

Modelamiento dinámico de los efectos de la contaminación atmosférica ocasionada por el Parque automotor en la población de la Chiclayo - Lambayeque - Perú

Luis Antonio Pozo Suclupe
ing_laps@yahoo.es



<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>

Vensim <http://www.atc-innova.com/>



Índice.

Resumen

Summary

1. Introducción.....	1
2. Capítulos de la memoria.....	1
2.1. Marco teórico	
2.2. Material y métodos	
2.2.1. Materiales	
2.2.2. Métodos	
3. Conclusiones.....	13
4. Bibliografía.....	14
5. Agradecimientos.....	14
6. Anexos.....	15

Resumen

Lambayeque es un departamento del Perú situado en la parte noroccidental del país. En su mayor parte corresponde a la llamada costa norte, pero abarca algunos territorios altoandinos al noroeste.

Su territorio se divide tres provincias: Chiclayo, Lambayeque y Ferreñafe, siendo la primera la capital del departamento y sede del gobierno regional. Es la segunda circunscripción regional más densamente poblada del Perú, después de la Provincia Constitucional del Callao.

Su extensión es de 14 231.30 km², siendo en mayor parte una superficie plana, arenosa y árida características de toda la costa peruana. En esta región con su capital la ciudad de Chiclayo en los últimos 28 años ha duplicado su población, generando en su demanda, un creciente parque automotor el mismo que descarga diariamente a la atmosfera contaminantes que ocasionan en el ser humano enfermedades respiratorias, cardiovasculares y asma. Este estudio propone la creación de un modelo dinámico de los efectos de la contaminación ocasionada por el parque automotor en la población de la ciudad.

La información se obtuvo de la Gerencia Regional de Transporte y Comunicación de Lambayeque, la Gerencia Regional de Salud y la Dirección de Regional de Salud Ambiental, estos datos son lo que se utilizó en este estudio como son casos de IRAs reportados desde el año 2003, Parque automotor y mediciones de PM10, debido a que en algunos casos la información no existe para algunos años, se hizo necesario utilizar métodos de simulación para completar la información faltante.

Para evaluar el comportamiento dinámico y simular escenarios futuros de esta problemática se utilizó la metodología dinámica de Jay Forrester y el uso del programa de computación llamado Vensim.

Estos resultados sugieren que existe un incremento de morbilidad por IRA como consecuencia del incremento de emisiones por fuentes móviles. De seguir la tendencia actual, en el año 2020 los casos de IRA atribuibles al MP estarían alrededor de 325 752 casos

Finalmente, se proponen algunas posibles estrategias de mejoramiento ambiental frente a la situación actual encontrada.

Summary

Lambayeque is a department of Peru located in the northwestern part of the country. For the most part corresponds to the so-called northern coast, but covers some Andean northwest territories.

Its territory is divided three provinces: Chiclayo, Lambayeque and Ferreñafe, the first being the state capital and seat of regional government. It is the second most densely populated regional district of Peru, after the Constitutional Province of Callao.

Its area is 231.30 km² of 14, being mostly flat, sandy and arid characteristics of all the Peruvian coast surface. In this region with its capital city of Chiclayo in the last 28 years has doubled its population, generating demand, a growing fleet the same pollutants discharged into the atmosphere causing in humans respiratory, cardiovascular diseases and asthma daily . This study proposes the creation of a dynamic model of the effects of pollution from the fleet in the population of the city.

The information was obtained from the Regional Office of Transport and Communication of Lambayeque, the Regional Health and the Department of Regional Environmental Health, these data are what was used in this study as are cases of IRAs reported since 2003, fleet and PM10 measurements, because in some cases the information does not exist for some years, hiso necessary to use simulation methods to complete the missing information.

To evaluate the dynamic behavior and simulate future scenarios of this problem the dynamic methodology of Jay Forrester and use of computer program called Vensim was used. These results suggest an increase in morbidity IRA as a result of increased emissions from mobile sources.

On current trends, by 2020 ARI cases attributable to the MP would be around 719 140 people
Finally, some possible strategies proposed environmental improvement compared to the current situation found

1. Introducción

El progreso de la humanidad siempre propone cambios, y en la búsqueda de su progreso los cambios van generando necesidades que deben ser satisfechas, como menciona, (Herrera 2008, 125) "A medida que aumenta el poder del hombre y su "dominio" sobre la naturaleza, aparecen nuevas necesidades sociales como lo son la alimentación, vestido, casa y transporte entre otros". Estas necesidades básicas de las personas están vinculadas al desarrollo científico y tecnológico y al acelerado crecimiento demográfico, la cual altera al medio ambiente, llegando en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de nuestro planeta.

El hombre ha creado centros urbanos cada vez más complejos, hechos a la medida de para satisfacer sus siempre crecientes necesidades, este proceso también ha provocado impactos en el medio, provocando la generación de contaminantes que minan su salud como es el caso del transporte, que crece también a medida que crecen los centros urbanos, este medio de transporte que utiliza combustibles fósiles los que al ser quemados provocaban emisiones gaseosas y PM originado en el ser humano enfermedades de las vías respiratorias, cardiovasculares y asma

2. Capítulos de la Memoria

2.1. Marco teórico

La contaminación ambiental afecta el aire que respiramos, el agua que bebemos y los alimentos que consumimos. También afecta la producción de alimentos, la calidad general de nuestro ambiente circundante y puede poner en riesgo nuestra salud y bienestar (Economopoulos, 2002,3)

Se sabe que la contaminación ha existido siempre mucho antes de la aparición del hombre, los fenómenos naturales tales como la erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos "contaminan" el aire todos ellos procesos de origen natural. Sin embargo, cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquellos de origen antropogénico que provocan, aceleran o incrementan la aparición de contaminación en el medio ambiente a través de sus actividades.

