

Aproximación espacial de concentraciones de gases productos de fuentes móviles de la ciudad de Panamá, utilizando sistemas de información geográfica

Spatial approximation of gas concentrations resulting from mobile sources in Panama City, using geographic information systems

María Singh ¹, José Fábrega ²

¹Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria (CINEMI), ²Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH)

¹maria.singh@utp.ac.pa, ²jose.fabrega@utp.ac.pa

Resumen— La contaminación atmosférica es la acumulación en el aire de concentraciones de diferentes sustancias que pueden ocasionar daños en los ecosistemas. La misma no es consecuencia única de la industrialización en o cerca de centros urbanos, también deben considerarse otros factores como el parque vehicular y la mala infraestructura vial. La preocupación por la contaminación atmosférica en Panamá surge a partir de los años 90, cuando la Ley No. 36 de 1996 estableció que el Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá (UP), tiene la obligación de instalar y mantener una red de medición de la contaminación del aire producida principalmente por motores de combustión interna, a nivel nacional. Panamá es considerada como la ciudad centroamericana con mayor índice de contaminación en el aire, esto debido al impacto que producen las emisiones generadas por el transporte. En este estudio se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) para analizar el comportamiento del ozono respecto a la densidad de población, con base en las áreas de influencia. Los datos de ozono se presentan en concentraciones promedios mensuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se confeccionaron mapas de contaminación de ozono y de densidad de población para los años 2005, 2008 y 2010. Se encontró que las zonas con densidades de población alta tienen mayores niveles de contaminación por ozono.

Palabras claves— Atmósfera, contaminación atmosférica, fuentes móviles, ozono, sistemas de información geográfica.

Abstract— Air pollution is the accumulation in the air of concentrations of various substances that can cause damage to ecosystems. It is not only a consequence of industrialization in or near urban centers, but also it is necessary to consider factors such as vehicle fleet size and poor road infrastructure. In Panama, the concern for air pollution comes from the 90s, with the approval of the law No. 36 of 1996 that established the Specialized Analysis Institute (IEA in Spanish) at the University of Panama (UP). This institute has the responsibility to install and maintain a network of stations to measure and analyze air pollution parameters at a national level, specially those produced by internal combustion engines. Panama is considered as the Central American city with the highest air pollution index, due to the impact produced by emissions from the transport sector (Swisscontact 1999). In this article, we analyzed the relationship between population density vs ozone, by employing Geographic Information System (GIS) over monthly averaged data in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, for 2005, 2008 and 2010. Influence zones of each one of the four monitoring station evaluated were also used. Finally, it was found that highest ozone concentrations were found in areas with highest population density.

Keywords— Atmosphere, air pollution, mobile sources, ozone, geographic information systems.

Tipo de Artículo: Original

Fecha de Recepción: 24 de noviembre de 2015

Fecha de Aceptación: 11 de octubre de 2016

1. Introducción

Cada vez que el hombre intenta mejorar su calidad de vida, genera grandes cambios en su entorno que traen como consecuencia diferentes tipos de contaminación.

Podemos decir que la contaminación atmosférica es la acumulación en el aire de sustancias que a ciertas concentraciones pueden ocasionar daños en ecosistemas y en nuestras sociedades. La contaminación atmosférica no es solo consecuencia de la industrialización, sino también producto de la movilidad urbana. Esto último en diversos aspectos, desde la utilización de combustibles no procesados, el aumento del parque vehicular y la mala infraestructura vial, hasta la falta de legislación en materia de calidad ambiental o la falta de aplicación de las leyes existentes.

Los contaminantes como el material particulado (PM), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), y el dióxido de azufre (SO_2), son considerados de riesgo a la salud en muchas ciudades de países en vías de desarrollo [1]. Estos contaminantes atmosféricos provocan afectaciones a la salud. Por ejemplo, el NO_2 es un gas tóxico causante de inflamaciones respiratorias, el SO_2 provoca en personas con asma cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios en períodos de exposición de 10 minutos, para concentraciones superiores a los $500 \mu g / m^3$ [2].

Los contaminantes atmosféricos aún en concentraciones bajas, son un problema serio para la salud. Las guías de calidad de aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) tienen directrices que son aplicables a nivel mundial y están basadas en evaluaciones científicas llevadas a cabo por expertos [2].

Los estados miembros de la OMS se agrupan en seis regiones u oficinas regionales (figura 1), estas son: África, Las Américas, Asia Sudoriental, Europa, Mediterráneo Oriental y Pacífico Occidental.



Figura 1. Regiones miembros de la Organización Mundial de la Salud.

Fuente: OMS [2].

Esta investigación busca evaluar si existe una relación entre las concentraciones del ozono troposférico versus la densidad de población en zonas urbanas, específicamente en la ciudad de Panamá. El ozono es un gas contaminante de la atmósfera, de gran capacidad oxidante. Ha recibido mucha atención debido a sus efectos negativos en la vegetación y especialmente en los seres humanos. Están bien documentados, los daños que ocasiona en las mucosas y vías respiratorias de los humanos [2]. Su presencia está relacionada con la concentración de NO_2 y el índice de Radiación Ultravioleta (indicador de radiación UV proveniente del sol en la superficie de la tierra) [3].

