
**ESTUDIO DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA MEDIANTE LA
MODELACION MATEMATICA:
Caso de la Ciudad de Chitré, Provincia de Herrera, República de Panamá.**

©2014. Investigador principal: **Ing. Carlos A. Cedeño D.**
Docente TC / Departamento de Energía y Ambiente/Facultad de Ingeniería Mecánica,
Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero. E-mail: carlos.cedeno@utp.ac.pa

INTRODUCCION

El área de conocimiento de la investigación es *energía y ambiente*, en el aspecto específico de la Ingeniería Ambiental: *contaminación atmosférica*.

La presencia en el aire de cualquier sustancia que altere la calidad del medio ambiente, produce un impacto ambiental denominado *contaminación atmosférica*, motivo de preocupación local y global, ya que éste tiene afectación directa e indirecta sobre la salud humana, flora (plantas), fauna (animales) e infraestructuras y materiales existentes, interfiriendo así en la calidad de vida, y el cambio climático debido a los Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El proyecto de investigación pretende realizar el estudio de la contaminación atmosférica mediante la aplicación de la *modelación matemática* como herramienta de predicción de impactos ambientales atmosféricos debido a emisiones de CO₂ y PM₁₀, a microescala, en puntos seleccionados dentro del *sistema* seleccionado, el cual es el *Distrito de Chitré (o Ciudad de Chitré, cuyas coordenadas UTM son: 880321mN - 562816 mE)*, Provincia de Herrera, República de Panamá.

Los resultados de la investigación generarán fundamentos científicos para el diseño o mejora de estrategias de gestión ambiental y normas ambientales, por parte de las autoridades estatales y locales, y poder así prevenir y mitigar el problema de contaminación atmosférica existente en esta región y el país, lo que sería de gran beneficio socioeconómico y ambiental.

Cabe señalar que el tema propuesto, en lo que respecta a calidad del aire, es un tema de interés nacional ya que dicha línea de investigación forma parte de la Estrategia Nacional del Ambiente de la R.P. según su Visión Nacional 2020 (ANAM, 2006).

OBJETIVOS

Objetivo general.

Evaluar la contaminación atmosférica mediante la modelación matemática de la zona de influencia conocida como Distrito de Chitré, Provincia de Herrera, República de Panamá.

Objetivos específicos.

- a) Realizar un análisis del estado del arte sobre la contaminación atmosférica y su modelación matemática (modelos de calidad de aire ambiental y otros), criterios de evaluación y diseño, normativas aplicables, situación actual local y tendencias internacionales.
- b) Determinar el inventario de emisiones atmosféricas de las fuentes representativas, dentro del dominio geográfico de modelación, que se encuentran obligadas a cumplir con los requerimientos de la normativa ambiental vigente.

- c) Medir la calidad de aire para CO₂ y PM₁₀.
- d) Estudiar y aplicar la metodología y modelación matemática a utilizar en el estudio de la contaminación atmosférica de la zona de influencia.
- e) Analizar y validar estadísticamente el comportamiento actual y futuro de la contaminación atmosférica de la zona de influencia de acuerdo a los resultados de la modelación.
- f) Proponer una estrategia de gestión ambiental, para prevenir y controlar, la contaminación atmosférica en la zona de influencia, y el país en general.

MATERIALES Y METODOS.

Los medios para lograr la validez o confiabilidad de la investigación que se propone - mediante el método científico-, están en función de todas aquellas herramientas metodológicas y prácticas requeridas para tal fin. En consecuencia, se utilizarán los métodos, técnicas y datos relacionados al estudio de la contaminación atmosférica por fuentes móviles, referenciadas por entidades y organismos internacionales, como es el caso de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA, *United States Environmental Protection Agency*), Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, *European Environment Agency*), Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*), Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entre otros organismos relacionados al tema propuesto, tal como lo describe el anteproyecto antes señalado.

Estos organismos han desarrollado y aplicado metodologías y técnicas para el estudio de la contaminación atmosférica, en lo que respecta a inventario de emisiones, factores de emisión, modelación y simulación matemática de dispersión de contaminantes atmosféricos, cálculo de concentración contaminantes por gases y/o partículas, afectaciones a la salud humana y otros, y métodos estadísticos útiles para la validación de los resultados de la investigación. Se consideran además, aquellos acuerdos internacionales sobre la temática, tales como, el Convenio Marco sobre Cambio Climático y el protocolo de Kyoto, como referencia para determinar en el cumplimiento del mismo por nuestra parte como País.

En el ámbito nacional se tienen entidades de colaboración técnica y de información como:

- Ministerio de Ambiente
- Empresa de Trasmisión Eléctrica, S.A. (ETESA),
- El Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá,
- El Laboratorio Ambiental y de Higiene Ocupacional de la Empresa EnvioLAB acreditado ISO 17025.
- El Laboratorio de Investigación de la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión de la Universidad Tecnológica de Panamá (VIPE) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Debido a que los *inventarios de emisiones contaminantes a la atmósfera* constituyen un dato de entrada básico en los estudios de calidad del aire, y por ende son la base de las proyecciones de emisión, se utilizará (en la medida de lo posible, y con las adaptaciones necesarias) la nomenclatura SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) de la Metodología EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2009 (cuya anterior versión fue EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook-2007), tanto para GEI como para PM (material particulado) según clase diamétrica. De igual manera se tomara en consideración lo establecido por el IPCC.

