

Aportes geográficos interdisciplinarios en el estudio del problema de la contaminación del aire

CASO: Estudio sobre los niveles de Partículas
Suspendidas Totales en el Aire de la ciudad
de Maracaibo

Adelmo Romero*, **Eloy Montes**** y **Juan Franco*****

Resumen

El desaprovechamiento de datos esenciales de disciplinas no geográficas es frecuente. Con esos datos esenciales, referidos a sitios o lugares, se pueden generar nuevos y valiosos conocimientos geográficos del mundo real, aplicando las Tecnologías de la Información Geográfica y especialmente los Sistemas de Información Geográfica. En el presente trabajo, se utilizaron los datos esenciales de una publicación arbitrada, con el objeto de realizar un aporte geográfico interdisciplinario sobre el problema que generan las “partículas suspendidas totales en el aire de la ciudad de Maracaibo-Venezuela”. Mediante la aplicación del análisis espacial de puntos y áreas, se comprobaron algunas de las posibilidades para generar nueva información geográfica de gran valor científico, en el estudio de la contaminación y calidad del aire realizada por los químicos en este caso en particular.

Palabras clave: Geografía, interdisciplinariedad, aprovechamiento de datos esenciales, tecnologías de la información geográfica, contaminación del aire.

* Lcdo. en Educación área Geografía. Magíster. en Docencia para la Educación Superior. Profesor Titular e Investigador del Centro de Estudios Geográficos.

** Lcdo. en Educación Mención Geografía. Auxiliar de Investigación.

*** Lcdo. en Educación Integral. Magíster en Gestión Educativa. Asistente de Investigación.

*Interdisciplinary Geographic Contributions
to the Study of the Air Pollution Problem
CASE: Study of Total Suspended Particle Levels in the
Air of the City of Maracaibo*

Abstract

Frequently, essential data from non-geographic disciplines is not fully and satisfactorily utilized. With essential data related to sites or places, new and worthy geographic knowledge of the real world can be generated by applying geographic information technology, especially geographic information systems. In the present work, essential data obtained from an arbitrated publication was used to make an inter-disciplinary geographic contribution to solving the problems that generate the “particles suspended in the air of the city of Maracaibo, Venezuela.” By applying spatial analysis of points and areas, it was proven that some possibilities exist for generating new geographic information of great scientific value in the study of air quality and air pollution originated, in this particular case, by chemicals.

Key words: Geography, interdisciplinarity, essential data use, geographic information technologies, air pollution.

Introducción

Las limitaciones y poca existencia de estadísticas y datos esenciales, resultados y parámetros de orden ambiental y otros levantados en campo, depurados y generados con muchos esfuerzos y costos, son frecuentes. Los datos que existen son subutilizados, abandonados e ignorados sin ser aprovechados, geográficamente, entre otros, para los análisis interdisciplinarios de gran necesidad, a fin de generar nuevos resultados y conocimientos de mayor alcance y de mejores soluciones integrales a los desequilibrios ambientales que abordan diversas disciplinas de las ciencias naturales, sociales y humanas, a los fines de producir, actualizar conocimientos validos y confiables; necesarios para la solución, atenuación de los graves problemas de todo orden en el mundo real; particularmente el de la contaminación del aire; afectan sensiblemente la salud, calidad de vida, la economía y el confort mínimo del hombre.

Por ello se hace necesario y de utilidad recurrir a la ciencia Geográfica, a fin de contribuir a la búsqueda de nuevas soluciones interdisciplinarias y aprovechar el aporte de las nuevas Tecnologías de la Información Geografía (TIG) y especialmente de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para poder utilizar y aprovechar estos datos.

Los datos, resultados e informaciones primarias y/o secundarias de problemas ambientales, pueden ser de gran utilidad científica. Generan otros datos y nuevos conocimientos Geográficos en los estudios interdisciplinarios, de gran valor y vigencia en la ciencia actual, a través del uso creciente y necesario de los (SIG) como herramienta integradora de las Tecnologías de la Información Geográfica. Es este nuestro objeto y propósito. “El 90% de los datos (aprox.), valores, parámetros, e informaciones (almacenados en bases de datos) están referidos en lo concreto a una realidad espacio-temporal; es decir, a un lugar o sitio donde se expresan y que poseen una localización geográfica, astronómica y altitudinal con sus respectivos componentes topológicos, proyectivos y euclidianos referidos a esos espacios o lugares” (Romero, 2003).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen las ventajas de poder aprovechar los principios científicos de la ciencia Geográfica, para aplicarlos a la gran variedad de datos, resultados y parámetros que subyacen en muchas investigaciones. Poseen valiosos atributos, relaciones y causalidad espacial, independientemente de la postura paradigmática o teórica del autor; “La tecnología SIG –muestra su utilidad al demandar procedimientos relativos a la observación y descripción del paisaje –método del paradigma regional– con la finalidad de la recopilación de datos primarios, como también la interpretación indirecta a través de mapas, fotografías aéreas e imágenes satelitales desde un punto de vista visual –método del paradigma racional– para el abordaje interdisciplinario y multiparadigmático sin entrar en contradicciones en la aplicación concreta” (Buzai, 2004).

En cada una de esas investigaciones de las diferentes tendencias o posturas paradigmáticas, existen además, fuentes de datos secundarios que subyacen y que son de utilidad para la interdisciplinaria científica con gran valor potencial, una vez que se procesen bajo el enfoque espacial. “En principio la información de campo es la mas rica y precisa, pero la mas costosa de recabar, por lo cual existen limitaciones en su uso. La información documental, al igual que aquella que puede derivarse de la relación entre dos o más atributos disponibles debe-

ría ser siempre incorporada al Sistema de Información Geográfica” (Ocaña y otros, 2002).

Al estudiar los datos y compararlos a diferentes escalas geográficas, surgen y se descubren sus correlaciones y sus causalidades espaciales: locales, regionales, nacionales y globales a través del empleo esas herramientas analíticas (SIG) de modelaje de series espacio –temporales y tendenciales. Aportan conocimientos de otras disciplinas para procesarlos con nuevos métodos, técnicas de análisis Geográfico y de la comunicación de la información, a través de nuevos paradigmas como el de la Visualización Geográfica o Geovisualización y Nuevas Cartografías. “Los mapas son medios preponderantes para el almacenamiento y comunicación de información sobre la localización y caracterización del mundo natural, de la sociedad y la cultura. A través de los mapas podemos reconocer la distribución espacial y las relaciones espaciales, ya que hacen posible que podamos visualizar y por ende conceptualizar los modelos y procesos que operan en el espacio” (Bosque y Zamora, 2002).