Uno de los primeros estudios realizados en la ciudad de Panamá en materia de contaminación atmosférica se realiza a través del proyecto aire puro 1993-2000 para América Latina y el Caribe llevado a cabo por la Agencia Suiza de cooperación para el Desarrollo Técnico [4]. En el mencionado estudio, la contraparte panameña estuvo liderada por el Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá (UP). Se encontró que más del 90% de la contaminación atmosférica en Panamá es debida a las emisiones vehiculares [4]. Se utilizaron datos basados en promedios mensuales, debido a la falta de personal especializado y al poco interés de las autoridades competentes para brindar el debido apoyo al IEA para que el monitoreo de cualquier gas contaminante se dé en mediciones a intervalos de tiempo más cortos. Esta información logró que se iniciaran cambios en la legislación panameña en materia de contaminación atmosférica [5]. La ley No. 36 de 1996 establece que el IEA se encargará de instalar y mantener una red de medición y análisis a nivel nacional, para verificar la contaminación del aire producida principalmente por los motores de combustión interna [5]. Estas estaciones se localizan en diferentes puntos de la ciudad de Panamá.

2. Marco teórico

El aire está conformado por una mezcla de gases, destacándose: el nitrógeno, el oxígeno y el vapor de agua. Entre las principales funciones del aire están: sostener la vida en la Tierra, transferir el sonido, filtrar y mitigar los rayos del sol, esparcir la luz y controlar cambios extremos de temperatura [6].

La atmósfera tiene un ciclo de limpieza de contaminantes. En este proceso de limpieza, la lluvia

juega un papel fundamental, precipitando al suelo las partículas suspendidas y disolviendo otros contaminantes [7]. También, al elevarse la temperatura, por ejemplo en horas del amanecer, el aire se calienta en la parte baja de la atmósfera, disminuyendo su densidad y por consiguiente, desplazándose hacia arriba y llevando consigo contaminantes a capas más altas de la atmósfera, iniciando el ciclo de limpieza [7].

2.1 La contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica puede definirse como la presencia en la atmósfera de gases, partículas y vapores que han sido introducidas directa e indirectamente al aire por el ser humano o por fuentes naturales en cantidades suficientes como para afectar negativamente a los animales, vegetación, materiales y al mismo ser humano [8]. En la actualidad, la contaminación atmosférica es en gran medida producto de actividades humanas. Esta se origina por la combustión de diferentes fuentes energéticas (entre ellos, carbón, petróleo, gas y leña) y las provenientes de fuentes móviles (autos, autobuses, camiones, barcos, aviones, etc.) [9].

2.2 El ozono

El ozono es el oxidante fotoquímico más abundante en la atmósfera. Sin embargo, el mismo no es emitido directamente a la atmósfera, sino que se forma por las reacciones químicas de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de luz solar [10].

El ozono y otros oxidantes fotoquímicos son irritantes; la exposición a niveles ambientales elevados de ozono puede ocasionar alteraciones en la función pulmonar [11]. La respiración rápida y poco profunda, la bronquitis y el enfisema se encuentran entre los efectos adversos a la salud más comunes que pueden presentarse como resultado de la exposición al ozono. Por otro lado, esta sustancia tiene una elevada capacidad para deteriorar el hule y otros materiales [11].

2.3 Tipos de fuentes de contaminación Móvil

Incluye principalmente el conjunto de pequeñas fuentes puntuales relativas a actividades del sector transporte (automóviles, camiones, aviones, autobuses, locomotoras, motocicletas, embarcaciones, ferrocarriles, tranvía, equipos y maquinarias con motores de combustión, etc.). Estas fuentes emiten contaminantes

peligrosos, debido a que los vehículos son los responsables de las emisiones de Carbono (CO_x) y de los compuestos volátiles como SO₂ y NO_x, generados mediante la combustión [12]. Sin embargo, por lo difícil que resulta analizarla como fuentes puntuales por su cantidad y movilidad, por lo general sus emisiones se consideran en función de un área.

Fija

Estas fuentes se caracterizan por tener poca o ninguna variabilidad espacial relativa al tiempo. Se clasifican en tres tipos: puntuales, de área y naturales.

Puntuales

Las que se genera de chimeneas de energía eléctrica, actividades industriales como textil, maderera, metálica, metalúrgica, manufacturera, procesadoras, etc. Ejemplos de éstas en Panamá tenemos Cervecería Nacional S.A., Industria Lácteas S.A., Coca Cola FEMSA, Central de Granos de Coclé S.A., Arosemena Técnica Agroindustrial S.A., Avícola Franz S.A., Conservas Panameña Selecta S.A., entre otras [12].

Área

Son plantas que generan emisiones dispersas en las actividades de procesos tales como: Consumo de solventes, limpieza de superficies industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas licuado de petróleo, también incluye las plantas de tratamientos de aguas residuales, planta de abono orgánico, rellenos sanitarios, etc. [12].

Naturales

Son emisiones producidas por océanos, volcanes, incendios forestales, plantas, suspensión de suelos, emisiones emitidas por la actividad microbiana de suelo y océanos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas naturales [12].

2.4 Estudios sobre Contaminación Atmosférica

Durante las últimas décadas las emisiones gases contaminantes de fuentes antropogénicas a la atmósfera han causado muchos problemas ambientales y de salud.

Dentro de estos problemas ambientales importantes que amenazan los ecosistemas y el bienestar de los seres humanos podemos mencionar: las quemadas de combustibles fósiles, contaminación al aire urbano, la lluvia ácida, la contaminación causada por sustancias químicas tóxicas, el agotamiento de la capa de ozono estratosférico y los cambios del sistema climático mundial [13].

En un estudio realizado por más de 100 expertos, donde se analizaron 14 regiones del mundo con el objetivo de conocer los factores ambientales que dañan la salud, se estimó que 1.3 millones de personas mueren al año por causa de la contaminación atmosférica [14].

2.4.1 África

Este continente presenta grandes inconvenientes ambientales debido a la contaminación por químicos. Sus dos principales actividades económicas (la agricultura y la minería) se llevan a cabo de forma altamente contaminante y dañina. En África encontramos por año 500,000 trabajadores muertos (figura 2), debido a la contaminación química producida por pesticidas y químicos como el DDT (*Dicloro Difencil Tricloroetano*), prohibido en muchos países.