Para diseñar e implementar *estrategias de control de la contaminación del aire*, se usara para predecir las concentraciones en el aire ambiente, una *modelación matemática* de la calidad del aire con escala espacial local –microescala- mediante parámetros matemáticos y estadísticos existentes, de acuerdo al modelo que aplique al tipo de estudio e información existente puntual o histórica, o medida, y que brinde la menor incertidumbre posible.

El modelo de calidad del aire contra el cual se contrastara el modelo a desarrollar será el elaborado por California/Carnegie Institute of Technology (CIT) versión 3.0, el cual es capaz de simular el transporte, reacción y remoción por depositación en seco de contaminantes gaseosos emitidos en una determinada cuenca atmosférica (McRae *et al.* 1982a, Russell *et al.* 1988, Harley *et al.* 1983, Mendoza y Graniel 2007).

También, se podrá realizar modelaciones adicionales con alguno de los modelos recomendados por la EPA, tal es el caso del ISC3 (Industrial Source Complex Model), ya que el mismo también sirve para modelar áreas y volúmenes, bajo algunas consideraciones (o suposiciones) especiales. Sin embargo, dependerá de la posibilidades de acceso inmediato a costos razonables a cada uno de los modelos indicados, lo que de no poder ser, se evaluará y sustentará el uso de otro modelo, tal es el caso como el MODEM (Modelo de Emisiones Vehiculares, CONAMA, 2009), Modelo matemático *SofIA* (Software de Impacto Atmosférico) de dispersión de contaminantes (Tarela y Perone, 2001), los cuales también han sido aplicados y han demostrado proveer información válida.

En cuanto al financiamiento del proyecto de tesis doctoral la República de Panamá cuenta con la *Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Información* (SENACYT), la cual es una institución autónoma creada en el año de 1997, cuya misión es convertir la ciencia y la tecnología en herramientas de desarrollo sostenible para el país, siendo una de sus actividades otorgar becas para estudios y desarrollo de investigaciones. De igual manera existen a nivel local e internacional otras posibles fuentes de financiamiento de proyectos de investigación, incluyendo a la misma UTP.

De igual forma, se solicitaran fondos a The Partnerships for Enhanced Engagement in Research (PEER) organización interesada en proveer fondos para proyectos de investigación en –climate process and modeling and environmental engineering-. También existe la posibilidad de acceder a fondos de la Facultad de Ingeniería Mecánica (FIM) de la Universidad Tecnológica de Panamá, institución para la cual trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

HERNANDEZ *et al.* (1991). *Metodología de la investigación*. 1ª. ed. México. Editorial McGraw-Hill. 505p.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AMBIENTE –ANAM- (2000). Unidad de cambio climático y desertificación. *Segundo Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Panamá*. 4p. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/eco/027205/027205-15.pdf>

BALLESTER, F. (2005). Contaminación Atmosférica, Cambio Climático y Salud. *Revista Especializada Salud Pública*, v.79, n.2, p.159-175. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/FBallester.pdf>

CATIE. Grupo de Cambio Climático. (2009). *ABC del Cambio Climático en Mesoamérica*. 57p. Disponible en: CATIE, Heredia, Costa Rica. miguel.cifuentes@gmail.com

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Working Groups I, II and III (2007). *The fourth assessment report of IPCC: Synthesis report*. 104p. Disponible en: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/frontmatter.html

- COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). Departamento de Control de la Contaminación (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.* 143p. Disponible en: http://www.google.com/#sclient=psyab&hl=es&rlz=1R2RNRN_esPA431&source=hp&q=guia+metodologica+de+emisiones+atmosfericas+de+conama&rlz=1R2RNRN_esPA431&pbx=1&oq=guia+metodologica+de+emisiones+atmosfericas+de+conama&aq=f&aql=1&gs_sm=e&gs_upl=1061115974101181741571321312141011123110250134.8.6.1.112510&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&fp=37b1eb3b5fe8223a&biw=1280&bih=560
- ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS (ONU). Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL). *Informe de factibilidad económica del cambio climático en Centroamérica.* (2009). 28p. Disponible en: ONU-CEPAL/publicaciones.
- TARELA, P.A.; PERONE, E.A. (2005). Evaluación de impactos de emisiones gaseosas difusas mediante modelado matemático. *Mecánica Computacional*, Buenos Aires, Argentina, v.24, n.7, p.1375-1387. Disponible en: <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/104/92>
- TARELA, P.; GAIOLI, F. (2001). El cambio climático y la polución urbana. Paciones de mitigación de gases de efecto invernadero e inventario de emisiones y concentraciones de contaminantes locales del sector transporte automotor en el
- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ (UTP). (1997). Facultad de ingeniería Mecánica, Centro de Investigaciones Energéticas y Ambientales, Panamá. *Informe de proyecto Estudio de la Contaminación Atmosférica en el Área Metropolitana de Panamá.* 70p.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA (UPC). (2000). Grupo de trabajo sobre evaluación preliminar, posterior y modelación de la calidad del aire.. *Guía para la aplicación de modelos de la calidad del aire.* 38p.
- ANDERSON, H.R. (2009). Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.43. n.1, p.142-152. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.
- ALCAIDE, Mª T. (2000). *Efectos ambientales del tráfico urbano: La evaluación de la contaminación Atmosférica en Madrid.* España, 358p. Tesis (Ingeniería) – Programa de Ingeniería de Montes, Departamento de Construcción y Vías Rurales, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- ALLEY E.R. & Associates, Inc. (2001). *Manual de control de la calidad del aire.* Tomo I y II. 1ª. ed. México. Editorial McGraw-Hill. 652p
- ARGYROPOULOS, C.; SIDERIS, G.; CHRISTOLIS, M.; NIVOLIANITOU, Z.; MARKATOS, N. (2010). Modelling pollutants dispersion and plume rise from large hydrocarbon tank fires in neutrally stratified atmosphere. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.44, n.6, p.803-813. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.
- BIELTVEDT, R.; FUGLESTVEDT, J.; BERNTSEN, T.; TRONSTAD, M.; MYHRE, G.; RYPDAL, K. (2009). Global temperature change from the transport sectors: Historical development and future scenarios. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.43. n.39, p.6260-6270. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.
- BIGI, A.; HARRISON, R. (2010). Analysis of the air pollution climate at a central urban background site. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.44, n.16, p.2004-2012. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.
- BLASER, M. (2000). *Dispersión de la contaminación atmosférica causada por el tráfico vehicular: aplicación de un modelo matemático a para Guatemala Ciudad y San Salvador.* 99p. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/dispers/dispers.pdf>

- BORREGO, C.; LEMOS, S.; CARVALHO, A.; COUTINHO, M. (2000). A modelling system for air quality management. *International Journal of Environment and Pollution*, v.14, n.1/2/3/4/5/6, p.607-615.
- BRIMBLECOMBE, P; STURGES, K. (2009). History of atmospheric environment. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.43. n.1, p.2-8. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.
- BUITRAGO, J. (2003). *Aplicación del modelo Gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales*. Manizales, Colombia, 175 p. Tesis (Maestría) – Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia.
- BUSTOS, C. (2004). *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: análisis del proceso*. Santiago de Chile, 86p. Tesis (Maestría) – Programa de Magister en gestión y planificación ambiental, Universidad de Chile.
- CANTER, L. (1998). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto ambiental*. 2ª. ed. España. Editorial McGraw-Hill. 841p.
- CAPUTO, M.; GIMIENEZ, M.; SCHLAMP, M. (2004). *Mecánica Computacional*, Bariloche, Argentina, v.23, n.16, p.1727-1741. Disponible en: <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/380/367>
- DAVYDOVA, V.; SKIBA, Y.; BULGAKPV, S.; MARTINEZ, A. (1999). Modelación matemática de los niveles de contaminación en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Distrito Federal, México, v.15, n.2, p.103-111.
- DAWIDOSKI, L.; GÓMEZ, D.; REICH, S. (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental atmosférico. *Comisión Nacional de Energía Atómica*, de la Honorable Cámara de Diputados de la Nación, Buenos Aires, Argentina. 52p. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/guiaeia/guiaeia.pdf>
- EPA – Environmental Protection Agency. Atmospheric Modeling and Analysis Division, (2006). *CMAQ Science Documentation*. 611p. Disponible en: <http://www.epa.gov/asmdnerl/CMAQ/CMAQscienceDoc.html>
- FENGER, J. (2009). Air pollution in the last 50 years – From local to global. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.43. n.1, p.13-22. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.
- GALLARDO, L. (2003). Trazas atmosféricas y su modelación. *Comisión Nacional de Energía*. Chile. 32p. Disponible en: http://www.dim.uchile.cl/~lgallard/publications_lgk/Capitulo_4.pdf
- GLIGO, N. (1987). El concepto de sustentabilidad ambiental en las estrategias de desarrollo. *Unidad conjunta de desarrollo y medio ambiente - CEPAL/PNUMA*, v.3, n.1 y 2, p.17-19.
- GOMEZ, M.; SALDARRIAGA, J.; CORREA, M.; POSADA, E., CASTRILLÓN, F. (2007). Modelación estadística de los aportes de las vías fuentes de emisión a las partículas totales en suspensión según modelo MCF, zona centro de Medellín-Antioquia-Colombia. *Dyna*, Medellín, v.74, n.153, p.35-40.
- GROUSE, D.L.; GOLDBERG, M.S.; ROSS, N. (2009). A prediction-based approach to modelling temporal and spatial variability of traffic-related air pollution in Montreal, Canada. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.43. n.15, p.1859-1874. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.
- HE, H.; ZHEN, W.; XUE, Y. (2009). Prediction of PM₁₀ concentrations at urban traffic intersections using semi-empirical box modelling with instantaneous velocity and acceleration. *Atmospheric Environment: Elsevier*, v.43. n.40, p.6336-6342. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/atmoenv>.