Para el caso del transporte en las ciudades que es una necesidad imperiosa e irrenunciable de la humanidad se conoce que tiene grandes impactos en el medio ambiente como la emisión de gases y material particulado además de la congestión vehicular y ruido, convirtiéndose en un grave problema en las grandes y medianas urbes.

Esta fuente de contaminación participa en gran medida de los casos de enfermedades de origen respiratorio en las personas y teniendo claro que (Rojas, 2007,3) una fuente móvil es aquella que por su uso o propósito es susceptible de desplazarse y que el aporte de las fuentes móviles a la contaminación atmosférica por material particulado (MP) se calcula en un porcentaje aproximado del 40% del total de las emisiones.

Lambayeque que es una conurbación ubicada en la costa norte del Perú, cuyo núcleo central es la ciudad de Chiclayo. Es una de las áreas metropolitanas peruanas formadas por el crecimiento urbano experimentado en las últimas décadas. Para el año 2007, este conglomerado urbano contaba con una población estimada de 1174519 habitantes, mientras que para el 2014 se estima que llegue a 1239882 habitantes de los cuales el 93.79% es urbana y con un tasa de crecimiento anual de 0.86%

El elevado crecimiento de la ciudad ha traído consigo innumerables problemas, entre ellos la contaminación ambiental e insalubridad y hoy en día la principal contaminación del aire es debida a las emisiones vehiculares.

La contaminación atmosférica ocasiona por emisiones gaseosas vehiculares producto de la combustión de combustibles fósiles que según comenta (CORPOCESAR 2013, 12) “El uso de combustibles, casi siempre fósiles como el carbón y el gas natural , etc. generan emisiones atmosféricas de contaminantes como NOx, SOx, CO y material particulado, y emisiones de gases de efecto invernadero tales como CO2, CH4 y carbono negro (hollín)”, ocasionan en el ser humano enfermedades respiratorias, cardiovasculares y asma.

La provincia de Chiclayo tiene un parque automotor en el 2015 de aproximadamente 300 mil vehículos, convirtiéndola en una las ciudades más contaminadas del Perú debido a contaminación fuentes móviles, este problema se agrava porque éste parque automotor es uno de los más obsoletos, con un promedio aproximado de 20 años de antigüedad, debido principalmente a la masiva importación de unidades usadas en años previos sin una regulación adecuada.

La calidad de vida está directamente ligado con la contaminación y la contaminación atmosférica afecta la salud de las personas, las enfermedades respiratorias en Chiclayo (2011) se constituyen como la principal causa de morbilidad (30.8%) ((DIRESA) Direccion Regional de Salud - Lambayeque Oficina Epidemiologia, 2012 , 52)

La OMS estima que más de 2 millones de personas mueren cada año a causa de la inhalación de pequeñas partículas contaminantes del aire de espacios interiores y exteriores. Las partículas PM₁₀, de menos de 10 micras de tamaño, pueden penetrar en los pulmones y llegar al torrente sanguíneo, y causar así cardiopatías, cáncer de pulmón, asma e infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores.

Tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, los factores que más contribuyen a la contaminación atmosférica urbana son el transporte motorizado, los pequeños fabricantes y otras industrias. (OMS, 2011)

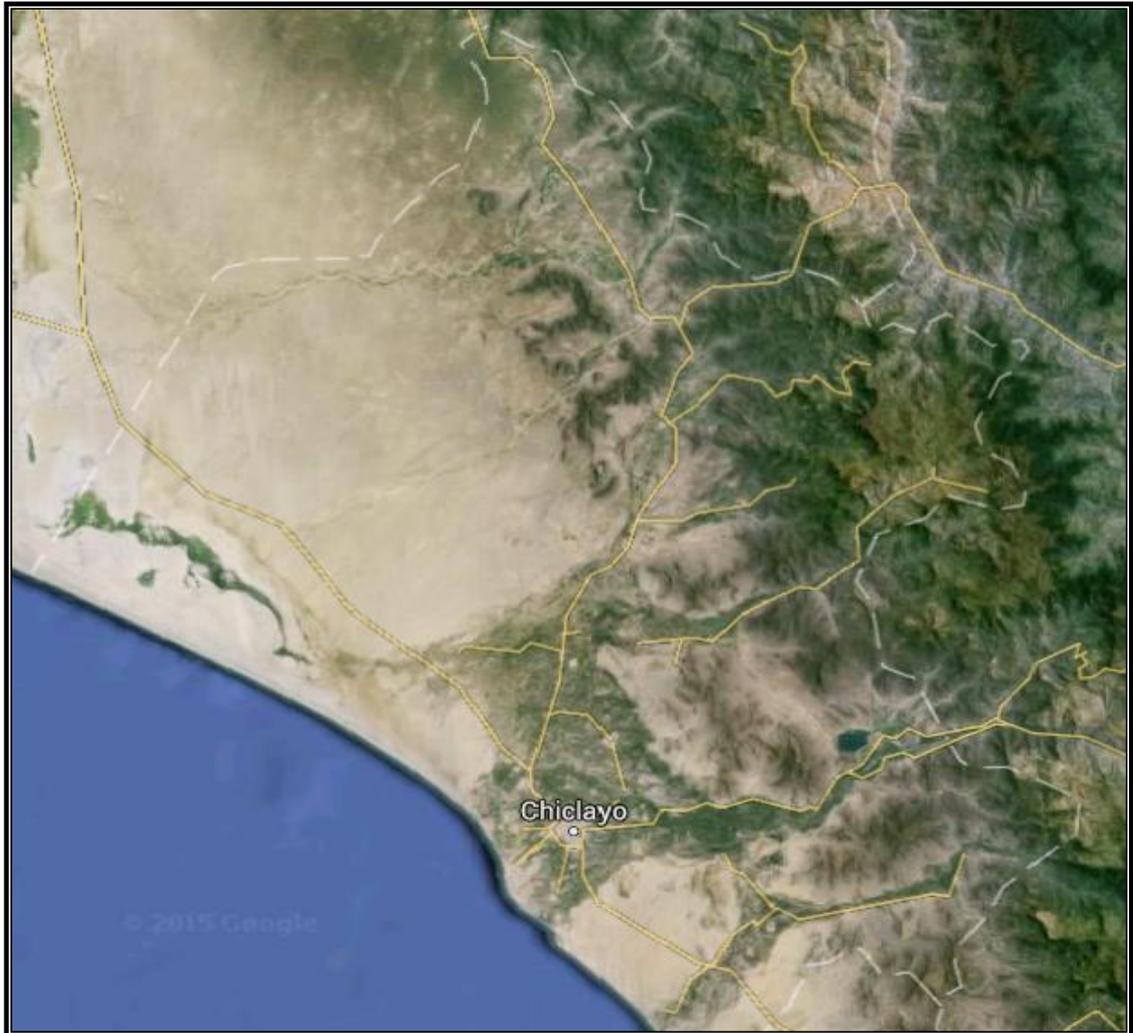
Estudios llevados a cabo por la Universidad de Los Andes, la Universidad Javeriana, la Universidad de Maryland, han arrojado datos significativos que relacionan la contaminación atmosférica (Especialmente por MP) con la mortalidad y morbilidad por IRA en diferentes rangos etarios.

