

Tipo de artículo: Artículo original

Temática: Software libre

Recibido: 27/03/2018 | Aceptado: 23/04/2018

Propuestas para el análisis geoespacial en estudios salubristas

Proposals for geospatial analysis in health studies

Yadian Guillermo Pérez Betancourt^{1*}, Liset González Polanco¹, Juan Pedro Febles Rodríguez², Alcides Cabrera Campos²

¹Facultad 3. Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 $\frac{1}{2}$, Torrens, Boyeros, La Habana, Cuba. CP.: 19370. {ygbetancourt, lgpolanco}@uci.cu

²Dirección de Educación de Posgrado. Departamento de Grado Científico. Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 $\frac{1}{2}$, Torrens, Boyeros, La Habana, Cuba. CP.: 19370. {febles, alcides}@uci.cu

*Autor para correspondencia: ygbetancourt@uci.cu

Resumen

El uso de los Sistemas de Información Geográfica ha aumentado considerablemente, fundamentado en las potencialidades que tienen para gestionar información geográfica. A pesar de esto, en la rama de la salud su uso aún es limitado pues presentan insuficiencias para realizar estudios de máximo interés para el sector. Se ha identificado que el empleo de los SIG en estudios sobre la distribución espacial de problemas de salud es limitado, sobre todo por las insuficiencias y dispersión de las herramientas existentes para la incorporación de la componente espacial. También se evidencia poca utilización para la regionalización de servicios que permitan incluir variables para lograr calidad de estos desde su diseño. En este trabajo se presentan cuatro técnicas y su realización en una solución informática para realizar análisis geoespacial en estudios salubristas. Las propuestas incluyen: la georreferenciación y análisis de tumores malignos, la estratificación de territorios, la regionalización de servicios y para la geosimulación. Finalmente se realiza un estudio estratificado de las provincias de Cuba según las diez principales causas de muerte para el año 2016 que evidencia la aplicabilidad de la solución.

Palabras claves: análisis geoespacial, estratificación de territorios, georreferenciación, geosimulación, Sistemas de Información Geográfica

Abstract

The use of Geographic Information Systems has increased considerably based on the potential they have to manage geographic information. In spite of this, their use is still limited in the health sector because they have insufficiencies to carry out high-interest studies for this sector. It has been identified that the use of GIS in studies on spatial distribution of health problems is limited, especially due to the inadequacies and dispersion of existing tools for the incorporation of the spatial component. Little use is also shown for the regionalization of services that allow the inclusion of variables to achieve quality from their design. This paper presents a computer solution based on free software to perform geospatial analysis in health studies. The proposal includes modules for georeferencing and analysis of malignant tumors, stratification of territories, regionalization of services and geosimulation. Finally, a stratified study of the provinces of Cuba is carried out according to the ten leading causes of death for year 2016, which shows the applicability of the solution.

Keywords: *Geographic Information Systems, georeferencing, geosimulation, geospatial analysis, stratification*

Introducción

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha visto favorecido por la necesidad creciente de gestionar y analizar información geográfica (Korte, 2001; Fu and Sun, 2010; Malczewski and Rinner, 2015; Faridi et al., 2018). Su alcance se ha redefinido, incorporando nuevas funcionalidades que dan soporte a estudios más específicos, entre los que se destacan los estudios de salud (Shaw and McGuire, 2017; Nakamura et al., 2017).

La utilización de los SIG desde los espacios docentes como instrumento científico-metodológico constituye una necesaria contribución al desarrollo del Sistema Nacional de Salud. Es por esto que en las transformaciones necesarias del sistema de salud, se promueve el desarrollo de herramientas y métodos para el análisis de la situación de salud (Segredo Pérez et al., 2015). Su empleo contribuye al fortalecimiento de la capacidad de análisis y facilita la identificación de las ubicaciones geográficas de establecimientos de salud y grupos de población que presentan mayor riesgo de enfermar o de morir prematuramente y por tanto que requieran mayor atención preventiva, curativa o de promoción de salud (Más Bermejo, 2011; Acosta et al., 2013; Liu, 2015).

Un SIG se puede considerar como la unión de componentes físicos y lógicos que permiten la gestión de información georreferenciada (Sweeney, 1999). La ventaja del uso de los SIG está dada por la representación gráfica de la información almacenada en bases de datos geoespaciales, que puede ser comparada y visualizada en mapas, con el dinamismo asociado a las escalas y los cálculos geográficos (Pick, 2015; Yasobant et al., 2015). Entre los antecedentes de aplicación SIG sobre datos de salud, se destaca la representación de la distribución espacial de las enfermedades, de gran interés para mostrar geográficamente las tasas de incidencia con objetivos puramente descriptivos. La representación espacial también ha sido utilizada para formular hipótesis relacionadas con la etiología de enfermedades y documentar o establecer el marco de estudios de la epidemiología (Alegret Rodríguez et al., 2008; Delgado Acosta et al., 2015).