Estos químicos contaminan el aire, suelo, agua superficial y subterránea, flora y fauna. Además, entran residuos tóxicos desde el exterior, los cuales muchas veces no reciben un tratamiento adecuado, siendo acumulados y transformados en potenciales riesgos de contaminación ambiental [14].

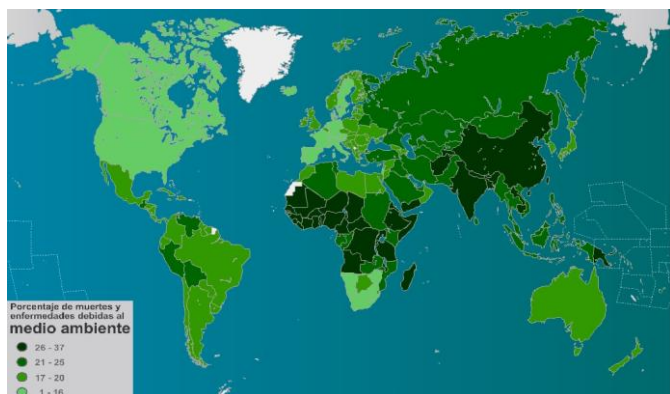


Figura 2. Mapa de la contaminación mundial.

Fuente: El Mundo [14].

Si se redujeran el nivel de partículas grandes (PM_{10}) y pequeñas ($PM_{2.5}$) presente en la atmósfera se podrían evitar 1.09 millones de todos esos fallecimientos provocados por la contaminación atmosférica. Vivir en ciudades cuyo aire no tiene unos mínimos de pureza genera un mayor riesgo de sufrir una enfermedad respiratoria o cardiovascular. Este fenómeno se da en los países con poco nivel de desarrollo debido al uso de combustible y carbón para realizar ciertas actividades de subsistencia [14].

2.4.2 América Latina

En el artículo titulado “Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina”, se discutió la problemática de la contaminación del aire en tres megaciudades: México, São Paulo y Santiago [15].

En particular se revisaron los programas de control de la contaminación atmosférica que han puesto en marcha los gobiernos de esas ciudades y la evolución de los niveles de contaminantes durante el periodo 1988-1995 en Santiago de Chile y São Paulo y hasta 1997 en la ciudad de México, con el objeto de evaluar el impacto de esos programas. En las tres megaciudades se observó un descenso en las concentraciones de PTS , PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO y O_3 durante el período mencionado. Cabe destacar que aunque la mayoría de los contaminantes siguen rebasando la norma de calidad del aire, el mayor impacto de estos programas ha sido sobre los niveles de SO_2 . Se recomienda el desarrollo de políticas de transporte sostenible. En este sentido, la Conferencia Europea de Ministros del Transporte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) propusieron distintas estrategias tales como: el mejoramiento de los combustibles, la expansión del transporte colectivo y el control de emisiones en los vehículos automotores. Igualmente, la participación ciudadana es importante al tomar decisiones relacionadas con las políticas de transporte.

En la ciudad de México, se llevan a cabo medidas de control de la contaminación atmosférica, estableciéndose medidas de sustitución del combustible por gas natural y reduciendo el contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas. Adicionalmente, se puso en marcha el programa “Hoy no circula” por medio de verificación vehicular, entre otros. Esta medida de restricción vehicular ha sido aplicada en otros países como Chile, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Honduras, Venezuela [16].

En 1990, en Santiago de Chile se desarrolló un plan de descontaminación atmosférica que actúa en tres niveles: el plan maestro que define políticas y acciones globales que enmarcan el programa de descontaminación; el programa de emergencia de descontaminación atmosférica, para disminuir puntual y transitoriamente los niveles de emisión de la distintas fuentes y evitar daños a la salud durante episodios de alta contaminación atmosférica; y las acciones inmediatas, que obligaron a las industrias que emitían contaminantes a tomar medidas para reducirlos. [15].

En Sao Paulo se realizó un plan de control de la contaminación del aire para reducir las concentraciones ambientales de partículas totales en suspensión (PTS) y bióxido de azufre (SO₂) de emisiones industriales. Se buscó implementar una estrategia para que los combustibles fueran más limpios mediante programas de control de la contaminación por SO₂ [15]. Así mismo, se realizaron numerosas modificaciones en la composición de los combustibles que utilizan los vehículos automotores. Finalmente, se estableció que todos los modelos de vehículos nacionales e importados sean sometidos anual y obligatoriamente a homologación en cuanto a emisión de contaminantes [15].

2.4.3 América del Norte

El Informe realizado por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) contiene un extenso horizonte global de la contaminación industrial de América del Norte. En este se muestra evidencia de registros de emisiones y traslado por 5700 millones de kilogramos de contaminantes tóxicos en 2006 de plantas industriales en Canadá, Estados Unidos y México [17]. Un estudio de la NASA dirigido reveló que al año llegan del Océano Pacífico millones de toneladas de polvo con contaminantes y otras partículas. Este fue el primer estudio basado en mediciones de cantidad de partículas en el aire, llamadas aerosoles, que llegan a América del Norte [18].

La contaminación del aire en México ha disminuido considerablemente en las últimas dos décadas. Sin embargo, en muchas ciudades mexicanas los niveles de contaminantes nocivos, como material particulado y ozono, todavía permanecen por encima de los niveles recomendados por la OMS [17]. Doce de las quince ciudades del mundo con los niveles más elevados de material particulado están situadas en Asia; en donde, seis de esas ciudades tienen los niveles más elevados de SO₂ atmosférico [19]. Los niveles de contaminación superan substancialmente las directrices internacionales en materia de calidad del aire recomendadas por la OMS. Ciudades como Beijing, Calcuta, Yakarta, Nueva Delhi, Shanghái y Teherán son notorias por sus altos niveles de partículas en suspensión. Nueva Delhi ocupa el primer lugar como la ciudad con el nivel más elevado de SO₂ atmosférico, alcanzando un máximo de 420 µg/m³ [19].

