

MODELO IVE : METODOLOGÍA, MEDICIONES Y SIMULACIÓN DE LAS EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN LA CIUDAD DE LIMA - PERÚ

THE IVE MODEL: METHODOLOGY, MEASUREMENTS AND SIMULATION OF EMISSIONS FROM MOBILE SOURCES IN THE CITY OF LIMA - PERU

Daniel Lovera*, Mauricio Osses**, Nick Nikila***, Daniel Nuñez*, Laureano Valentín*,
Gustavo Mayor*, Helga Valdivia*, Santos Vera*

RESUMEN

El Modelo IVE se ha diseñado para evaluar las condiciones ambientales de las emisiones de fuentes móviles que operan en las ciudades, a la fecha se viene aplicando exitosamente en megaciudades como los Ángeles, Santiago, Kajastán, Nairobi, entre otras, y en el 2003 se aplicó en forma exitosa en la Ciudad de los Reyes, Lima, para ello se realiza las coordinaciones institucionales con la Comisión Nacional de Aire Limpio para apoyar esta iniciativa que planteaban la Universidad de California Riverside y la Universidad de Chile.

La metodología IVE se basa en protocolos establecidos como características de conducción, Partidas de vehículos (unidades VOCE), encuestas de flota y videos de los circuitos elegidos, que se cumplieron en forma rigurosa y técnica, lográndose una data valiosa para las simulaciones posteriores de los gases efecto invernadero, de los factores de emisión, el patrón de comportamiento del parque automotor, perfiles de velocidad, entre otras variables.

Mostramos algunos datos recolectados durante el trabajo de campo realizado en el mes de Octubre – Diciembre, así como un avance de los resultados obtenidos comparados con otras megaciudades donde también el modelo IVE a efectuado mediciones con la mira de obtener una metodología regional accesible, barata y que permita tomar acciones de mitigación para establecer normativas para mejorar la calidad de vida de las ciudadanos.

Palabras Clave: Aire Limpio, Emisiones Vehiculares, Medio Ambiente.

ABSTRACT

The IVE Model has been designed to evaluate environmental conditions of emissions from mobile sources operating in cities. So far, it is being successfully applied in megacities such as Los Angeles, Santiago, Kajastan, Nairobi, among others, and in 2003 it was successfully applied also in Lima, the City of Kings. For that purpose, institutional coordinations are made together with the Clean Air National Committee, in order to support this proposal set upon by Riverside University of California and Universidad de Chile.

The IVE methodology is based on established protocols such as conduction characteristics, vehicles startings (VOCE units), fleet surveys and videos of the circuits chosen, which were carried out in a severe and technical way, thus obtaining valuable data for the following simulations of greenhouse gases, emission factors, the behaviour pattern of the whole of vehicles in the city, speed profiles, among others.

* Instituto de Investigación Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. E-mail: iigeo@unmsm.edu.pe

** Universidad de Chile. E-mail: maosses@ing.uchile.cl

*** Global Sustainable Systems Research. E-mail: mail@gssr.net

We show some data collected during field work done in October-December, as well as an advance of the results obtained as compared with other megacities, where the IVE model has also performed measurements with the purpose of obtaining an accessible and cheap regional methodology, one that can allow to take mitigation actions in order to establish rules to improve citizens' life quality.

Key Words: Clean Air, Vehicles Emissions, Environment.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto permite medir las sustancias tóxicas emitidas por los vehículos con la finalidad de elaborar una base de datos que servirá para diseñar políticas y normas que resuelvan el problema de la contaminación ambiental en la capital.

Con el objetivo de definir los lineamientos y precisar las zonas donde se realizarán las mediciones pertinentes, se reunieron en San Marcos especialistas de las tres universidades involucradas y representantes de instituciones que velan por la conservación del medio ambiente como: CONAM, SENAMHI, CEPIS, DIGESA, entre otros [1].

Este modelo ya ha sido aplicado en varias ciudades del mundo como: los Ángeles, Santiago de Chile, Kajastán (Ex Rusia) y Nairobi (África).

En esta segunda etapa se trabajará en Lima, México y en Beijing (China).

II. METODOLOGÍA IVE

2.1. Seleccionar áreas socioeconómicas

Seleccionar propuesta de áreas que representen sectores residenciales de bajo y alto ingreso, y áreas comerciales de Lima.