Esta investigación busca proponer herramientas que faciliten la toma de decisiones que permiten mitigar la contaminación del aire ya sea modificando los patrones de tránsito, las áreas de residencia, regulaciones para innovación tecnológica, incremento de áreas verdes, etc

2.2. Material y métodos

Materiales se utilizaran medio informáticos y de oficina

- Útiles de escritorio.
- Computadora.
- Planos de la zona.
- Libretas para registros de datos.
- Software



FUENTE: Google Map

2.2.2. Métodos

Se realizó un análisis de los datos estadísticos de mínimo de 10 años de los casos de IRAs en la Ciudad, datos que fueron obtenidos del Ministerio de Salud – Gerencia regional, en relación al crecimiento parque automotor del mismo periodo, datos obtenidos del Ministerio de Transporte y

Comunicaciones además de algunas mediciones del PM10 tomado por la Dirección regional de Salud Ambiental.

Para encontrar algunos datos faltantes como es el caso de Material particulado e IRas de algunos años se realizó una Simulación Monte Carlo, luego se encontraron relaciones de significancia utilizando método estadístico correlación Spearman ayudado del software SPSS.

**CUADRO N°1 CASOS DE MORBILIDAD DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS AGUDAS
EN CHICLAYO – REGIÓN LAMBAYEQUE 2003 - 2013**

AÑOS	Casos IRAS
2004	166050
2011	211865
2012	202916
2013	199997

Fuente: MINSAs

**CUADRO N°2 CASOS DE MORBILIDAD DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS AGUDAS
EN NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS – REGIÓN LAMBAYEQUE 2004 - 2013**

AÑO	< 5 AÑOS
2004	132016
2005	123850
2006	122756
2007	159509
2008	156143
2009	186715
2010	130036
2011	149972
2012	73400
2013	70313

Fuente: INEI

**CUADRO N°3 PARQUE AUTOMOTOR DE LA CIUDAD DE CHICLAYO –
REGIO LAMBAYEQUE 2003 - 2013**

AÑOS	N° Vehículos
2003	37739
2004	37967
2005	38263
2006	38744

2007	39930
2008	41920
2009	43689
2010	45881
2011	49440
2012	53902
2013	56412

Fuente: MTC

**CUADRO N°4 MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO
CIUDAD DE CHICLAYO – REGIÓN LAMBAYEQUE 2007 - 2009**

AÑOS	MP
2007	91.13
2008	94.78
2009	104.05

Fuente: DIRESA

Con respecto a Iras faltan datos concretos de algunos años y en lo respecta al PM en la ciudad se cuenta con datos más limitados aun entre ellos un informe del 2003 del que da cuenta de un primer informe presentando el primer monitoreo de MP con un valor promedio de 73.25 para el año 2002 (Gesta Zonal de Chickayo, 2006,28), después del cual solo se obtuvieron datos del monitoreo para los años 2007, 2008 y 2009 provenientes de la Dirección Regional de Salud Lambayeque

Para encontrar estos datos faltantes se procedió a una simulación siendo los resultados los siguientes

**CUADRO N°5 DATOS SIMULADOS PARA MORBILIDAD DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS
AGUDAS EN CHICLAYO – REGIÓN LAMBAYEQUE**

AÑOS	Casos IRAS
2003	164760
2005	173925
2006	181255
2007	186913
2008	191739
2009	195873
2010	203363

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N°6 DATOS SIMULADOS DE MATERIAL PARTICULADO

AÑOS	MP
2003	78.00
2004	80.24
2005	84.40

2006	88.50
2010	107.15
2011	110.08
2012	113.26
2013	117.35

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N°7 RESUME DE DATOS E INCLUYE LOS DATOS SIMULADOS PARA MP

AÑOS	Casos IRAS	N° Vehículos	MP
2003	225569	37739	78.00
2004	227248	37967	80.24
2005	228816	38263	84.40
2006	250136	38744	88.50
2007	308480	39930	91.13
2008	309502	41920	94.78
2009	299977	43689	104.05
2010	314880	45881	107.15
2011	332321	49440	110.08
2012	346993	53902	113.26
2013	364647	56412	117.35

Fuente: Elaboración propia

Las correlaciones de Spearman obtenidas son las siguientes

Partiendo de los datos de Parque Automotor y de la discriminación según tipología de vehículo, se realizaron pruebas de correlación siguiendo el Coeficiente de Spearman.