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) anunció en agosto del 2012, la formación de una gigantesca nube tóxica sobre Asia, producto de décadas de contaminación sin medida. Esta capa de contaminación, densa y permanente en el continente asiático, desde el océano Pacífico hasta el océano Índico, ha recibido el nombre científico de Nube Asiática Marrón o “ABC” (*Asian Brown Cloud*, por sus siglas en inglés) [20].

La preocupación sobre el medio ambiente en este continente inicio en los años 80, excluyendo los países desarrollados de las subregiones de Asia Nororiental y partes del Pacífico Meridional [20]. Para los años noventa se tenían avances relevantes como la creación de instituciones e importantes normativas para enfrentar los problemas ambientales urgentes [20]. Con el fin de disminuir sus emisiones, muchos países de la región están usando gasolina sin plomo, convertidores catalíticos obligatorios y combustibles con bajo contenido de azufre. En India e Irán por ejemplo, se está considerando la utilización de tecnologías alternativas, como vehículos eléctricos o los que funcionan con gas comprimido. Por otro lado, Nepal y Pakistán han aprobado incentivos fiscales para alentar el uso de vehículos a gas o a baterías [21].

2.4.4 Europa

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente la contaminación atmosférica en Europa está asociada a efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente debido a las concentraciones de contaminantes atmosféricos que siguen elevando los problemas de la calidad del aire. La población vive en zonas urbanas donde los niveles de calidad del aire son elevados por contaminantes como ozono, dióxido de nitrógeno y material particulado [22]. Encontramos en APHEIS, un estudio presentado por la revista The Lancet en el 2000 donde dice que hay tres países europeos donde fallecen entre 19000 a 44000 personas a causa de los efectos de esta contaminación [22]. Por lo cual la contaminación atmosférica sigue siendo una amenaza para la salud pública en Europa, a pesar de las normas estrictas en cuanto a materia de emisiones se refiere. Es interesante mencionar un estudio publicado en 1999, en donde se evalúan los “Efectos de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud” [23]. Este estudio en su fase inicial contó con la participación de 15 ciudades europeas pertenecientes a 10 países. En su segunda fase incluye 34 ciudades. Específicamente en España se realizaron

proyectos como: EMECAM que analiza los efectos de la contaminación atmosférica fundamentalmente sobre la mortalidad y el proyecto EMECAS sobre la morbilidad [23].

3. Metodología

El principal objetivo de este estudio fue evaluar la relación existente entre la densidad de población y el ozono. Se asumió que la densidad de vehículos se relacionaba con la densidad de vehículos. La realización de un modelo de dispersión fue descartada debido a la poca información detallada existente. Por ejemplo, para los contaminantes la información debe ser recolectada diariamente y la información de tráfico vehicular de registro esta por distrito, necesiándose por corregimientos. Nuestro alcance se limitó al ozono debido a que era el único contaminante que mantenía un registro completo en al menos tres años entre el 2005 al 2010.

3.1 Selección de información

El distrito de Panamá, está conformado por 23 corregimientos (figura 3). La ciudad de Panamá está inmersa en el distrito Panamá y la conforman 15 de estos corregimientos (figura 4).

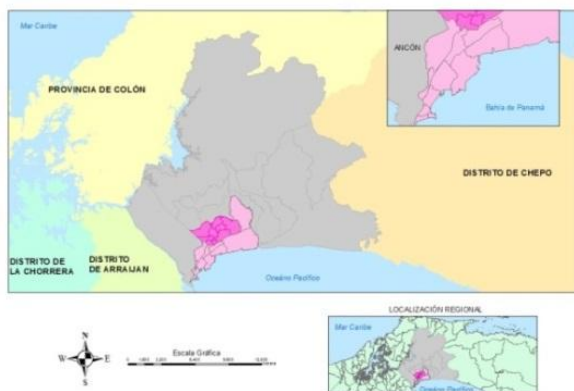


Figura 3. División política administrativa de la Provincia de Panamá. Año 2010. Fuente: Contraloría General de la República de Panamá.

En el distrito de Panamá existen cinco estaciones de monitoreo del ozono y una en el distrito de San Miguelito. Se escogieron 4 estaciones, 3 de la ciudad de Panamá y 1 del distrito de San Miguelito. Las estaciones seleccionadas están en los corregimientos de San Felipe (Casco Antiguo); Bella Vista (Universidad

de Panamá); Juan Díaz (Hipódromo) y en el Corregimiento Victoriano Lorenzo (figura 5).

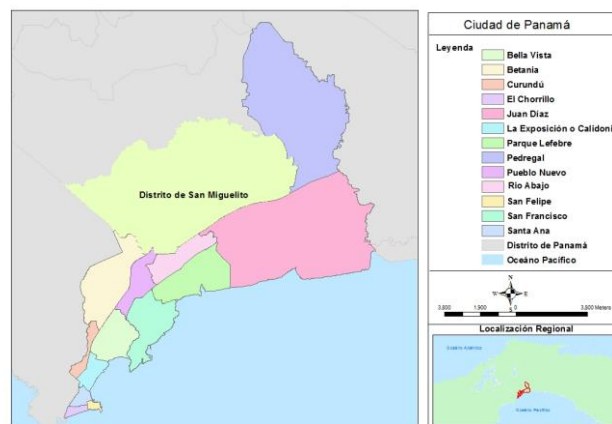


Figura 4. Corregimientos que conforman la ciudad de Panamá. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Contraloría General de la República. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Contraloría General de la República de Panamá.