A pesar del desarrollo de los SIG, aún presentan limitaciones para realizar estudios de interés para el sector de salud. Se ha identificado que el empleo de los SIG en estudios sobre la distribución espacial de problemas de salud basado en simulaciones es limitado, sobre todo por las insuficiencias y dispersión de las herramientas existentes para la incorporación de la componente espacial.

En Cuba los SIG en el sector de salud pública, se han utilizado principalmente en el análisis y distribución de los problemas de salud, fundamentalmente con enfoque a la estadística médica o en los modelos epidemiológicos. No siendo así para la regionalización de servicios, teniendo en cuenta indicadores de variada naturaleza con

énfasis en la necesidad de reorganizar, compactar y regionalizar los servicios de salud. Por otro lado, aunque los SIG constituyen herramientas de análisis de mucho valor, su incorporación en este tipo de estudios es aún insuficiente, motivado por: i) acceso limitado a los SIG por los costos que ellos implican, ii) poco conocimiento de las herramientas, iii) el tiempo de formación en el área de los SIG y iv) modelos muy limitados. En Cuba se ha reconocido además que las distribuciones espaciales de los problemas de salud han sido poco estudiadas (Alegret Rodríguez et al., 2008; Muñoz-Rodríguez and Basco, 2016).

En este trabajo se presenta un sistema informático para el análisis geoespacial en estudios salubristas que incluye una propuesta para la georreferenciación y análisis de tumores malignos. También se desarrollan propuestas para la estratificación de territorios, la regionalización de servicios y la geosimulación.

Materiales y métodos

Este trabajo tiene su base en el desarrollo de cuatro técnicas para el análisis geoespacial en estudios salubristas, la georreferenciación, la estratificación de territorios, la regionalización y la geosimulación. A continuación se presenta el enfoque que se desarrolla sobre cada una. La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación geoespacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa del mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. (Hill, 2009)

En este trabajo se utiliza la georreferenciación por puntos de control: en la que a partir de un conjunto de puntos bien identificados en la imagen y de los que se conocen sus coordenadas se calculan las funciones de transformación (lineales, cuadráticas) que mejor se ajustan a estos puntos. Para que esta georreferenciación resulte satisfactoria es necesario elegir de forma apropiada los puntos de control (en número, ubicación y distribución). Se trata, pues, de un proceso manual en el que se requiere intervención humana. Ofrece mayor exactitud cuando se trabaja en zonas donde es posible identificar bien los puntos conocidos.

La estratificación es un procedimiento que permite clasificar objetos en clases homogéneas a partir de analogías o relaciones que se establecen entre sus características (Quesada Aguilera et al., 2012). En estudios salubristas suele denominarse estratificación epidemiológica y es parte del proceso integrado de diagnóstico-intervención-evaluación. La estratificación epidemiológica utiliza varios enfoques para contribuir a la selección de sitios o zonas con problemas de salud y planificar estrategias de intervención. Dentro de los enfoques utilizados se pueden mencionar la estratificación del riesgo y la del riesgo absoluto, por indicadores ponderados, los patrones de distribución de frecuencia de principales riesgos asociados y las técnicas de análisis multivariado fundamentalmente las basadas en análisis de grupos o agrupamiento que es el enfoque que sigue el presente trabajo. (Quesada Aguilera et al., 2012)

En el contexto de esta investigación se trata la localización como la ubicación geográfica de uno o más servicios, para atender a un conjunto determinado de personas. Entiéndase por servicio: un hospital, un policlínico o

consultorio de la familia. Por otra parte la regionalización consiste en la delimitación geográfica de dichos servicios, una vez efectuada su localización, mediante indicadores asociados a las variables socio-económicas y demográficas.

La geosimulación se distingue por la combinación de múltiples características en un marco unificado, dando como resultado sistemas que suelen ser complejos, adaptables y dinámicos, centrados en la representación de las unidades elementales que componen el sistema y en las interacciones que tienen lugar. Entre las principales características se destaca: la gestión de entidades espaciales, de relaciones espaciales, del tiempo; paso directo de la abstracción al mundo real y viceversa, esto permite probar hipótesis, hacer descripciones realistas y apoyarse en acontecimientos claves de la geografía. También puede emplear reglas de transición deterministas, estocásticas y difusas.