La correlación realizada indica que el crecimiento del parque automotor se encuentra directamente afectado por la categoría de vehículos privados (vehículos menores (motos), automóviles, camionetas, etc), pues arrojan correlaciones positivas y altamente significativas (Cuadro 8).

CUADRO N°8 CORRELACIÓN ENTRE EL TOTAL DE VEHÍCULOS Y EL TIPO DE VEHÍCULOS

	Tipo de Vehículos	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	p-valor	Significancia
Rho de Spearman	Vehículos menores	1.000	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Automóvil	0.991	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Station Wagon	0.982	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camión	0.982	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camioneta Panel	0.618	0.043	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Camioneta PickUp	0.991	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camioneta Rural	0.991	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Ómnibus	0.629	0.038	NS	NO SIGNIFICATIVO

	Remolcador	0.655	0.029	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Remolque	0.382	0.247	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Semi-remolque	0.991	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Sin definir	0.500	0.117	NS	NO SIGNIFICATIVO

ESTIMACIONES DE LOS APORTES DE MP

Al analizar las relaciones entre las diferentes tipologías del parque automotor y el aporte de MP10 de la Ciudad (Cuadro N° 4), se evidencian correlaciones positivas y altamente significativas para la mayoría de las categorías evaluadas, lo que corrobora de cierta forma lo planteado en varios documentos que aseguran que el 70% de la contaminación atmosférica en los centros urbanos, es ocasionada por las fuentes móviles.

CUADRO N°10 Correlación entre MP y el tipo de Vehículos

	Tipo de Vehículos	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	p-valor	Significancia
Rho de Spearman	Vehículos menores	0.991	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Automóvil	1.000		<0.01	SIGNIFICATIVO
	Station Wagon	0.991	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camión	0.991	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camioneta Panel	0.636	0.035	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Camioneta PickUp	1.000		<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camioneta Rural	1.000		<0.01	SIGNIFICATIVO
	Ómnibus	0.620	0.042	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Remolcador	0.664	0.026	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Remolque	0.418	0.201	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Semi-remolque	1.000		<0.01	SIGNIFICATIVO
	Sin definir	.500	0.117	NS	NO SIGNIFICATIVO

8

Así mismo, es importante resaltar que las tipologías Camioneta Panel , Ómnibus , Remolcador y remolque no presentan correlaciones significativas, esto ocasionado posiblemente por el pequeño porcentaje que dichas categorías de vehículos representan sobre el total del parque automotor de la ciudad.

COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR MP Y SU EFECTO SOBRE LA SALUD

En lo relacionado con la afección sobre la salud, se realizaron análisis de correlación y se elaboraron modelos de regresión lineal con la finalidad de comprender el comportamiento de las variables.

Al igual que la correlación anterior Camioneta Panel , Ómnibus , Remolcador y remolque no presentan correlaciones significativas, esto ocasionado posiblemente por el pequeño porcentaje que dichas categorías de vehículos representan sobre el total del parque automotor de la ciudad.

CUADRO N° 11 CORRELACIÓN ENTRE TIPO DE VEHÍCULO Y MORBILIDAD POR IRAS

Rho de Spearman	Tipo de Vehículos	Coefficiente de correlación	Sig. (bilateral)	p-valor	Significancia
	Vehículos menores	0.964	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Automóvil	0.973	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Station Wagon	0.964	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camión	0.964	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camioneta Panel	0.582	0.060	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Camioneta PickUp	0.973	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Camioneta Rural	0.973	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Ómnibus	0.556	0.076	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Remolcador	0.609	0.047	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Remolque	0.382	0.247	NS	NO SIGNIFICATIVO
	Semi-remolque	0.973	0.000	<0.01	SIGNIFICATIVO
	Sin definir	0.500	0.117	NS	NO SIGNIFICATIVO

CUADRO N°12. CORRELACIÓN ENTRE EL MP Y LA MORBILIDAD POR IRA SEGÚN RANGOS ETARIOS

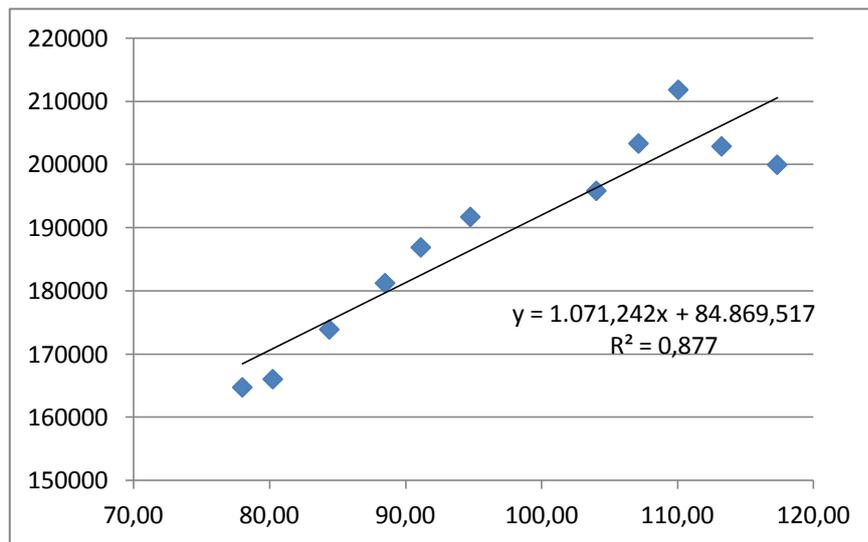
		IRAS menores de 5 años Significancia		IRAS mayores de 5 años Significancia	
Rho de Spearman	MP	Coefficiente de correlación	-0.297	NO SIGNIFICATIVO	0.915
		Sig. (bilateral)	0.405		0.000

9

Este análisis no lleva a la conclusión que son las personas mayores a 5 años presentan significancia con el incremento de material particulado producido por el parque automotor.