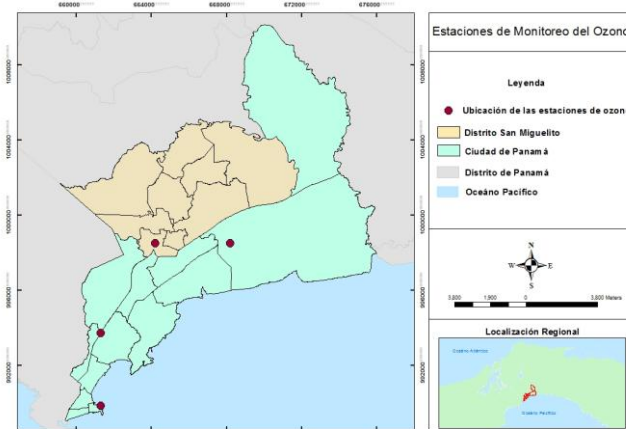


Figura 5. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de ozono.

3.2 Uso de Sistemas de Información Geográfica

Las figuras 6 y 7 muestran la construcción del polígono global de estudio a partir de los corregimientos que comprenden la ciudad de Panamá con el programa ArcGIS. Se utilizó la herramienta *Merge* (mezclar), la cual crea un archivo nuevo a partir de varios archivos de entrada de iguales características, y espacialmente adyacentes. Para mantener la consistencia en los resultados, los campos de las tablas de atributos deben

estar configurados homogéneamente en los archivos implicados.

El resultado es un polígono que servirá de base para realizar otras funciones de análisis espacial. Este polígono define las áreas de influencia de las estaciones empleadas. Luego, se realizó un geoprocesamiento, a través de la ventana *ArcToolbox*, se ubicaron el grupo de herramientas de *Analysis Tools* para realizar distintos procesos de análisis espacial. Aquí, colocándolos sobre la opción *Proximity*, se escoge la función *Create Thiessen Polygons* (figura 8).

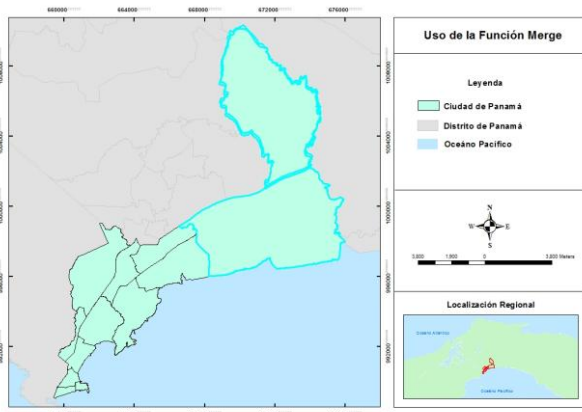


Figura 6. Geoprocesamientos de los SIG, utilizando la herramienta *Merge*. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Contraloría General de la República y los geoprocesamientos del *ArcMap 10.3*

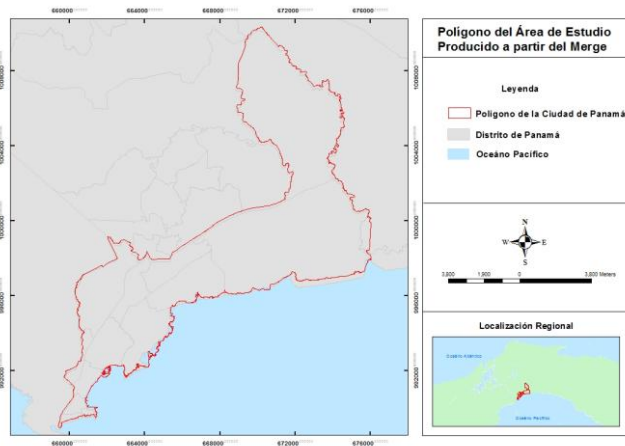


Figura 2. Delimitación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Contraloría General de la República y los geoprocesamientos del *ArcMap 10.3*.

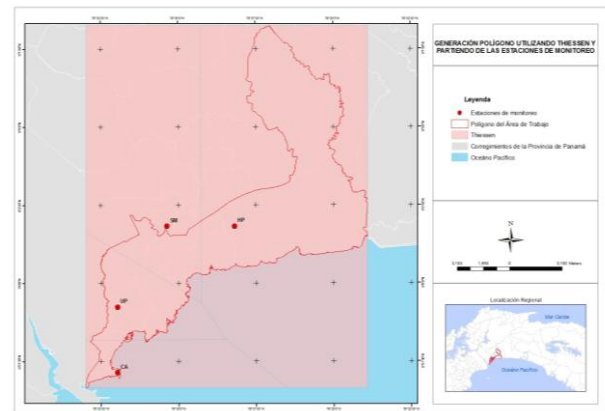


Figura 3. Generación de Polígonos con la aplicación *thiessen* a partir de serie de puntos de control (estaciones). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Contraloría General de la República y los geoprocesamientos del *ArcMap 10.3*.

Los polígonos de *Thiessen* son métodos de interpolación simple basados en la distancia euclidiana. Se emplean particularmente cuando los datos son cualitativos. Los polígonos son creados al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control. De esta forma, el perímetro de los polígonos generados es equidistante a los puntos vecinos y de esta manera se diseña el área de influencia.

El método de los polígonos de *Thiessen* en *ArcGIS* cumple esta función, delimitar áreas de influencia a partir de un conjunto de puntos. El tamaño y la configuración de los polígonos dependen de la distribución de los puntos originales. Estas zonas representan áreas completas donde cualquier ubicación dentro de la zona está más cerca de su punto de entrada asociado que a cualquier otro punto de entrada.