La incorporación de Geógrafos y de las TIG en los grupos de estudio, en la planificación, aplicación e investigación, aumentan significativamente el grado de interdisciplinariedad necesaria en las ciencias.

Para aportar nuevos conocimientos a la interdisciplinariedad y evitar estas frecuentes omisiones de uso y de carencia de los datos geográficos esenciales, se propone que se extraigan y analicen los nuevos resultados y conocimientos Geográficos contenidos en múltiples disciplinas no geográficas, incluido el aprovechamiento geoestadístico, para rescatar y resaltar las propiedades y características geográficas de esas variables o datos subyacentes. “Descubre las tendencias, formas de distribución, variabilidad, amplitud, características generales, estructuras, posición, extensión y casos anómalos de la variable investigada” (Romero, 1995).

La búsqueda de datos esenciales y demás informaciones es una de las primeras tareas del investigador. Las fuentes secundarias son variadas: Artículos arbitrados afines, Mapas, Muestreos, Censos, Memorias, Boletines Estadísticos, Bases de Datos, Bibliotecas, Fototecas y otras fuentes de datos históricos, conforman un punto de partida en los antecedentes del objeto de estudio. El arqueo de estas fuentes secundarias definen las necesidades de levantamiento o recopilación de los nuevos datos esencia-

les (primarios) e informaciones de campo correspondientes con los objetivos del estudio a realizar. “El uso total de muchas fuentes de datos espacio-temporales es esencial para el modelado condensado (o resumido) de problemas ambientales a largo plazo” (Petry, M. Cobb, M. Paprzycki, D., 2003).

La creciente agudización de los problemas de contaminación ambiental y especialmente para nuestro caso, “La contaminación del Aire de la ciudad de Maracaibo” obliga a los actores sociales y a la comunidad de científicos a la búsqueda de conocimientos, tecnologías y de controles interdisciplinarios para su solución o atenuación. “La contaminación del aire, denominada también contaminación atmosférica, significa la presencia en el aire de alguna impureza en concentraciones suficientemente elevadas, como para producir efectos adversos que afectan la salud, la seguridad, el bienestar o el disfrute de la propiedad” (Hernández, 1990).

Las fuentes de contaminación del aire de la ciudad de Maracaibo provienen de la naturaleza y de las acciones del hombre. Las de origen natural contienen partículas de origen orgánico, polvo del suelo, aerosoles salinos del océano, sulfuro de hidrógeno natural, polvo cósmico, radioactividad natural, niebla y bruma y ozono proveniente de las tormentas eléctricas.

Las de origen antrópico se generan por la combustión de materiales energéticos productores de gases que ponen en peligro la vida del hombre, como: el dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, óxido nítrico, el ozono, cloro, amoníaco, hidrocarburos, plomo y especialmente las “partículas” de naturaleza sumamente compleja y las mas esparcidas de todos los materiales presentes en el aire. “La evaluación de los niveles de contaminación del aire por partículas suspendidas, ha tomado gran interés debido a la influencia nociva que estas partículas representan para la salud” (Morales, 1995).

Desarrollo

Ocasionalmente, estos variados datos esenciales temáticos contienen una localización Geográfica (¿Dónde?) con una precisión muy variable, según la extensión del área donde se recolectaron y observaron los hechos, procesos, fenómenos o problemas abordados y según la escala. Es necesario especificar el “donde” o “lugares” para posibilitar así la extracción de la geoinformación

esencial para las explicaciones interdisciplinarias de los problemas en estudio.

Una manera sencilla e imprecisa de localización de estos datos es describiendo geográficamente los lugares de recolección o área de estudio según su Topología: límites, vecindades, accidentes geográficos notables, direcciones postales, puntos cardinales, región, subregión, estado, municipio, parroquia, localidad, sector, entre otros, y señalarlos en el croquis o plano somero de su situación relativa.

Otra forma precisa de localización es determinando en campo las coordenadas y la altura de los puntos (X, Y, Z), líneas o polígonos, según sea el caso. Esta última forma de localización es indispensable para adecuar los datos temáticos de los lugares con sus coordenadas a su posterior procesamiento digital a través de los SIG.

Esta localización geográfica y/o astronómica de los lugares o áreas de estudio es elemental y responde a la pregunta geográfica del ¿Dónde?, más no responde a: ¿cómo se expresa y distribuye ese hecho, fenómeno, proceso o problema en el espacio geográfico multidimensional? ¿Cuáles son sus implicaciones o correlaciones espaciales? ¿Cuál es su Causalidad? ¿Cuál es su extensión? ¿Cuáles son sus regularidades y singularidades? ¿Cómo evoluciona? ¿Cuáles efectos y tendencias tienen para el hombre y las comunidades?

Las respuestas a estas obligantes preguntas de naturaleza analítica y espacial son de gran valor científico y se encuentran en los datos esenciales de fuentes secundarias, en investigaciones de múltiples disciplinas científicas; en muchas ocasiones, estos datos esenciales temáticos han sido medidos y registrados como “datos puntuales, lineales o areales” de significativos aportes potenciales Geográficos interdisciplinarios que están disponibles en ellos.

Los SIG facilitan enormemente la satisfacción de esas necesidades de extraer los nuevos conocimientos Geográficos contenidos en otras investigaciones y fuentes validas.

Esos casos o problemas estudiados ocurren en lugares específicos, lo cual les confiere unas propiedades espaciales (Geográficas) con relación a el mismo y a otros elementos que le rodean a escala local, regional y global; es decir que se establecen una serie de interrelaciones que se derivan de su localización diferenciada. Además son muy dinámicas en el tiempo y por lo tanto esas interrelaciones y causalidades espaciales cambian constantemente, al igual que cambian los efectos Geográficos; de allí la necesidad

de analizar los datos esenciales frecuentemente, bajo la óptica analítica de la Geografía. “Una base de datos que contiene una representación discreta de la realidad geográfica en la forma de objetos geométricos bi-dimensionales estáticos y sus atributos asociados, con una funcionabilidad mayormente limitada a operaciones geométricas primitivas para crear nuevos objetos o computarizar relaciones entre objetos y para búsquedas simples y descripciones sumarias (Goodchild, 1992).