Partiendo de las relaciones encontradas en los análisis de correlación, se procedió a la elaboración de modelos de regresión lineal simple con los datos.

GRAFICO N° 1 MORBILIDAD POR IRA VS MP10



Fuente: Elaboracion propia

Con esta ecuación $IRA = 1071.242 \cdot PM + 84869.517$ se puede establecer relaciones como por cada $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que aumente la concentración media anual de material particulado (MP10), se producen 1071 casos de IRA.

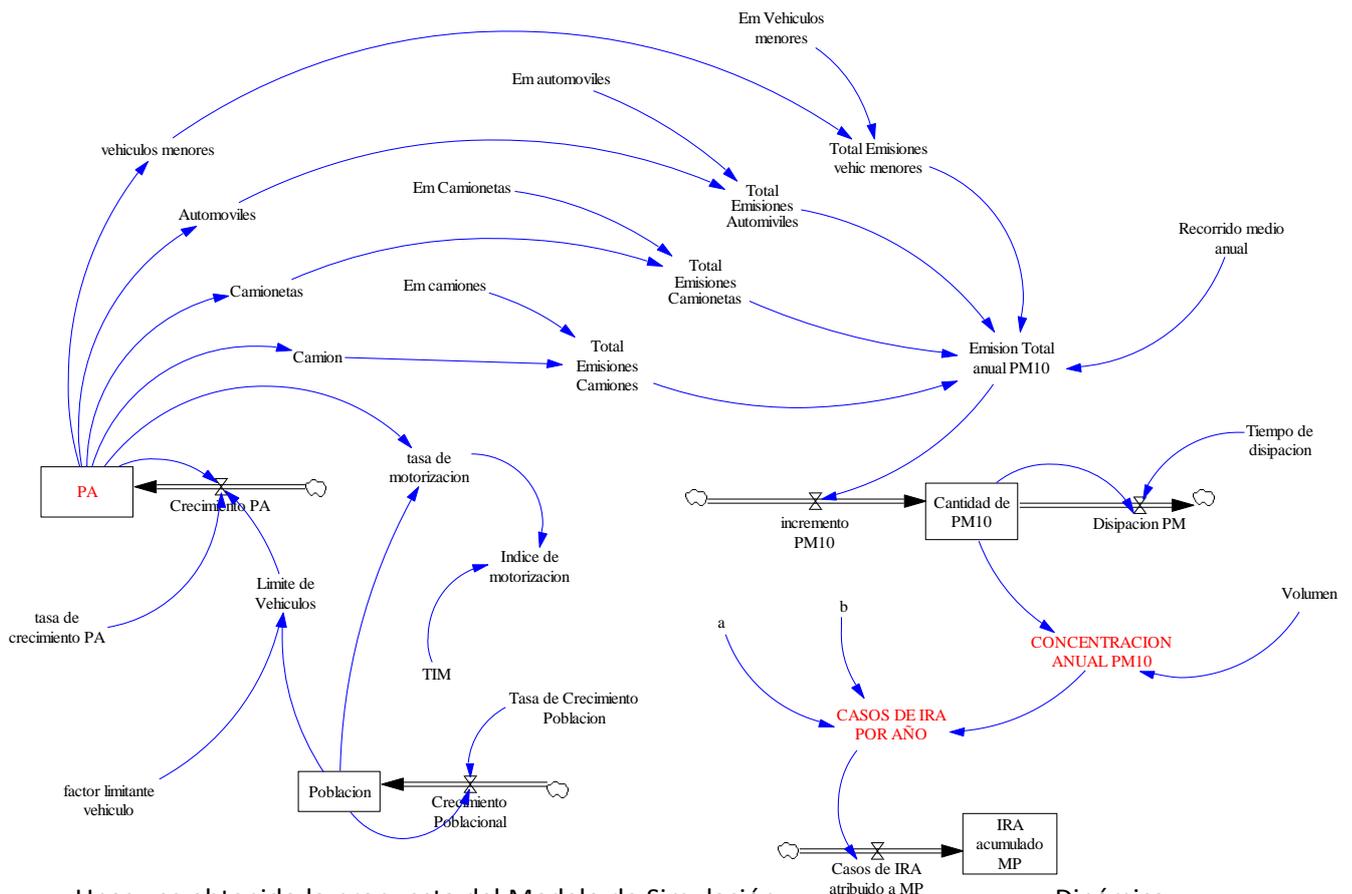
Además se pudo evidenciar que son los vehículos menores como motos y mototaxis que constituyen el 66% del parque automotor en el año 2013, los que más contribuyen a las emisiones de material particulado, siendo para recorridos anuales promedios de 7000 km por vehículo en el año 2013 de 120.67 tn de material particulado vertidos al medio ambiente.

Así mismo que por cada 2000 vehículos se producen 434 casos de Enfermedades respiratorias agudas e incrementan en promedio 0.4 microgramos/ m^3

Una vez que se ha evidenciado la existencia de una relación se hallaron ecuaciones que servirán para alimentar al modelo elaborado en el programa Versim.

En la propuesta de Modelo de Simulación dinámica primero se elaborara un esquema basado en un modelo de indicadores ambientales que permita visualizar claramente las relaciones primarias existentes entre las variables estudiadas con la ayuda de metodología dinámica de Jay Forrester.