En determinadas las zonas de influencia, se procedió a realizar un corte con el objeto de trabajar exclusivamente sobre el área de estudio. Este paso empleó la función *CLIP* (cortar) de *ArcGIS*. La función *CLIP* (*ArcToolBox* – *Analysis Tools* – *Extract*), permite cortar una capa de información según el perímetro definido por el contorno de otra capa, almacenándose el resultado en un nuevo archivo. El archivo de entrada pueden ser puntos, líneas o polígonos. El archivo utilizado para cortar, debe ser de polígonos. Con los resultados de la Figura 8, y agregando la capa de

corregimientos para definir el área de los mismos para los correspondientes cálculos de densidad de población, obtuvimos aplicando la herramienta *CLIP*, el área de estudio con sus respectivos polígonos.

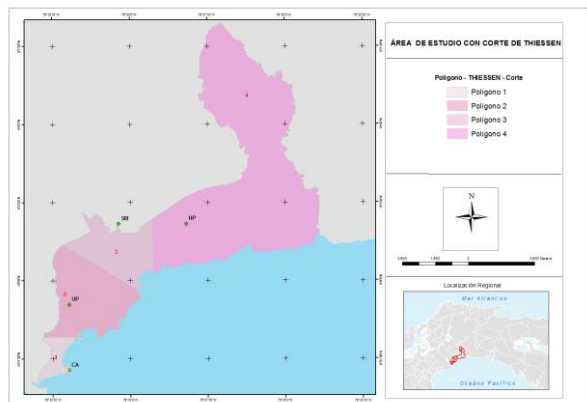


Figura 4. Máscara de corte en el área de estudio.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Contraloría General de la República y los geoprocесamientos del ArcMap 10.3.

Se procedió a usar la función *CLIP*, junto con la capas generadas por *Thiessen* para hacer un nuevo corte y generar áreas correspondientes a cada polígono como apreciamos en la figura 9. Este corte nos permitió calcular el área de cada polígono y la densidad de población de los mismos.

4. Resultados

A partir de la información de la Figura 9, se calculó la población correspondiente a cada zona de influencia, con lo cual se generaron los Mapas de Ozono vs Densidad de Población para cada año.

Se asumió que la densidad de población está estrechamente relacionada al número de vehículos. Con esta premisa, se pudo analizar el comportamiento de estas variables para poder determinar si cumplen o no con la hipótesis.

4.1 Mapas de Ozono vs Densidad de Población

Tal como mencionamos, se asumió que la densidad de población está estrechamente relacionada al número de vehículos. Con esta premisa, se pudo analizar el comportamiento de estas variables para poder determinar si cumple o no con la hipótesis.

4.2 Descripción de resultados

Para el año 2005 (figura 10), el polígono 1 tiene alta concentración de ozono registrado, coincide con una densidad de población también alta. El polígono 2 por su parte muestra una densidad de población media, y refleja una contaminación por ozono media; al igual que el polígono 3 y en el polígono 4 a pesar de tener una densidad de población baja la contaminación por ozono es alta tomando en cuenta que el polígono 4 está conformado por los corregimientos Pedregal, Juan Díaz, parte de Parque Lefevre (40%) y Rio Abajo (71%) y la cantidad de vehículos (44,453) que circulaba en este polígono N.º 4 influenciado por la estación de monitoreo de ozono del Hipódromo.

Tabla 1. Concentración de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Polígono	Año			Área (Km^2)
	2005	2008	2010	
N.º				
P1	18.47	13.55	13.83	0.35
P2	11.06	7.7	9.54	17.59
P3	10.19	7.22	9.49	12.35
P4	16.98	12.61	12.86	70.05

Donde: μg = microgramos, m = metros.

La tabla 1 presenta la concentración de ozono por polígono de estudio para los años 2005, 2008 y 2010. Esta información sirvió de insumo para la creación de los mapas de Densidad de Población vs. Ozono.

Tabla 2. Densidad de Población (Hab./Km^2)

Polígono	Años		
	2005	2008	2010
No.			
P1	23670	23685	23695
P2	6599	6812	7156
P3	6151	6251	6310
P4	2609	2730	3167

Donde: Hab. = habitantes, Km = kilómetros.

La tabla 2 presenta la Densidad de Población (Hab./Km^2).

Para el año 2008 (figura 11), el polígono 1 tiene alta densidad de población y contaminación por ozono alta; el polígono 2 tiene media densidad de población y contaminación por ozono bajo; al igual que el polígono 3, esto puede ser por causa de la deficiencia de transporte colectivo y selectivos, que lleva a la población a utilizar su propio auto. El polígono 4 para

este período tiene una densidad de población media y contaminación por ozono baja. Este comportamiento se debe al mismo fenómeno del polígono 2 y 3.

En el año 2010 (figura 12), el polígono 1 tiene una densidad de población alta al igual que su nivel de contaminación; el polígono 2 tiene una media densidad de población y un nivel bajo de contaminante por ozono; el polígono 3 tiene una densidad de población media y un nivel de contaminante bajo y el polígono 4 tiene una densidad de población baja y un nivel medio de contaminación por ozono.

El incremento urbano que se ha dado en la ciudad de Panamá, el mal estado y mala administración de autobuses obliga al panameño a depender de automóviles propios para su traslado, generando así más contaminación al aire y sobre todo en las horas pico.

