp. 745-755, September (2007).

Schölkopf B.: Smola A. J.: and Burges C.: *Advances in Kernel Methods –Support Vector Learning*. Cambridge, M.A.: MIT Press. (1999)

Vapnik, V.N., A.Y. Chervonenkis, 1989. “The necessary and sufficient conditons for the consistency of the method of empirical minimization” [in Russian], yearbook of the Academy of Sciences of the USSR on Recognition, Classification, and Forecasting, 2, 217–249, Moscow, Nauka, (English transl.: “The necessary and sufficient conditons for the consistency of the method of empirical minimization. *Pattern Recognition and Image Analysis*”, Vol.1, pp. 284–305, 1991)

Vladimir N. Vapnik. “The nature of statistical learning theory”. Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, (1995).

W. Lu and W. Wang, "Potential assessment of the support vector machine method in forecasting ambient air pollutant trends," *Chemosphere*, vol. 59, no. 5, pp. 693-701, April (2005).

Wang F., Chen D.S., Cheng S.Y., Li J.B., Li M.J., Ren Z.H. “Identification of regional atmospheric PM₁₀ transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis”. *Environmental Modelling & Software*. Vol. 25, pp. 927-934. 2010

Weinmayr G., Romeo E., Sario M., Weiland S.K., and Forastiere F.: “Short-Term Effects of PM₁₀ and NO₂ on Respiratory Health among Children with Asthma or Asthma-like Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 118, No. 4, pp.449-457, (2010)

Yildirim, Y., & Bayramoglu, M. “Adaptive neuro-fuzzy based modelling for prediction of air pollution daily levels in city of Zonguldak”. *Chemosphere*, Vol. 63, pp. 1575–1582. (2006)

Zamboni G., Capobianco M., Daminelli E. “Estimation of road vehicle exhaust emissions from 1992 to 2010 and comparison with air quality measurements in Genoa”, *Italy Atmospheric Environment* Vol. 43, pp. 1086–1092, 2009