- FIGURA N° 2 MODELAMIENTO DINÁMICO PROPUESTO SOBRE LOS EFECTOS (IRAS) DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA OCASIONADA POR EL PARQUE AUTOMOTOR (PM10) EN LA POBLACIÓN**



Una vez obtenido la propuesta del Modelo de Simulación Dinámica y alimentado se evaluará la relación entre la dinámica de crecimiento del parque automotor y el efecto sobre la salud por infección respiratoria aguda (IRA) asociada a la contaminación atmosférica por material particulado (MP) medido en las estaciones de monitoreo de la Dirección de Salud Ambiental (DIRESA)

Además este modelo de dinámica de sistemas será herramienta para ayudar a comprender los comportamientos de las variables estudiadas como soporte a la toma de decisiones administrativas, así como los efectos del crecimiento del parque automotor asociados a la infección respiratoria aguda (IRA).

Población 2013	1239882 habitantes
tasa de crecimiento poblacional	0.86 tasa anual
Ira 2003	164760 habitantes
Constante a	1071.242
Constante b	84869.517
PM 2003	78.00 microgramo/m3
Emisiones vehículos menores	0.1055 g/km.vehiculos
Emisiones automóviles	0.295 g/km.vehiculos
Emisiones camión y semiremolque	0.31 g/km.vehiculos
Emisiones camionetas sw, pickup	0.325 g/km.vehiculos
tiempo de disipación	15 días

Vehículos 2003	251228 vehic
vehículos 2003	77731 vehic
TM	202.62 vehic/1000habit
tasa de motorización	0.2026 vehic/hab
tas crec. vehículos total	12.72 %
tasa crec. Vehículos menores	66.10 %
tasa crec. automóviles	12.23 %
tasa crec. sw-camta Pickuy-cam tarural	11.67 %
tasa crec. Camión -Semiremulque	5.08 %

Fuente: Elaboración Propia

Validación de Modelo

La validación del modelo se hizo simulando con el modelo propuesto los datos de Parque Automotor (N° de Vehículos), Material Particulado (PM10) y Morbilidad de Enfermedades Respiratorias Agudas (IRA) para los años 2003 al 2013 y comprándolos con los datos reales de esos años. Por los datos encontrados se considera que el modelo representa satisfactoriamente los datos y se puede continuar con los análisis.

GRAFICO N° 2 RELACION ENTRE N° VEHICULOS REAL Y SIMULADO

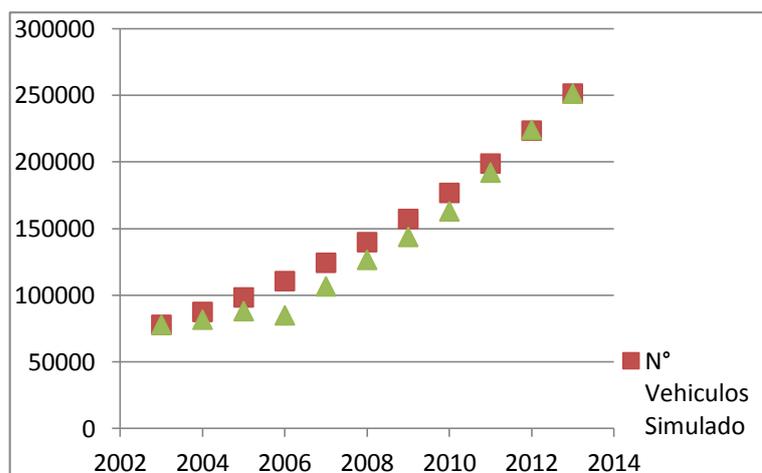


GRAFICO N 3 RELACION ENTRE PM10 REAL Y SIMULADO

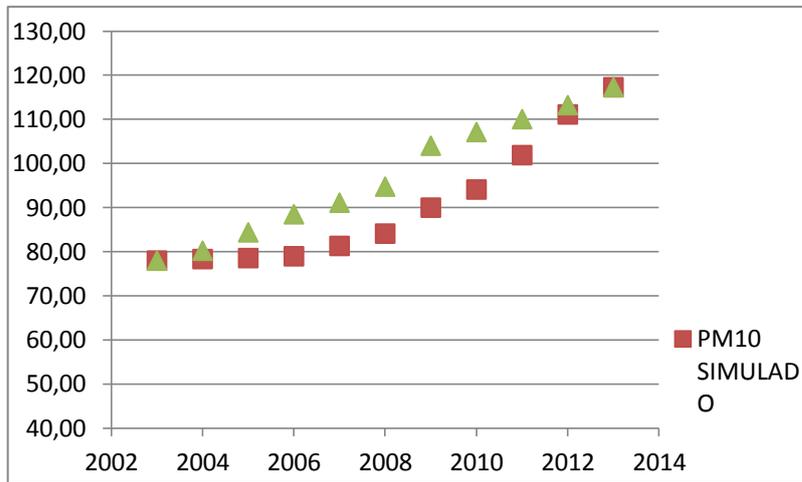
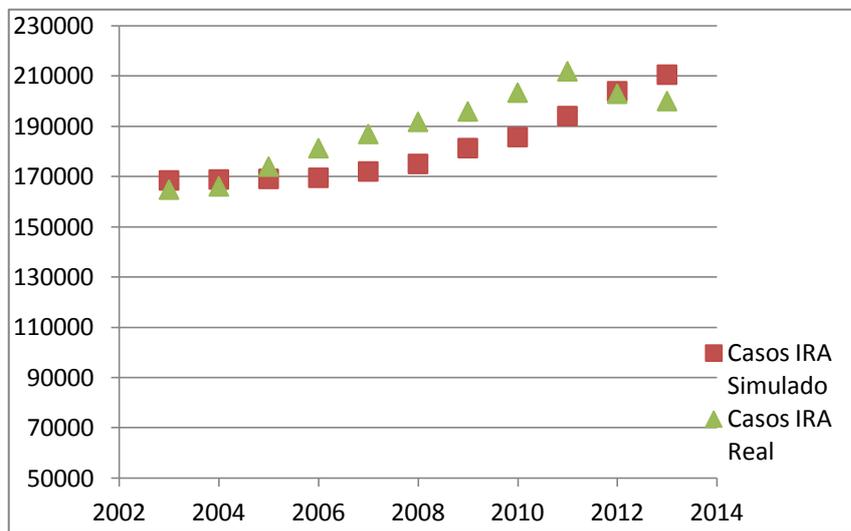


GRAFICO N°4 MOBILIDAD IRAs REAL Y SIMULADO



3. Conclusiones y Recomendaciones

3.1. Conclusiones

Utilizando la correlación de Spearman se observó significancia entre el parque automotor, los casos de Enfermedades Respiratorias agudas asociando esta utiliza a las emisiones de los vehículos de PM10, aunque existen otras variables que intervienen en la morbilidad e los Iras

A partir de los datos existentes, se estableció una relación de afectación entre población enferma por IRA y MP10.