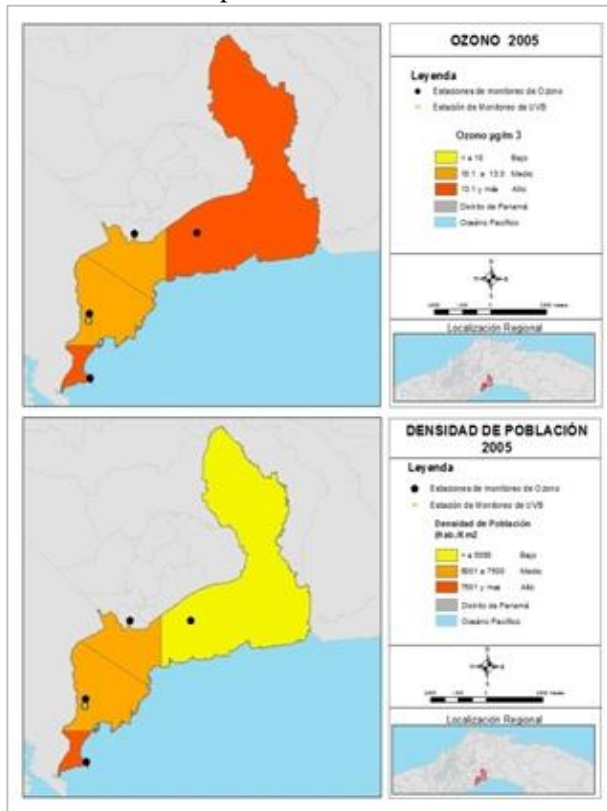


Figura 5. Ozono VS Densidad de Población. Año 2005.

4.3 Análisis de resultados

En la ciudad de Panamá, como en muchas otras ciudades del mundo se ha dado un crecimiento económico, urbano ligeramente vinculado a la industria de la construcción y servicios, guardando una inmensa relación con maquinarias automotoras, equipos pesados, trayendo como resultado consumo de combustibles fósiles generando grandes volúmenes de contaminantes que reaccionan con las condiciones ambientales del entorno y pueden traer daños al hombre, ecosistemas, recursos naturales etc.

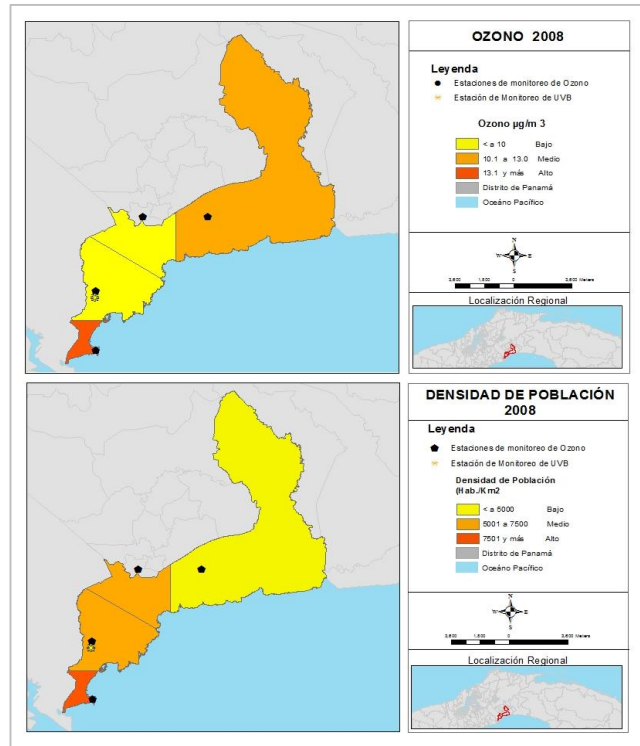


Figura 6. Ozono VS Densidad de Población. Año 2008.

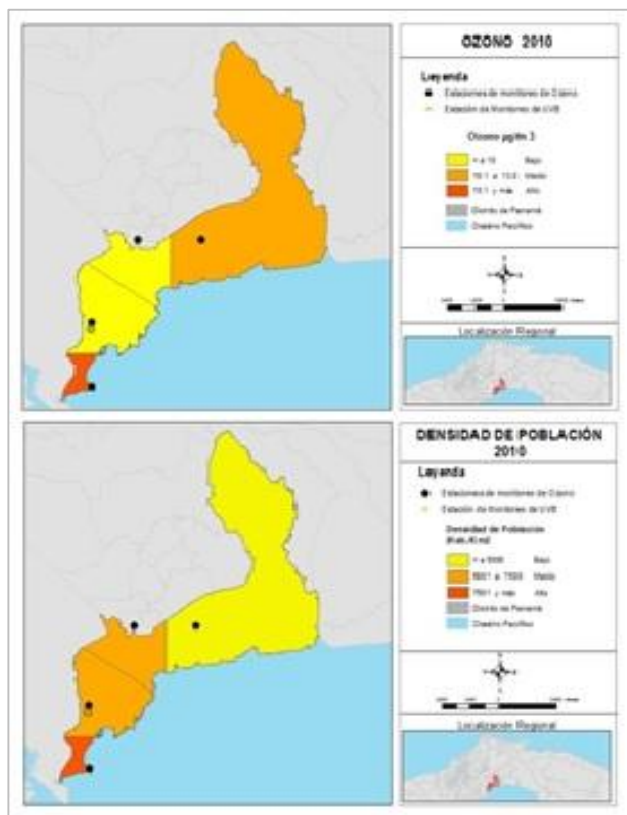


Figura 7. Ozono VS Densidad de Población. Año 2010.

Aunque hoy día es a todas horas debido a los trabajos de mejoramiento urbano el tranque se ha apoderado de nuestras calles y esto para en contaminantes al aire por el tipo de combustibles que utilizamos y no solo esto también tenemos los contaminantes de material particulado con todas estas construcciones que se están dando.

5. Conclusiones

Podemos decir que el comportamiento dado en el polígono 1, área de estudio influenciada por la estación del casco antiguo se da por diversos factores como la mayor densidad de población y asentamientos urbano, lo cual contribuye a una mayor contaminación atmosférica que se refleja en las concentraciones más elevadas de los contaminantes estudiados.