- a. Seleccionar rutas que representen calles residenciales, arterias y autopistas en cada una de las tres áreas (en el área comercial dos rutas arteriales y una autopista). Sería mejor si las rutas residencial y arterial pudiesen ser ciclos continuos para evitar detenciones y giros alrededor de cada extremo de la ruta. Esto generalmente no es posible para las rutas en autopista.
- b. Seleccionar ubicaciones apropiadas de las cámaras para cada ruta en cada área. Esto debería ser en ubicaciones que permitan a la cámara tener visión de todas las pistas en una dirección y para que los revisores de video sean capaces de identificar vehículos y contarlos. Ge-

neralmente, pasos sobre nivel y largas extensiones rectas de camino funcionan mejor.

- c. Asegurar coordinación general
 - i. Características de conducción
 - ii. Partidas (unidades VOCE)
 - iii. Encuesta de flota
 - iv. Video

2.1.1. Características de conducción

- a. Identificar tres vehículos de pasajeros disponibles por seis días de estudio.
- b. Identificar tres conductores disponibles por seis días.
- c. Identificar tres personas para tomar buses.
- d. Identificar dos vehículos de pasajeros tipo taxi y tres taxis de tres ruedas para portar unidades GPS y unidades VOCE. Usaremos vehículos de pasajeros tipo taxi por tres días y taxis de tres ruedas por tres días. Adicionalmente, trataremos de usar la unidad extra GPS para recolectar información de taxis en horario nocturno. Los taxis necesitan tener conexión para encendedor de cigarrillo, para conectar las unidades VOCE. Para los casos de tres ruedas, podríamos necesitar abrazaderas para fijar la unidad VOCE al sistema eléctrico, debido a que probablemente no habrá encendedor de cigarrillo disponible.
- e. Un(os) camión(es) para portar unidades GPS y VOCE, cada uno de los seis días.

2.1.2. Monitoreo de partidas

- a. 100 a 120 vehículos serán equipados con unidades VOCE (monitores de partida) por 4 a 5 días cada uno. Los vehículos deben estar equipados con una conexión de encendido de cigarrillo en buenas condiciones, para conectar las unidades VOCE en el sistema eléctrico del vehículo. Entregaremos unidades VOCE el lunes

1° de diciembre y las solicitaremos de regreso el viernes 5 de diciembre en la mañana. Descargaremos la información y entregaremos las unidades VOCE el mismo viernes 5 de diciembre en la tarde, para solicitarlas de regreso al final de la tarde del miércoles 10 de diciembre.

- b. Una o dos personas para entregar y recibir las unidades VOCE.

2.1.2.1. Unidad de monitoreo de encendido por voltaje del vehículo (VOCE)

Los vehículos contaminan más cuando se encienden con el motor en frío, comparado con su operación a temperatura normal. Mientras más fría sea la partida, mayores serán las emisiones. Por este motivo es importante saber cuan a menudo los vehículos son encendidos en áreas urbanas y por cuanto tiempo un vehículo está apagado entre partidas, para realizar estimaciones precisas de emisiones por partida en frío. La Universidad de California de Riverside cuenta con 60 unidades VOCE para medir cuantas veces los vehículos son encendidos y por cuanto tiempo. Estas unidades VOCE también entregarán información de por cuanto tiempo los vehículos son ocupados a diferentes horas del día. La Figura N.º 1 muestra una de las unidades en una aplicación típica. La unidad se conecta en el encendedor de cigarrillos del vehículo y dejados allí por una semana continua sin ser desconectados en ningún momento. La unidad VOCE trabaja simplemente registrando el voltaje del vehículo una vez por segundo, sin afectar en absoluto el funcionamiento normal del sistema eléctrico y no consume electricidad del vehículo ya que tiene sus propias baterías. Se ha desarrollado un programa para descargar e interpretar la información de la unidad.



Figura N.º 1. Unidad VOCE instalado en un vehículo.

Durante el estudio, 60 unidades serán distribuidas a conductores locales y conectados a sus encendedores de cigarrillo por cuatro a cinco días. Las unidades serán entonces recuperadas, la información descargada y entregadas a otros 60 vehículos diferentes por otros cuatro o cinco días. En algunos casos, cuando hay un fin de semana en medio de la medición, las unidades estarán por un tiempo más largo conectadas a los vehículos.