A partir de los datos obtenidos con el uso de Excel se obtuvieron ecuaciones lineales que relacionan las Emisiones PM10 con los casos de IRA, estas ecuaciones fueron utilizadas en el modelo dinámico

Se estimó que por cada $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ de exposición anual a MP10, se producen 1024 casos de IRA por año.

Se estima que para un incremento de 2000 vehículos circulando por año, incrementan en un $0,4\mu\text{g}/\text{m}^3$ la concentración media anual de MP10, y se generan 434 casos de IRA, es decir casos de algún tipo de afección respiratoria.

Los Vehículos (tipo de Vehículo) que más contribuyen a las emisiones de material particulado, son los vehiculos menores como motos y mototaxis, siendo para recorridos anuales promedios de 7000 km por vehículo en el año 2013 de 120.67 tn de material particulado vertidos al medio ambiente.

Aunque el modelo permite simular periodos de tiempos mayores, dada la información disponible, se consideró prudente analizar hasta el año 2020 es decir 7 más de los datos reales recolectados.

Las variables que poseen incidencia directa sobre la cantidad de casos de IRA atribuibles a MP10 son el parque automotor circulante y el tiempo de disipación del contaminante.

El modelo propuesto, constituye solo una aproximación y puede ser perfeccionado a partir de mejores estimaciones de las variables consideradas en el estudio, sin embargo, puede ser de gran utilidad para los tomadores de decisiones y organismos de control.

3.2. Recomendaciones

Para obtener mejores predicciones sobre los efectos del Parque automotor sobre la población , entre ellos las enfermedades respiratorias agudas, se hace necesario la presencia de más datos de análisis de Iras, se tiene deficiencias en obtención de esta información.

Para el caso de los datos obtenidos de Ministerio de Salud MINSA y de la Dirección regional de salud se han encontrado diferencias significativas y además de la falta de reportes de varios años en lo que refiere al número de casos de infecciones respiratorias agudas.

La dirección de salud ambiental Diresa presenta escaso datos promedio por año de MP10.

Otro efecto en la población de por efecto del parque automotor es el estrés por ruido, congestión vehicular .

Se hace indispensable para el mejoramiento de la calidad del aire en, sensibilizar a la población en la importancia de utilizar sistemas de transporte masivo o alternativo que minimicen la tenencia y utilización del automóvil privado.

4. Bibliografía

- (DIRESA) Direccion Regional de Salud - Lambayeque Oficina Epidemiologia. (2012). *Análisis Situacional de Salud 2012*. Informe Técnico de Investigación Epidemiológica, DIRESA - Lambayeque, Lambayeque, Chiclayo.
- Economopoulos, A. P. (2002). *Evaluación de fuentes de Contaminación del Aire*. Recuperado el 10 de enero de 2015, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/fulltext/fuentes.pdf>
- Gesta Zonal de Chiclayo. (2006). Plan A Limpiar el Aire de la Cuenca atmosférica de Chiclayo. 69.
- Gobierno Regional Lambayeque. (2015). *Gerencia Regional de Salud*. (G. R. Lambayeque, Editor, & Estadística, Productor) Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de Gerencia Regional de Salud: <http://salud.regionlambayeque.gob.pe/>
- Herrera, C. J. (2008). *Introducción al Estudio del Medio Ambiente*. Mexico D. F, Mexico.
- INEI. (10 de Febrero de 2015). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. (E. Peruano, Editor) Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de Instituto Nacional de Estadística e Informática: <http://www.inei.gob.pe/>
- MINSA, M. d.-D. (2005). *Prevalencia de las enfermedades respiratorias en niños de 3 -14 años y factores asociados a la calidad de aire Chiclayo, Peru, 2002-2003*. Informe Técnico de Investigación Epidemiológica, MINSA - Ministerio de Salud, Lambayeque, Chiclayo.
- OMS. (26 de Setiembre de 2011). *Organización Mundial de la Salud*. (C. d. Prensa, Ed.) Recuperado el 05 de Octubre de 2014, de http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/air_pollution_20110926/es/
- Paredes, P. P., Castillo, H. I., & Pereyra, Z. E. (2006). *Contaminación Vehicular en Lima y Callao y propuestas de solución*. Recuperado el 05 de octubre de 2014, de Contaminación Vehicular en Lima y Callao y propuesta de solución: http://www.infoindustriaperu.com/articulos_pdf/medioambiente/002.pdf
- Rojas, N. Y. (2007). Aire y Problemas Ambientales de Bogotá. *FORO NACIONAL AMBIENTAL*, 12.