Estos datos son los materiales básicos o insumos para la aplicación de nuevos métodos y técnicas de análisis de la información espacial, del modelaje cartográfico y del análisis estadístico de los datos Geográficos. “El análisis de la información espacial en el ámbito SIG se interpreta como la aplicación de funciones interrogatorias, matemáticas, lógicas, estadísticas, etc., sobre el Banco de Datos del SIG, dando lugar a diferentes respuestas. Las funciones analíticas aplicadas consideran la multidimensionalidad de la información espacial (componente geográfico, componente temático, componente temporal) y las respuestas obtenidas se materializan en: la representación y análisis de los datos, el análisis de su distribución espacial y en la predicción de pautas de comportamiento espacial” (Gamir y otros, 1995).

En lo referente a los métodos y técnicas de análisis de la información Geográfica o espacial se pueden utilizar una variada gama de procedimientos geométricos, matemáticos y estadísticos de reciente uso para validar esos datos y bases de datos. Sin embargo se deben revisar. “El análisis de la información espacial ocupa el nivel jerárquico superior dentro de los Sistemas de Información Geográfica -captación, gestión y análisis-. Esta circunstancia implica que para su correcto desarrollo se debe disponer de un banco de Datos Espaciales configurado con información exacta y precisa, que sea operativa y significativa con los objetos marcados. También deberá encontrarse libre de errores en su componente espacial, como temático, de manera que su procesamiento no arrastre desfases e incoherencias que desvirtúen los resultados finales” (Gamir y otros. 1995).

Las relaciones o enlaces existentes entre una misma variable, medida en diferentes puntos del espacio Geográfico, tienden a ser estrechas o parecidas según ocurra en los lugares limítrofes del mismo espacio. Ello implica la comprobación de la denominada “Primera ley de la Geografía” formulada por Waldo Tobler: “Todas las cosas se parecen, pero las cosas mas próximas se parecen mas” (Bosque, 1991).

Las auto correlaciones espaciales conducen a la búsqueda de la “Causalidad Espacial” (principio científico) de los hechos, fenómenos, procesos y problemas de orden netamente geográfico en sus causas, efectos, tendencias y lo mas útil, en la búsqueda de nuevos conocimientos interdisciplinarios que vislumbren las soluciones necesarias a los problemas investigados.

El análisis en cuanto a la presencia, distribución, frecuencia, intensidad y sentido de las correlaciones espaciales permiten obtener una valiosa pista en la búsqueda de leyes o teorías explicativas del hecho, fenómeno o problema estudiado, a partir de sus cambiantes expresiones espaciales puntuales y de sus estructuras.

Materiales y Métodos

Para seleccionar el problema con los datos esenciales geográficos que nos sirviera de medio y permitiera demostrar los “aportes geográficos” en el estudio interdisciplinario del problema de la contaminación del aire: se utilizaron los siguientes criterios:

- Que fuese una publicación arbitrada proveniente de una institución y de investigadores serios y de prestigio (Universidad, Academia, Centro de Investigación, Institución).
- Que los datos esenciales, resultados o variables temáticas contenidas en la publicación, deben tener una localización espacial expresa o tácita representativa (croquis, diagramas, tablas, texto o figuras) es decir, que contengan datos o resultados Geodescriptivos con algún tipo de referencia locacional Geográfica.
- Que la cantidad de datos esenciales geodescriptivos contenidos, no deben ser menores a diez (10), para un área urbana de estudio, con el objeto de obtener resultados espaciales de buena calidad: validez y confiabilidad.
- Que el área de estudio fuese fácilmente accesible para calibrar, georeferenciar los datos o resultados con rigurosidad (determinar las coordenadas) y visualizar directamente en forma preliminar el problema o caso de estudio seleccionado.
- Tomar los datos esenciales de la fuente original para disminuir las posibilidades de error.
- Evaluar la naturaleza o contenido de los datos o resultados, propósito, fiabilidad y precisión.

- Entrevistar a los investigadores y autores del estudio, a fin de consultarlos sobre algunos detalles importantes del caso e informarles sobre el propósito de esta investigación.

Atendiendo a estas consideraciones, por cuanto se cumplen con tales criterios básicos (no estadísticos), se seleccionó un solo (1) artículo arbitrado de una investigación de disciplina no geográfica (Química del aire), denominado: "Estudio sobre los niveles de partículas suspendidas totales en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo" "Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia. Venezuela. Pág. 131-140. Vol. 18. Abril 1995 N° 1". Suficiente y apropiado para derivar de él un nuevo conocimiento y demostrar el "aporte geográfico interdisciplinario" planteado en el título de este artículo.

En líneas generales, esa investigación o estudio, determinó los niveles de partículas suspendidas totales (pst) en 10 sitios de la ciudad de Maracaibo (pst máximo, mínimo, promedio, máximo instantáneo y mínimo instantáneo), a través de un método gravimétrico, que consistió en recolectar las muestras de partículas suspendidas totales (pst) durante varios años de mediciones y registros continuos de 24 horas, (Tablas 1 y 2) utilizando para ello:

"muestreadores de aire de alto volumen (HI-VOL Sampler Sierra Instruments de la serie 350, con controlador automático de flujo constante), equipados con filtros de fibra de vidrio como medio de recolección de las partículas. Los equipos fueron calibrados a una velocidad de flujo óptima de 40 pies cúbicos por minuto, utilizando un calibrador de orificio Sierra Instruments" (Morales y otros, 1995) (Figura 1).

En atención a la gran importancia y vigencia de este caso sobre el problema de la calidad y la contaminación del aire de la ciudad de Maracaibo, se concluyó que las expresiones geográficas contenidas en el mismo, podrían arrojar nuevos datos y resultados de valor científico y demostrar que "el contexto espacial aporta significación a los datos y contribuye a su interpretación" (Goodchild: 1992, citado en Gámir y otros, 1995) entre otras contribuciones interdisciplinarias de la geografía.

Dentro de los métodos y técnicas de análisis espacial y temático que se consideraron pertinentes a ser aplicados a los datos para obtener nuevos conocimientos sobre las partículas suspendidas totales (pst) en la ciudad de Maracaibo están:

- Método de análisis espacial de datos puntuales.