Gracias a la información recolectada, será posible estimar las emisiones producidas durante el tiempo de partida en frío de los vehículos en Lima. Esta información será integrada con otras mediciones que se realizarán en forma paralela, las cuales registran las condiciones de conducción.

En resumen, para una correcta utilización se debe considerar lo siguiente:

- La unidad se debe conectar al encendedor de cigarrillos del vehículo.
- No se debe desconectar la unidad en ningún momento durante todo el tiempo de medición.
- La unidad no consume voltaje del sistema eléctrico del vehículo ya que cuenta con sus propias baterías.
- Sólo se registran encendidos y tiempos entre partidas, no hay registro de la ubicación del vehículo durante su operación.
- Es importante recuperar las unidades al término de la medición para descargar la información y continuar con otros vehículos.
- Estas unidades no tienen valor comercial ya que han sido específicamente diseñadas para esta operación de fines académicos y de investigación.

2.3. Encuestas de flota

- a. Identificar dos personas con buen conocimiento de automóviles (buena formación en mecánica automotriz) para participar en encuestas de estacionamientos por seis días. Deseamos recolectar información de 800 a 1000 vehículos. Los días de trabajo no necesariamente deben coincidir con los seis días en los cuales las unidades GPS estarán monitoreando la actividad de conducción.
- b. Una persona que se encargue de dar explicaciones a guardias de seguridad, preguntas del público, etc. Si se decide que el grupo debe ser dividido en dos equipos, entonces otra persona será requerida para encargarse de las explica-

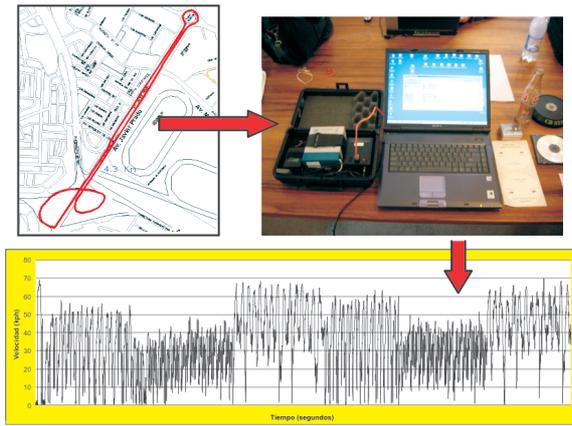


Figura N.º 7. Javier Prado, miércoles 03/12/2003, 06:00-13:00 hrs.

3.2. Monitoreo de vehículos con unidades VOCE

Las instituciones que participaron empleando las unidades VOCE para el monitoreo de la velocidad y aceleración de vehículos de sus funcionarios son las siguientes: CONAM, CEPIS, MEM, PROTRANSPORTE, UNMSM, CATÓLICA, entre otros. Lográndose un 45% de información VOCE, para una cantidad de 110 vehículos.

3.3. Encuestas



Figura N.º 8. Alumnos de SENATI encuestando.

Las encuestas de flota se realizaron con el apoyo de 20 alumnos de UNMSM, 10 alumnos de SENATI [2] ver figura 8. Se logró un total de 1100 encuestas en los dos días que duró la actividad. Las zonas encuestadas fueron las siguientes:

1. Jokey Plaza
2. Centro Comercial Risso
3. La Bolichera Santa Isabel
4. Hospital María Auxiliadora

3.4. Videos del tráfico



Figura N.º 9. Filmación del tráfico vehicular.

El equipo de video se traslado a las zonas de tráfico en la ciudad de Lima para filmar la dinámica automotriz y, para su posterior visualización con una equipo especial para llenar las planillas y hacer el conteo de vehículos por hora y circuito.

Lográndose un 65% de filmación en sectores de Lima en un tiempo acumulado de 14 horas. Ver figura 9, 10 y 11.



Figura N.º 10. Equipo de investigación del IIGEO - UNMSM.



Figura N.º 11. Visualización de los videos.

3.5. Monitoreo de rutas largas

Datos proporcionados por la Comisión de Pro Transporte [3,4]. En cuanto a las rutas largas que atraviesan la capital, nos permitieron hacer mediciones con GPS en 11 rutas largas ver figura N.º 12, entre las mencionadas están:

1. Pachacamac - Los Olivos
2. Chorrillos - Comas
3. San Martín de Porres - Santa Anita
4. Los Olivos - Villa el Salvador

Se alcanzó un 65% de medición en vehículos de pasajeros con GPS (total: 453 600 seg).