5. Agradecimientos

Agradecimiento a las Instituciones gubernamentales que proporcionaron la información que hizo posible la elaboración del siguiente documento

6. Anexos

ANEXO1: PARQUE AUTOMOTOR DE REGION LAMBAYEQUE POR TIPO 2003 – 2013

AÑO	TOTAL	Vehículos menores	Automóvil	Cam. Station Wagon	Camión	Camioneta Panel	Camioneta Pick Up	Camioneta Rural	Ómnibus	Remolcador	Remolque	Semi remolque	Sin definir
2003	77731	27389	21040	4095	8395	350	9678	4390	1321	554	230	289	0
2004	81588	30354	21192	4473	8534	382	9792	4424	1327	568	238	304	0
2005	88014	35782	21365	4862	8663	404	9934	4517	1337	600	241	309	0
2006	84840	31108	21575	5340	8807	434	10137	4664	1335	627	461	352	0
2007	106559	50858	21983	5741	9295	442	10405	4960	1345	696	464	370	0
2008	126484	67973	22713	5963	9857	454	10940	5433	1352	859	487	453	0
2009	143717	82574	23516	6181	10347	474	11312	5974	1399	886	511	543	0
2010	162845	100800	24132	6196	10350	394	11392	6456	1327	703	471	624	0
2011	191944	124984	26015	6355	10984	416	12209	7668	1355	699	421	838	0
2012	224125	151177	28829	6509	11576	447	12959	9016	1368	709	438	1097	0
2013	251228	166058	30731	6417	11565	459	13278	9613	1343	662	433	1189	9480

Fuente: MTC- Gerencia Regional TC- Lambayeque

**ANEXO 2: VALORES OBTENIDOS DEL CRECIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR
POR TIPO UTILIZANDO MODELO DINAMICO 2014-2020**

AÑO	Parque Automotor (PA)	vehiculos menores (motos)	Automoviles	Camionetas SW-Pickup	Camiones - semiremolque
2014	282584	186788	34560	32978	14355
2015	317766	210044	38863	37083	16143
2016	357328	236194	43701	41700	18152
2017	401816	265600	49142	46892	20412
2018	451842	298667	55260	52730	22954
2019	508096	335851	62140	59295	25811
2020	571354	377665	69877	66677	29025

**ANEXO 3: VALORES OBTENIDOS DEL CRECIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR – CONCENTACION DE PM10 Y
CASOS DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS AGUDAS UTILIZANDO MODELO DINAMICO 2014-2020**

Año	Parque automotor	CONCENTRACION ANUAL PM10 microgramos/m3	CASOS DE IRA POR AÑO
2014	282584	129.91	224037
2015	317766	140.17	235029
2016	357328	157.25	253320
2017	401816	171.32	268398
2018	451842	186.27	284410
2019	508096	206.85	306458
2020	571354	224.86	325752

PROGRAMACION VENSIN

- (01) $a = 1071.24$
Units: habitantes*m3/(microgramos*año)
- (02) Automóviles= $0.1223*PA$
Units: vehículos
- (03) $b = 84869.5$
Units: habitantes/año
- (04) Camion= $0.0508*PA$
Units: vehículos
- (05) Camionetas= $0.1167*PA$
Units: vehículos
- (06) Cantidad de PM10= INTEG (incremento PM10-Disipacion PM, $78*14120*800*1e+006$)
Units: microgramos
- (07) Casos de IRA atribuido a MP=CASOS DE IRA POR AÑO
Units: habitantes/año
- (08) CASOS DE IRA POR AÑO= $a*CONCENTRACION ANUAL PM10+b$
Units: habitantes/año
- (09) CONCENTRACION ANUAL PM10= Cantidad de PM10/Volumen
Units: microgramos/m3
- (10) Crecimiento PA= IF THEN ELSE(PA<Limite de Vehiculos, PA*tasa de crecimiento PA , tasa de crecimiento PA *(Limite de Vehiculos-PA))
Units: vehículos/año
- (11) Crecimiento Poblacional= Población*Tasa de Crecimiento Población
Units: habitantes/año
- (12) Disipación PM= Cantidad de PM10/Tiempo de disipación
Units: microgramos/año
- (13) Em automóviles= $0.325*1e+006$
Units: microgramos/(km*vehículos)
- (14) Em camiones= $0.325*1e+006$
Units: microgramos/(km*vehiculos)
- (15) Em Camionetas= $0.31*1e+006$
Units: microgramos/(km*vehiculos)
- (16) Em Vehiculos menores= $0.1055*1e+006$
Units: microgramos/(km*vehiculos)
- (17) Emision Total anual PM10= (Total Emisiones Automiviles+Total Emisiones Camiones+Total Emisiones vehic menores +Total Emisiones Camionetas)*Recorrido medio anual
Units: microgramos/año

- (18) factor limitante vehiculo= 0.6
Units: vehiculos/habitantes
- (19) FINAL TIME = 2013
Units: año
The final time for the simulation.
- (20) incremento PM10=Emission Total anual PM10
Units: microgramos/año
- (21) Indice de motorizacion=tasa de motorizacion/TIM*100
Units: Dmnl
- (22) INITIAL TIME = 2003
Units: año
The initial time for the simulation.
- (23) IRA acumulado MP= INTEG (Casos de IRA atribuido a MP,0)
Units: habitantes
- (24) Limite de Vehículos= factor limitante vehiculo*Poblacion
Units: vehículos
- (25) PA= INTEG (Crecimiento PA,
77731)
Units: vehículos
- (26) Población= INTEG (Crecimiento Poblacional, 1.13813e+006)
Units: habitantes
- (27) Recorrido medio anual=RANDOM UNIFORM(3500, 6000 , 99)
Units: km/año
- (28) SAVEPER = TIME STEP
Units: año [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (29) tasa de crecimiento PA=0.1245
Units: 1/año
- (30) Tasa de Crecimiento Población=0.0086
Units: 1/año
- (31) tasa de motorización= PA/Población
Units: vehículos/habitantes
- (32) Tiempo de disipación=15
Units: año

Dinámica de Sistemas

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



Vensim

<http://www.atc-innova.com/>

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



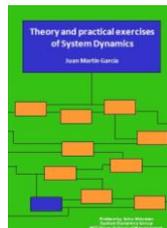
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)