Tabla 1
Sitios de muestreo, períodos y número de muestras (n).
Altura del muestreo: 4 -10 metros

Sitio	Dirección	Períodos	n
1	Liceo Los Robles. Urb. San Jacinto (h= 10m)	25/05/81 – 20/05/82	34
		25/01/84 – 11/02/84	5
		21/06/85 – 28/06/85	7
2	Edif. Las Laras Av. 5 de julio con Av. 10 (h=6.5m)	18/05/81 – 20/05/82	60
		28/05/85 – 30/05/85	3
		07/04/87 – 28/04/87	3
3	Edif. CANTV. Urb. San Francisco (h= 10.5m)	28/09/81 – 20/05/82	37
		29/01/84 – 15/02/84	5
		03/08/85 – 10/08/85	4
		15/10/92 – 02/02/93	13
4	Barrio Manzanillo (h=5m)	12/07/85 – 20/07/85	8
		02/02/89 – 17/08/89	17
5	Urb. Altos de la Vanega (h=6.5m)	11/08/85 – 17/08/85	7
6	Barrio 24 de Julio (h=4.5)	18/08/85 – 24/08/85	7
7	Estación Meteorológica (FAV) (h=4m)	25/02/82 – 20/05/82	15
8	F.E.C. Módulo 2 L.U.Z. (h=8m)	11/02/87 – 04/03/87	3
9	Calle 71 Esq. Av. 23 (h=9m)	04/03/87 – 31/03/87	3
10	Edif. Maraven. Av. Padilla (h=10.5m)	11/11/83 – 20/02/84	18
1 al 10		1981 - 1993	249

h= Altura del muestreo.

Fuente: Morales y otros (1995).

Tabla 2
Concentración promedio de partículas suspendidas totales
(ug /m³) en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo durante
diferentes períodos anuales

Sitio	Mayo 1981 a Mayo 1982	Nov. 1985 a Feb. 1985	Mayo 1985 a Agosto 1985	Febrero 1987 a Abril 1987
1	60 ± 30 ^a (30 - 93)	46 ± 4 (41 - 61)	109 ± 19 (76-147)	
2	68 ± 40 (24 -124)		107 ± 10 (97 - 119)	23 + 8 114 - 129
3	103 ± 50 (59 - 161)	104 ± 8 (88 - 126)	70 ± 5 (61 - 74)	93 ± 25 ^b (44 -138)
4			95 ± 24 (62 - 138)	99 ± 35 ^c (54 - 192)
5			88 ± 40 (29 - 171)	
6			72 ± 30 (31 - 114)	
7	88 ± 40 (46 - 124)			
8				80 ± 9 (68 - 90)
9				99 ± 19 (77 - 109)
10		74 ± 4 (42 - 98)		
Cada Período	77 ± 40 (24 -161)	75 ± 5 (41-126)	91 ± 24 (29 -171)	101 ± 11 (68 -129)

a= Desviación estándar de los valores. (Valores)= Intervalo de concentraciones.

b= Octubre 1992 a Febrero 1993.

c= Febrero a Agosto 1989.

Fuente: Morales y otros (1995).

Figura 1
Instrumento muestreado de aire de alto volumen utilizado para las mediciones y registros de las partículas suspendidas totales



- Método de elaboración de un modelo de superficies continuas (Método de Interpolación y/o extrapolación espacial Kriging).
- Método de análisis de la componente temática (Método de re-clasificación de una variable).

El proceso de desarrollo de un modelo de superficies consiste en modelar superficies continuas, a través de un método de interpolación o extrapolación espacial; en este caso utilizamos el propuesto por Kriging; el mismo fue seleccionado, por lo siguiente: “este tipo de métodos puede aplicarse sobre todo tipo de variables geográficas ambientales (emisión de contaminantes, datos meteorológicos, alturas, etc.) (Gámir y otros, 1995)”, con el objeto de llenar de datos o información los espacios vacíos en los lugares donde no se midió el problema y para crear una superficie continua y completa con la variable partículas suspendidas totales (pst) promedio.

El artículo arbitrado seleccionado sobre el problema, antes citado, contiene una tabla con datos esenciales y otros de interés.

“El planteamiento en origen es simple: a partir de un conjunto de datos puntuales (estaciones de medición) localizadas en un espacio geográfico, deben estimarse los valores correspondientes a otros lugares incluidos en el dominio espacial determinado” (Felicísimo y otros, 2001).

Antes de aplicar los métodos de análisis espacial mencionados, se realizó una selección de los datos esenciales, descartando de dichos registros, los valores máximos, mínimos e instantáneos

y procesando solo el promedio de los resultados (pst) dado el carácter (espacio-temporal) extremadamente dinámico y complejo del problema y por ser estos valores promedios más representativos y cónsonos con las normas sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica. Para contrastar los resultados y la categorización propuesta, en función de los indicadores oficiales establecidos, tenemos que “En Venezuela, en enero de 1989 se dictaron las primeras normas para el control de la contaminación atmosférica ocasionada por fuentes fijas. En dicha norma se dictaron las primeras normas para el control de la contaminación atmosférica ocasionada por fuentes fijas. En dicha norma se estableció un estándar anual de 75 ug/m^3 para pst.” (MSAS – MARNR citado por Morales y otros, 1995).

Primera etapa

El trabajo a ejecutar, cuando se tiene información espacial y se va a digitalizar, es verificar que sus Georeferencias sean apropiadas y precisas para el objetivo que se persigue. En nuestro caso la información contiene referencia Geográfica (Nomenclaturas urbanas), mas no tenía referencia astronómica o matemática (Coordenadas UTM) indispensable, razón por la cual se le determinaron las respectivas coordenadas UTM, a través del uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), con un Geo-explorador marca Trimble, modelo IIIc (Figura 2).

Figura 2
Instrumento Geoexplorador (GPS) Trimble IIIc utilizado para medir las coordenadas en los sitios de toma de muestras



Segunda etapa

Teniendo las coordenadas (UTM) de cada lugar o punto de mediciones de las partículas sólidas totales (pst), se desarrolló una tabla de datos con los valores X, Y, Z aplicando el Software topográfico Golden Surfer 7.0

Tercera etapa

Se realizó la interpolación y extrapolación espacial con el método Kriging, para generar a su vez una distribución de los datos a través de una malla regular, conformada por “una estructura de datos denominada matriz regular de alturas, donde sus puntos están distribuidos de tal manera que forman una malla cuadrada de filas y columnas equidistantes” (Vilchez, 2000).