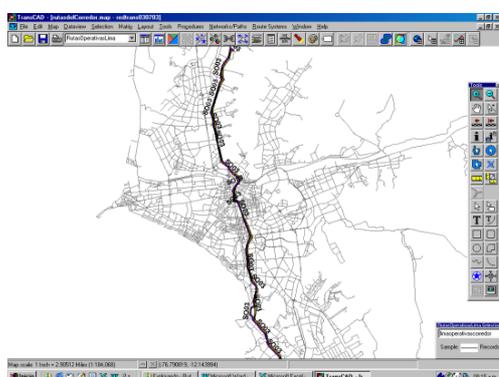


Figura N.º 12. Medición con GPS de una ruta larga.

3.6. Formación de capacidades

Para el buen desempeño del proyecto se desarrolló un programa de formación de capacidades de las instituciones participantes, del equipo de investigación del IIGEO y público en general.

Seminario Taller: «Evaluación de Emisiones de Fuentes Móviles Urbanas» según el Modelo IVE

TEMA	EÑPOSITOR	DÍA/HORA
Modelo IVE	Dr. James Lents	Martes 09 de Dic. (6-8 p.m.)
Aplicación del IVE Santiago-Lima	Dr. Nick Nikila Dr. Mauricio Osses	Miércoles 10 de Dic. (10-11 a.m.) Miércoles 10 de Dic. (11-12m)
Impacto de Fuentes Móviles en el Medio Ambiente	Dr. Mauricio Osses Dr. Nick Nikila	Jueves 11 de Dic. (11-12 m)

IV. MODELO IVE

El Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares es un modelo diseñado para estimar emisiones de vehículos motorizados. Su primer propósito es para su uso en países en desarrollo (ver figura N.º 13). El modelo predice la contaminación local del aire, emisiones de gas de efecto

invernadero y contaminantes tóxicos. Este modelo fue desarrollado conjuntamente La Universidad de California Riverside con Instituciones de Investigación como CE-CERT, GSSR y el ISSRC [5,6,7].

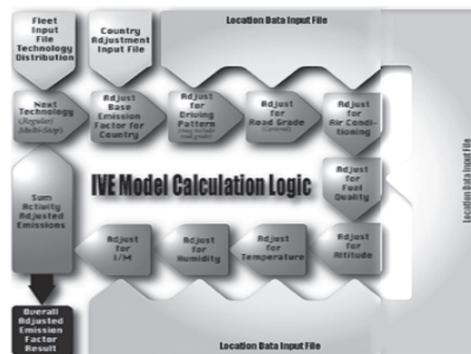


Figura N.º 13. Software del Modelo IVE.

El Modelo IVE se desarrolla en Java y como tal requiere del Java Virtual Machine del Sun Microsystems para ser instalado en su computadora. La primera versión del modelo de IVE primero fue lanzada en el verano de 2003 (IVE 1.0.3). Hasta la fecha, el modelo de IVE se ha utilizado en la India, Sudamérica y África. Los datos se han recogido para la localización y los datos de entrada de la flota de cada uno de estas localizaciones. Las mejoras y las actualizaciones a IVE son continuas, pues se incorporan los nuevos datos y las nuevas características se agregan al modelo.

V. DISCUSIÓN RESULTADOS

Los datos experimentales se están procesando mediante el Software IVE, además se están desarrollando varias tesis de investigación. Mostramos algunos resultados en la figura N.º 14, con respecto al ciclo de emisión diurna del CO para la Ciudad de Lima, encontrándose un valor máximo de 300 toneladas métricas de CO.

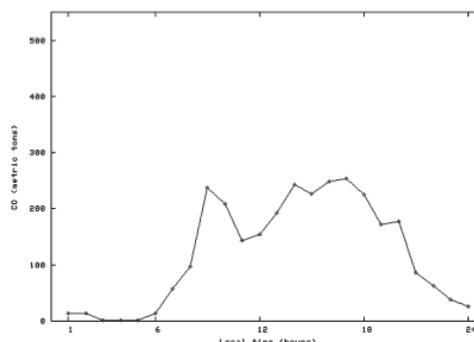


Figura N.º 14. Ciclo de Emisión Diurna de CO para Lima, Perú 2003.