En nuestra ciudad el incremento del parque automotor y el recorrido de los mismos han ido en crecimiento acelerado durante los últimos años, este incremento aporta más contaminantes atmosféricos la necesidad del uso de automóvil como medio de transporte debido al mal servicio que tenemos.

6. Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud. “Calidad del aire (exterior) y salud.” Internet: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>, marzo, 2014 [julio 13,2011].
- [2] Organización Mundial de la Salud (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. [En línea]. Disponible: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf [julio 23, 2011].
- [3] Organización Mundial de la Salud (2003). *Índice UV solar mundial: guía práctica*. Recomendación conjunta de: Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante. [En línea]. Disponible: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42633/1/9243590073.pdf> [julio 27, 2011].
- [4] B. Lang & R. Majano. El impacto ambiental de los medios de transporte en Centro América. Geneva, Switzerland: SWISSCONTACT. (1999).
- [5] Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá (2006).Anteproyecto de Norma de Calidad de Aire Ambiente. Dirección Nacional de Protección de la Calidad Ambiental (DINAPROCA_ANAM) & URS Holdings. [En línea]. Disponible:http://www.capac.org/images/ambiental/legislacion/anteproyecto_norma_calidad_aire_ambiente.pdf [agosto4, 2011].
- [6] B. Veritas. *Manual para la Formación en Medio Ambiente*. Valladolid, ES: Lex Nova, 2008, pp. 152-166.
- [7] J. Garmendía y M. R. Fidalgo. (1990, Marzo). “Influencia de la precipitación sobre las concentraciones de SO₂ y humos de la atmósfera de Salamanca.” *Revista de Meteorología A.M.E.* [En línea]. pp. 33-37. Disponible: http://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2197/1/TyC_1990_13_05.pdf [enero 27, 2012].
- [8] M. Alfaro. *Contaminación del Aire: Emisiones Vehiculares, Situación Actual y Alternativas*. San José, CR: Universidad Estatal a Distancia San José, 1998, pp. 1-25.
- [9] E. Martínez. *Química II: con Enfoque en Competencias*. MX: Cengage Learning Latin America, 2008, pp. 49-58.
- [10] M. Zuk, M. Tzintzun y L. Bracho. *Tercer Almanaque de Datos y Tendencias de la Calidad del Aire en Nueve Ciudades Mexicanas*. México DF, MX: Instituto Nacional de Ecología, 2007, pp. 1-114.
- [11] Instituto Nacional de Ecología - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Guía de Elaboración y Usos de inventarios de emisiones*. MX: INE-SEMARNAT, 2005.

- [12] Instituto Nacional de Ecología. *Tratamiento Biológico de Compuestos Orgánicos Volátiles de Fuentes Fijas*. MX: INE, 2003, pp. 1-70.
- [13] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002 GEO-3*. Nairobi, Kenya: PNUMA, 2002, pp. 210-239.
- [14] A. López. “La OMS publica el primer mapa de la contaminación mundial.” *El Mundo*. Internet: www.elmundo.es/elmundosalud/2011/09/26/noticias/1317036029.html, sep. 26, 2011 [julio 27, 2012].
- [15] M. Lacasaña-Navarro, C. Aguilar-Garduño, and I. Romieu, “Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina,” *Salud Pública Mex.*, vol. 41, no. May, pp. 203–215, 1999.
- [16] Gobierno del Estado de México. Secretaría del Medio ambiente (2012, junio). *Programa de Restricción Vehicular "Hoy No Circula" y similares en el mundo. Sus alcances y limitaciones*. [En línea]. Disponible: <http://docplayer.es/7927049-Programa-de-restriccion-vehicular-hoy-no-circula-y-similares-en-el-mundo-sus-alcances-y-limitaciones.html>. [Octubre 21, 2013].
- [17] Teorema Ambiental, Revista Técnico Ambiental. “Sectores industriales los más contaminantes de América del Norte.” Internet: http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/sectores-industriales-los-mas-contaminantes-de-america-del-norte/. Jul. 14, 2010 [Febrero 14, 2014].
- [18] A. Gubin. “El 50% de la contaminación en América del Norte proviene del Pacífico.” Internet: <http://www.lagranepoca.com/archivo/25205-50-contaminacion-america-del-norte-proviene-del-pacifico.html>, Ago. 3, 2012 [abril 18, 2013].
- [19] C. Guajardo, “Entidades Normativas a Nivel Mundial.” Internet: http://es.slideshare.net/bio_claudia/entidades-normativas-anivelmundial-nms, Oct. 8, 2012 [mayo 30, 2013].
- [20] F. Ojeda. “Bajo la nube.” Internet: <http://es.slideshare.net/FdaOjeda/bajo-la-nube-solucin-contaminacion-china>, jun. 22, 2014 [Diciembre 16, 2014].
- [21] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA. (2007). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO4 medio ambiente para el desarrollo*. [En línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/1307671/Perspectivas-del-Medio-Ambiente-Mundial-2007> [Febrero 3, 2014].
- [22] S. Medina, A. Plasència, Grupo APHEIS (2001). *Presentación de APHEIS Contaminación del Aire y Salud: Un Sistema Europeo de Información Contaminación del Aire y Salud Pública en Europa: Cuestiones clave*. [En línea]. Disponible: http://www.osakidetza.euskadi.eus/r85-cksalu10/es/contenidos/Informacion/sanidad_ambiental/es_1249/adjuntos/aire/apheis_bilbo_c.pdf [junio 19, 2014].
- [23] I. Galán (2005). “Efectos de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad y morbilidad por enfermedad respiratoria en la ciudad de Madrid.” *Revista de Patología Respiratoria*. [En línea]. 8(2). pp. 201-202. Disponible: http://www.Revistadepatologiarrespiratoria.org/descargas/pr_8-2_201-202.pdf [Noviembre 7, 2014].