Cuarta etapa

Para el tamaño de cada celda o píxel del modelo generado, se consideró conveniente asignar un valor de 25 x 25 mts, formando así una malla regular de 1.200 filas x 600 columnas enmarcadas en los siguientes rangos de coordenadas UTM: Este 205.000 hasta 220.000 y Norte: 1.116.000 hasta 1.119.000, que abarcan gran parte del área urbana y una porción al sur del municipio San Francisco, para incluir las mediciones de datos en la estación N° 7 (FAV), indispensables para los cálculos desarrollados.

Quinta etapa

Otro de los métodos y técnicas de análisis espacial pertinentes en este caso, es la reclasificación de una variable temática, la cual esta dentro de los métodos geoestadísticos de la componente temática. La reclasificación se aplica a “variables con una distribución continua en el espacio y que posean un rango de categorías muy elevado, es posible la aplicación de ordenes para forzar la concentración de categorías” (Gámir y otros, 1995). Se categorizaron los valores de pst promedio para agruparlos y zonificar el área de estudio.

Sexta etapa

Una vez creada la superficie continua de la variable (pst promedio), se procedió a exportar la base de datos resultante, desde el Software Golden Surfer 7.0, al formato ASCII – XYZ, para su posterior importación desde el Software IDRISI Kilimanjaro como capa vectorial de puntos.

Séptima etapa

Luego utilizando el módulo de conversión del Idrisi, se pasó del formato vectorial al raster.

Octava etapa

Se procedió a la reclasificación del mapa de superficie, utilizando el módulo RECLASS -y partiendo de los valores de categorización de la calidad del aire según el Régimen Venezolano de Legislación Ambiental- se obtuvo un mapa clasificado en cinco subcategorías, incluidas en las normas de contaminación antes citadas, definido como: AIRE MODERADAMENTE CONTAMINADO (Figura 3).

Novena etapa

Se levantó en campo, con un instrumento GPS -Geo-explorador marca Trimble modelo IIIc-, la trama vial principal de la ciudad para la Georeferenciación final y facilitar la comprensión del problema en sus manifestaciones espaciales.

Décima etapa

Luego se cargó la data de la trama vial al Software de posicionamiento y navegación satelital Pathfinder Office 2.7.

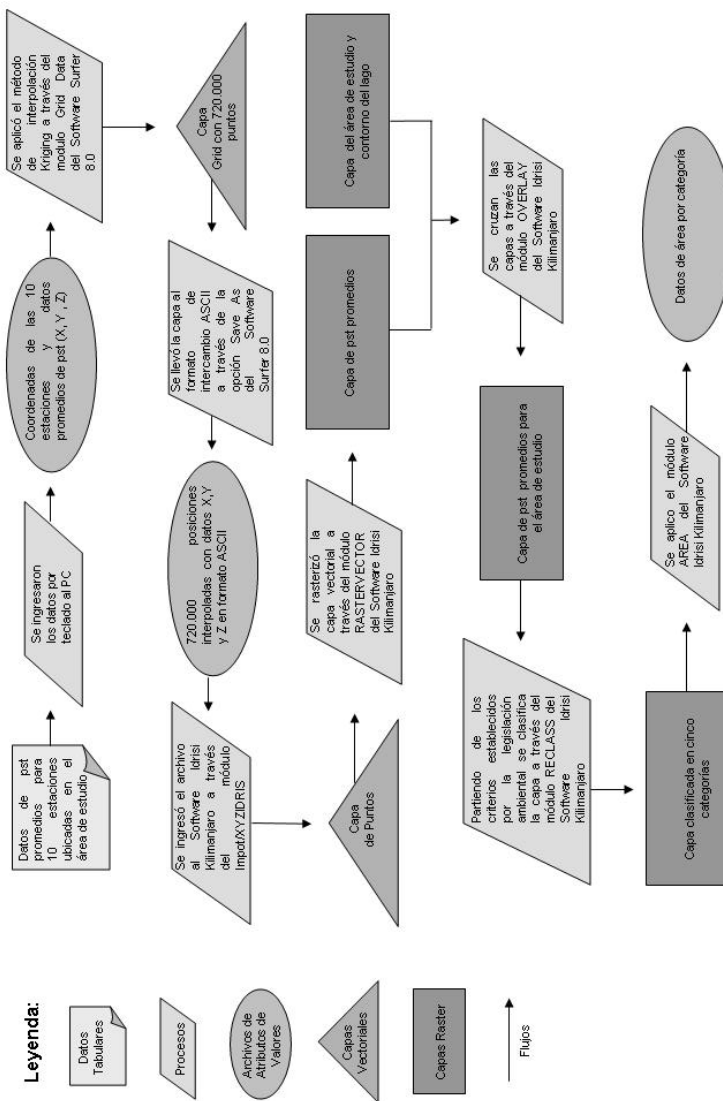
Décima primera etapa

Por otro lado, se procedió a digitalizar los vectores de la línea de costa del Lago de Maracaibo, sobre las cartas topográficas en formato digital 1:100.000 pertenecientes al Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar I.G.V.S.B -antes Dirección de Cartografía Nacional- con el fin de delimitar la porción este de la ciudad, utilizando específicamente las hojas No. 5848 Maracaibo Norte y 5847 Maracaibo Sur. El software de diseño gráfico que se utilizó para la digitalización vectorial, fue el Autodesk Map 6.

Décima segunda etapa

Finalmente las capas vectoriales ya mencionadas, fueron exportadas al formato DXF, para luego importarlas desde el Software Idrisi Kilimanjaro y superponerlas a todos los mapas, dando de este modo precisión, validez y confiabilidad a la referencia Geográfica y a la lectura e interpretación del área del problema.