Al aplicar la metodología IVE, varias características importantes de cada ciudad se pueden tomar en cuenta, por ejemplo la composición dinámica de la flota demostrada en la Tabla N.º 1.

Para los combustibles y las tecnologías del vehículo hay varias diferencias entre las ciudades, así teniendo un efecto importante en el proceso del cálculo de la emisión (ver tabla N.º 2).

También es de importancia tomar en cuenta el comportamiento de los conductores al elegir una ruta para ir de un punto a otro, para el análisis de los factores de emisión, como puede observarse en la Tabla N.º 2.

VI. CONCLUSIONES

- Se comprueba la funcionabilidad, efectividad y consistencia de la metodología IVE para el caso Lima.
- De la aplicación de la metodología IVE en Lima se logró una buena base de datos de las fuentes móviles para las posteriores simulaciones con el Software IVE.
- Al contrastar datos de IVE Lima con los otros países donde se aplicó la metodología, se puede precisar un nivel por encima del promedio para la contaminación por emisiones vehiculares en la ciudad de Lima.

Tabla N.º 1. Datos de IVE en varios países.

City	PC	2W	TAXI	3W	S BUS	M& L BUS	S&M TRUCK	L TRUCK	N-M
Almaty, Kazakhstan	83%	0%	0%	0%	9%	3%	5%	0%	1%
Bogotá, Colombia	44%	5%	32%	0%	6%	9%	5%	0%	0%
Lima, Perú	52%	1%	3%	0%	15%	3%	5%	1%	0%
Los Angeles, USA	95%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	3%	0%
México City, México	74%	2%	15%	0%	2%	1%	4%	1%	0%
Nairobi, Kenya	88%	2%	1%	0%	2%	2%	4%	1%	1%
Pune India	12%	55%	0%	13%	0%	1%	1%	0%	17%
Santiago, Chile	79%	1%	8%	0%	0%	6%	5%	1%	0%
São Paulo, Brazil	75%	10%	5%	0%	3%	2%	2%	3%	0%

Tabla N.º 2. Datos de mediciones IVE en varios países.

Location	Air/Fuel Control		Catalyst		
	Carburetor	Fuel Injection	None	2-WC	3-WC
Almaty, Kazakhstan	45%	51%	89%	0%	7%
Bogotá, Colombia	36%	63%	45%	0%	54%
Lima, Perú	44%	56%	53%	6%	40%
Los Angeles, USA	6%	94%	1%	3%	96%
México City, México	18%	82%	20%	0%	80%
Nairobi, Kenya	60%	32%	100%	0%	0%
Pune, India	42%	32%	29%	35%	11%
Santiago, Chile	17%	80%	17%	3%	77%
São Paulo, Brazil	17%	83%	19%	0%	81%

AGRADECIMIENTOS

A las Universidades de California y de Chile por la invitación a trabajar en el Proyecto Internacional de Investigación IVE. Al Rectorado, al Consejo Superior de Investigaciones (CSI), a la Oficina General de Abastecimiento por el apoyo brindado, al equipo de Investigación del IIGEO, a los alumnos de Ingeniería Geográfica, Ingeniería de Minas, Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a los profesores y alumnos del SENATI y a todas las instituciones que apoyaron las mediciones IVE en Lima

VII. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Documentos de la Comisión Nacional de Aire Limpio, Lima-2004.
- 2 Trabajos de Evaluación de Emisiones, SENATI.
- 3 Información Vehicular de PROTRANSPORTE, 2003.
4. Formación Vehicular de la Municipalidad de Lima, 2003



Figura N.º 15. Equipo del IIGEO - UNMSM con Nick Nikila y Mauricio Osses.

5. Manual del Modelo IVE –HYPERLINK «<http://www.gssr.net/ive/downloads/manuals/IVEbrochure.pdf>» \t «_blank» —<http://www.gssr.net/ive/downloads/manuals/IV-HYPERLINK> «<http://www.gssr.net/ive/downloads/manuals/IVEbrochure.pdf>» \t «_blank» —Ebrochure.pdf
6. Software del Modelo IVE –HYPERLINK «<http://www.gssr.net/ive/index.html>» \t «_blank» —<http://www.gssr.net/ive/index.html#>
7. Datos IVE- LIMA, IIGEO - UNMSM, 2003.