Figura 3
Flujograma

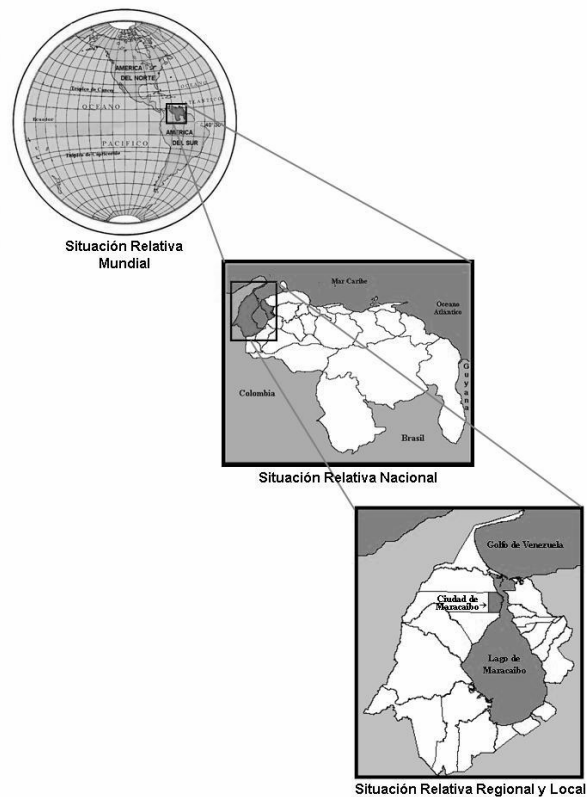


Resultados y Discusión

El aporte Geográfico, valor científico y utilidad interdisciplinaria de los datos esenciales puntuales, temáticos y aislados, contenidos en los resultados de la investigación denominada “Estudio sobre los niveles de partículas suspendidas totales en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo”, queda demostrado en la transformación de datos puntuales en nuevos conocimientos de áreas expresadas en los resultados y mapas (figuras y tablas) que los contienen; de orden Geográfico, Cartográfico y Comunicacional a saber:

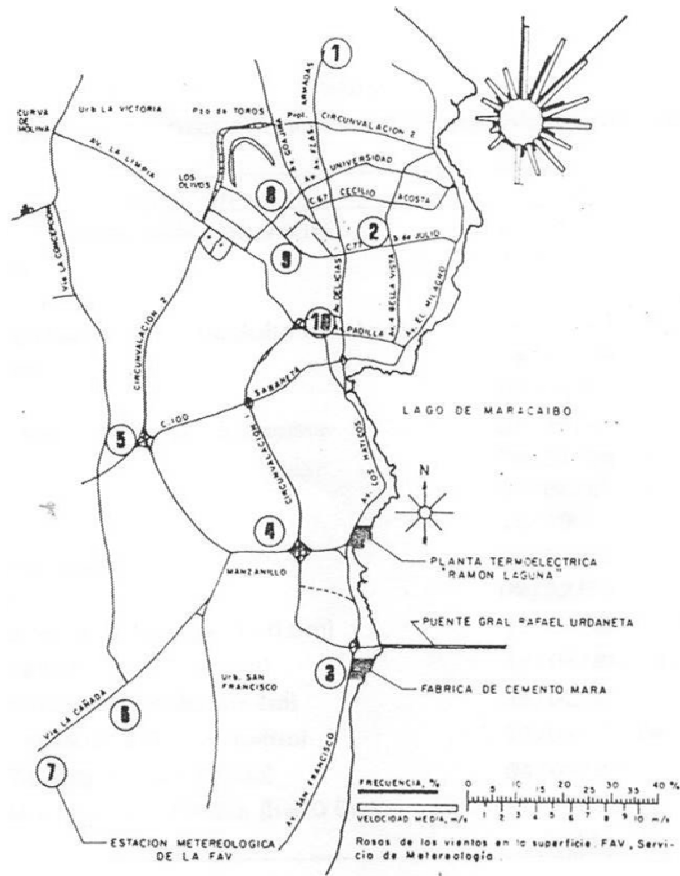
El primer mapa (Figura 4) especifica la situación relativa, absoluta, geográfica y astronómica de la ciudad de Maracaibo en el ámbito mundial, nacional, regional y local. Trasciende al resulta-

Figura 4
Situación relativa y absoluta de la ciudad



do cartográfico expresado por la fuente original (Figura 5). Solo se presenta un croquis general de la ciudad, que satisface solo las exigencias de esa investigación especializada en el estudio químico del aire, mas no es suficiente para el análisis espacial y geográfico del problema. Provee una mejor explicación a partir del criterio: se analiza desde lo local, pero reflexionado y pensando siempre en lo global, interdisciplinario, transdisciplinario y multidimensional.

Figura 5
Ubicación geográfica de los sitios de muestreo



Fuente: Morales y otro (1995).

El aporte de la Geografía en el aprovechamiento de las fuentes de datos esenciales queda en evidencia directa. Se han extraído y utilizado los parámetros locacionales subyacentes. Hay nuevos elementos geográficos que amplían, el contexto espacial del problema, como un valor adicional al croquis general de la ciudad, contenido en la antes citada investigación seleccionada.

En segundo término, la localización de los sitios de muestreos (Figura 6) precisa localización astronómica (coordenadas UTM) de los diez (10) sitios de toma de muestras y la trama vial principal para facilitar al usuario o lector la comprensión del mismo. Como complemento a este mapa, la localización geográfica (el

Figura 6
Mapa del área de estudio, sitios de muestreo y trama vial principal



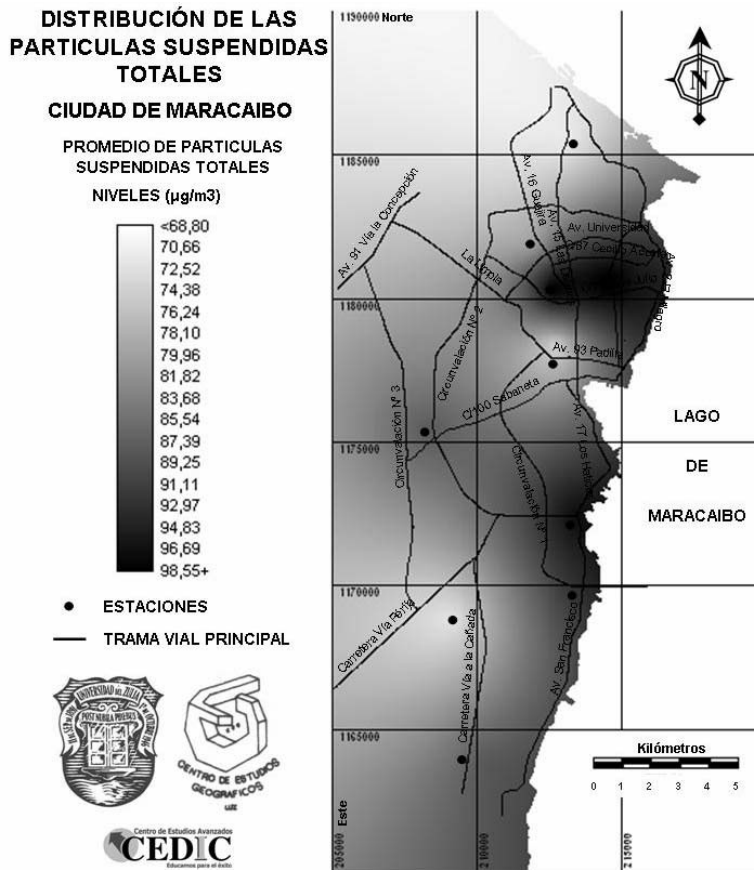
Tabla 3
Datos esenciales pst promedio Georeferenciados

N°	Estaciones	Dirección	Coordenadas UTM		Partículas Suspendidas Totales (pst)
			Este (X)	Norte (Y)	Promedio μ/m^3 (Z)
1	Liceo Los Robles	Av. Fuerzas Armadas	213243	1185380	71.7
2	Edif. Las Laras	Av. 5 de julio con Av. 10	214497	1180596	99.3
3	Edif. CANTV	Urb. San Francisco	213290	1169855	92.5
4	Barrio El Manzanillo	Av. 24 N° 3-100	213332	1172541	97
5	Urb. Altos de la Vanega	Calle 99 R N° 61-08	208250	1175494	88
6	Barrio 24 de Julio	Av. 49B -1 N° 170-38	209165	1168905	72
7	Estación Meteorológica (FAV)	Carretera Vía a la Cañada	210162	1164125	88
8	Facultad Experimental de Ciencias (LUZ)	Módulo N° 2	211861	1181911	80
9	Sector Paraíso	Calle 71 esquina. Av. 23	212568	1180340	99
10	Edif. Maraven	Av. Padilla	212734	178427	74

sector y la nomenclatura urbana), la localización astronómica y el número de las estaciones de muestreos allí señalados, (Tabla 3) permiten integrar y visualizar el conjunto de la situación relativa urbana del área de estudio, la distribución de las mediciones de campo y la trama vial principal al comparar nuestro resultado, con el aportado por la fuente original, se evidencia una mayor claridad, precisión locacional puntual y relativa al conjunto, como un nuevo resultado directo de las aplicaciones de los SIG y las Tecnologías de la Información Geográfica.

El tercer mapa generado (Figura 7) expresa nuevos resultados masivos en forma continua (además de la forma puntual) de la variable, con significativa expresión espacial extendida (áreal) y diferenciada por toda la urbe, sobre los niveles de “partículas suspendidas totales” (pst). Se han llenado con datos de pst promedio a todos los espacios urbanos que no tenían esa importante información sobre el problema. Se transformó una pequeña y valiosa información puntual de 10 puntos de muestreos originales, a una masiva información áreal de 720.000 puntos con nuevos datos promedio generados.

Figura 7
Mapa de distribución de partículas suspendidas totales (pst) promedio



También se puede generalizar, visualizar e interpretar las correlaciones, origen, implicaciones y tendencias espaciales del problema, conceptualizar el modelo y proceso actuante, el patrón de intensidad, procedencia, patrón de difusión, distribución y los diferentes niveles de partículas promedio suspendidas totales sobre cualquier lugar de la ciudad; todo ello expresado inequívocamente en el mapa. Además expresa la ubicación de los sitios de toma de muestras puntuales, su distribución y sus correlaciones espaciales. Todo en un solo bloque cartográfico que comunica una nueva información Geográfica del problema en forma rápida, completa de bajo costo mental de interpretación y su interés interdisciplinario.

Se observa además, que al extremo nor-este de la ciudad se concentran partículas suspendidas totales en niveles que sobrepasan el valor de $75 \mu/m^3$ establecido como estándar límite de aire limpio; sin embargo esta porción nor-este de la ciudad es de un área menor que la porción sur-este; esta última alcanza niveles de pst mayores y durante mas tiempo.

En ambas áreas, nor-este y sur-este de la ciudad, se va reduciendo la concentración de las pst contaminantes del aire, en la medida que se alejan hacia el oeste, por efectos de la dispersión ocasionada por el viento, la sedimentación o precipitación de las partículas (debido a la fuerza de la gravedad), al tamaño, peso y a los obstáculos (edificaciones, árboles, etc.) que las interceptan. Se visualiza un proceso de reducción gradual de la contaminación del aire, partiendo desde el este hacia el oeste. Por tanto, a diferencia del artículo tomado como fuente inicial se puede conocer el nivel del problema en cualquier lugar o sitio de la ciudad.

En el cuarto y último mapa (Figura 8) se clasifican, categorizan o agrupan los niveles de partículas promedio suspendidas totales, por las franjas o áreas establecidas al aplicar los métodos y técnicas pertinentes en zona (Tabla 4).

Las tres últimas zonas o franjas en que se dividió la ciudad, exceptuando la primera y segunda (zona de aire limpio y de nivel bajo respectivamente), se categorizan como "aire moderadamente contaminado". El mapa también expresa la intensidad puntual y areal diferenciada del problema de calidad del aire, los niveles de contaminación y de los procesos espaciales correlacionados actuantes, a fin de descubrirlos, clasificarlos resaltarlos, explicarlos y aproximar posibles medidas generales de control y de solución.

Figura 8
Mapa de zonificación de la calidad del aire

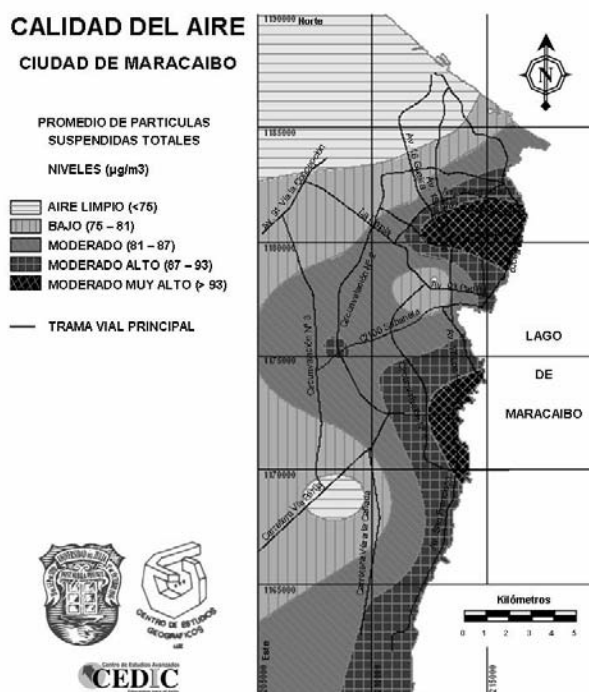


Tabla 4
Categorías Cualitativas y Cuantitativas de los niveles pst promedio

Categorías	Niveles de PST Promedio (Microgramos x m³) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Área (Km²)	Área (%)
Zonas de aire limpio.	< 75	57,87	21,2
Zonas de un nivel bajo.	75 - 81	70,32	25,7
Zonas de un nivel moderado.	81 - 87	87,55	32,0
Zonas de un nivel moderado alto.	87 - 93	42,24	15,4
Zonas de un nivel moderado muy alto.	> 93	15,42	5,6
	Total	273,4	100

Se han extraído los datos esenciales del “Estudio sobre los niveles de partículas suspendidas totales en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo” los cuales estaban aislados y subutilizados espacialmente. Se les agregó valor científico, geográfico, cartográfico, comunicacional e interdisciplinario; hasta convertirlos en nuevos y útiles conocimientos integrados e interdisciplinarios.

Se generaron las zonas o áreas urbanas clasificadas según los niveles de pst promedio, dividiendo la ciudad en franjas homogéneas y consecutivas de fácil comprensión visual, comunicacional, de localización de las vecindades inmediatas, mediatas y extendidas sobre el problema.

Consideraciones finales

Los aportes de la Geografía aplicada, las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) y especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a través del uso de los métodos y técnicas de análisis espacial, geográfico y geoestadístico, permiten obtener las siguientes conclusiones de carácter general y valor interdisciplinario:

Aporte científico y ampliación del valor geográfico, locacional cartográfico y comunicacional del caso, al determinar la situación precisa, absoluta y relativa de lo local, regional, nacional y global del problema. o de cualquier otro que posea relaciones dinámicas y complejas de carácter espacio-temporal.

Expresión espacial, geográfica, cartográfica y comunicacional ampliada, desde una perspectiva de análisis local, pero con posibilidades de reflexionar sobre lo global y la interdependencia e interdisciplinariedad del problema.

Precisión geográfica, astronómica, cartográfica y matemática (necesaria para el procesamiento digital en SIG) y en la localización de los sitios o puntos donde se midan y registren los problemas.

Aplicar análisis geoespaciales causales, correlacionados, diferenciados y modelados de tendencias y simulaciones de mucha utilidad para el soporte de la toma de decisiones, predicciones, administración de los espacios geográficos, inventarios y gestión de recursos, planificación y ordenamiento territorial, estudios de impacto ambiental, entre muchos otros y del problema de la contaminación del aire o de cualquier otro asunto que posea relaciones dinámicas y complejas de carácter espacio-temporal.

Suplir nuevos datos geográficos, cartográficos, comunicacionales y estadísticos en situaciones donde estos escasean, sean muy costosos de medir o sean poco fiables.

Referencias Bibliográficas

- BOSQUE SENDRA, J. (1991). **Sistemas de Información Geográfica**. Rialp, Madrid.
- BOSQUE SENDRA, J. y ZAMORA LUDOVIC, H. (2002). **Visualización Geográfica y Nuevas Cartografías**. Geofocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica [Revista en línea] Disponible: <http://www.geo-focus.org/> Artículos N° 2, año 2002, p. 61-77. [Consulta: 2005, Junio 9].
- BUZAI, G. (2004). **Geografía y Tecnologías Digitales del Siglo XXI: Una Aproximación a las Nuevas Visiones del Mundo y sus Impactos Científicos Tecnológicos**. El Impacto Social y Espacial de las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación. VI Coloquio Internacional de Geocrítica. [Revista en línea] Disponible: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-170-58.htm> Vol. VIII, núm. 170 (58), 1 de agosto de 2004 [Consulta: 2005, Enero 25].
- CASTRO R, Claudia y otros. (2001). **Régimen Venezolano de Legislación Ambiental**, LEGISLEC EDITORES, C.A., pp. 377.
- FELICÍSIMO PÉREZ, A.M. (2001). **Elaboración del Atlas Climático de Extremadura Mediante un Sistema de Información Geográfica**. Geofocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica [Revista en línea] Disponible: <http://www.geo-focus.org/> Artículos N° 1, año 2001, p. 17-23 [Consulta: 2004, Abril 5].
- GAMIR ORUETA, A. RUIZ PÉREZ, M. SEGUÍ PONS, J. (1995). **Prácticas de Análisis Espacial**. Oikos-tau. Barcelona.
- MORALES, J.A. DE BORREGO, B. DE NAVA, M. VELÁSQUEZ, H. CHIRINOS, M. VACCA, V. (1995). Estudio sobre los niveles de partículas suspendidas totales en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo. **Revista Técnica**. Vol. 18, N° 1, pp. 131-141.
- OCAÑA ORTIZ, R.V. MUNDO, J. LUSITANO, J. (2002). **Metodología para la Creación de Sistemas de Información Geográfica en Transporte para la Planificación y Gestión Urbana**. Fermentum. V. 34.
- PETRY, F.E. COBB, M.A. PAPRZYCKI, D. Ali (2003). **An agent system for managing uncertainty in the integration of spatio-environmental data**. soft computing 7. p. 402-411.

- ROMERO MENDEZ, A. y otros. (1995). **Análisis Exploratorio de los Datos de Suelos de la Región Zuliana. Aprovechamiento de un SIG.** Revista Geográfica Venezolana. Vol. 36, pp. 153-174.
- ROMERO MENDEZ, A. (2003). **Términos de Referencia para la Aplicación de un Sistema de Información Geográfica a un Proyecto de Investigación Científica.** Encuentro Educativo. Vol. 10, N° 3, pp. 273-295.
- VILCHEZ, J. (2000). **Evaluación de la Exactitud de Modelos de Elevación Digitales (MDE) de malla regular Generados a partir de Curvas de Nivel.** Revista Geográfica Venezolana Vol. 41 (2) pp. 239-256.