Resultados y discusión

En esta sección se describen las cuatro técnicas para el análisis geoespacial en estudios salubristas obtenidas. También los módulos de la solución informática desarrollada a partir de estas técnicas. Finalmente se realiza una estratificación de las principales causas de muerte de Cuba en el 2016 por provincias.

Georreferenciación y análisis de la distribución espacial de los tumores malignos en Cuba

En la investigación los procesos de georreferenciación y análisis se desglosan en las fases siguientes:

- Registro: se realiza la georreferenciación de los casos.
- Selección: se eligen un algoritmo para realizar el agrupamiento.
- Selección de parámetros: se realiza la selección de los parámetros según el algoritmo de agrupamiento.
- Agrupamiento: se clasifican los casos en diferentes conglomerados.
- Visualización: se representa en un mapa temático cada uno de los conglomerados.

A partir de los elementos de cada fase y las características tanto de los tumores malignos, como de las técnicas de análisis espacial consultadas en la literatura se identificaron los requisitos funcionales.

Se realizó un estudio con el objetivo de verificar las potencialidades del uso de la propuesta como herramienta para el análisis. Los resultados mostraron su utilidad para fines de investigación y en el ámbito docente. (González Polanco et al., 2017)

Estratificación de territorios

El proceso de estratificación se desglosa en las fases siguientes:

Selección: se eligen los factores de estratificación (territorios, indicadores).

Pre-procesamiento: se obtiene el aporte informacional y se normalizan los datos de los indicadores seleccionados.

Agrupamiento: se clasifican los territorios en grupos homogéneos .

Visualización: se representa en un mapa temático cada grupo homogéneo de territorios.

En la figura 1 se presenta el modelo conceptual de la propuesta de solución.

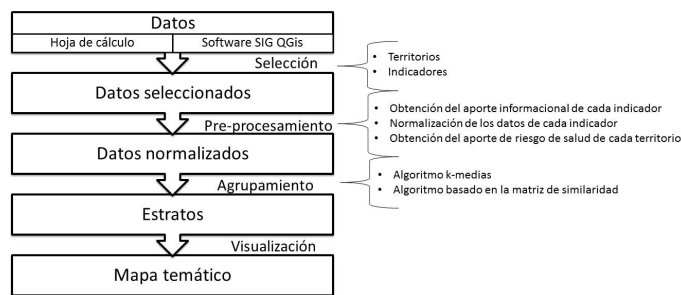


Figure 1. Propuesta para la estratificación.

Para realizar el proceso de estratificación se propone la utilización de indicadores estadísticos seleccionados por el usuario y el empleo de la naturaleza espacial de los datos a través de los indicadores cartográficos siguientes:

- Cantidad de fuentes contaminantes.
- Cantidad de ríos que presentan contaminación.

Para la incorporación de estos dos indicadores se tuvo en consideración:

- El problema de contaminación de las aguas, que se encuentra entre los principales problemas ambientales del país. Ello se debe principalmente al impacto producido en áreas densamente pobladas y las alteraciones a la salud y a la calidad de vida de la población.
- El problema de la contaminación del aire, afecta a la sociedad y a la salud del ser humano. Según datos de la Oficina Nacional de Estadísticas se evidencia que cada año más del 30 por ciento de los cubanos sufren enfermedades respiratorias y otras asociadas con la contaminación del aire (ONEI, 2016).

- La utilización de los de datos espaciales puntos y polilíneas permite servir de nivel de partida para incorporar el desarrollo de futuros trabajos, debido a que las distintos indicadores estudiados en la literatura están asociados a este tipo de datos.

Regionalización de servicios utilizando diagramas de Voronoi

Esta propuesta tiene sus base en los Diagramas de Voronoi (DV). Por la necesidad de incorporar en la regionalización variables que inciden sobre el servicio se hace una generalización de los Diagramas de Voronoi Ponderados Multiplicativos (DVPM). Para una mejor integración de los DV y DVPM con SIG para regionalizar los servicios, se propone un algoritmo basado en vectores para generar DV y DVPM tomando como referencia el trabajo de (Tian et al., 2014), de ahí que:

Sea $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ un conjunto de n puntos distintos de coordenadas $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. La subdivisión en n regiones de Voronoi $V(p_i)$, con la propiedad de que un punto $q(x, y)$ se encuentra en la región de Voronoi $V(p_i)$ si y sólo si $d(p_i, q) < d(p_j, q) \forall p_i, p_j \in P$ con $i \neq j$, se define como el diagrama de Voronoi $V(P) = \{V(p_1), V(p_2), \dots, V(p_n)\}$, brevemente DV. La denotación $d(p_i, q)$ denota una función de distancia entre p_i y q . Un DV Vo(P) es un diagrama de Voronoi usando la métrica euclidiana, definida por:

$$d_c(p_i, q) = \|p_i - q\| = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (1)$$

Sea $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ un conjunto de n puntos distintos, $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ un conjunto de n números reales positivos. A cada $p_i \in P$ le corresponde a un parámetro $w_i \in W$. Al subdividir en n regiones de Voronoi multiplicativas $V_{pm}(p_i)$, con la propiedad de que un punto $q(x, y)$ se encuentra en la región $V_{pm}(p_i)$ si y sólo si $d(p_i, q)/w_i < d(p_j, q)/w_j \forall p_i, p_j \in P$ con $i \neq j$, se define como el diagrama de Voronoi multiplicativo $V_{pm}(P, W) = \{V_{pm}(p_1, w_1), V_{pm}(p_2, w_2), \dots, V_{pm}(p_n, w_n)\}$, brevemente DVPM.

Los DVPM utilizan la siguiente función distancia entre un generador p_i con su peso asignado $w_i \in W$ y un punto de $q(x, y)$:

$$d_c(p_i, q) = \frac{\|p_i - q\|}{w_i} = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}}{w_i} \quad (2)$$

Sea $p_i(x_i, y_i), p_j(x_j, y_j)$ dos puntos con pesos w_i y w_j , L_{ij} la bisectriz de p_i y p_j , L_{ij} de un DV se expresa como:

$$\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} \quad (3)$$

De esta ecuación se puede obtener:

$$2(x_i - x_j)x + 2(y_i - y_j)y - (x_i^2 + y_i^2 - x_j^2 - y_j^2) = 0 \quad (4)$$

Se puede comprobar que L_{ij} es una bisectriz perpendicular que separa todos los puntos más cercanos a p_i de aquellos más cerca a p_j . Para una DVPM, L_{ij} de p_i y p_j pueden ser representados como:

$$\frac{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}}{w_i} = \frac{\sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}}{w_j} \quad (5)$$

Donde $d(p_i, p_j)$ es la medida de distancia entre los puntos p_i y p_j . La bisectriz de p_i y p_j forma un arco circular y las coordenadas del centro y el radio están dadas por:

$$\frac{w_i^2 x_j - w_j^2 x_i}{w_i^2 - w_j^2}, \frac{w_i^2 y_j - w_j^2 y_i}{w_i^2 - w_j^2} \quad (6)$$

$$d(p_i, p_j)^2 \frac{w_i w_j}{w_i^2 - w_j^2} \quad (7)$$

Para la obtención de los pesos asociados a cada servicio, se debe utilizar una función que tenga en cuenta los indicadores a partir del problema que se desea a resolver. A partir de los elementos descritos se propone el algoritmo 1 para la regionalización.

Algoritmo 1 *RegionalizarServiciosDVP*

Entrada: Capa de servicios (*capa*), Tipo de servicio (*tiposervicio*)

Salida: Conjunto de n regiones que responden al polígono asociado a cada servicio ($V[]$)

- 1: Inicializar lista de servicios (*puntos*)
- 2: Inicializar lista de pesos (w)
- 3: Inicializar lista de regiones de cada servicio (V)
- 4: Delimitar la región (*drv*)
- 5: Agregar a V la región *drv*
- 6: *puntosRegionalizar*(*capa*, *puntos*, *drv*, *tiposervicio*)
- 7: *calcularPeso*(*puntos*, w)
- 8: **para todo** $j \in \text{range}(0, \text{len}(\text{puntos}))$ **hacer**
- 9: $P_j = \text{puntos}[j]$
- 10: $\text{polig} = V[j]$
- 11: *eliminar*($V[j]$)
- 12: $w_j = P_j$
- 13: $\text{aux} = []$
- 14: **para todo** $i \in \text{range}(j + 1, \text{len}(\text{puntos}))$ **hacer**
- 15: $P_i = \text{puntos}[i]$
- 16: $w_i = P_i$
- 17: **si** $w_i == w_j$ **entonces**
- 18: $\text{geo} = \text{divideBisectriz}(w_j, P_i, P_j, \text{polig})$
- 19: **si no**
- 20: $\text{geo} = \text{divideRegionArc}(w_i, w_j, P_i, P_j, \text{polig})$
- 21: **fin si**
- 22: $\text{aux.add}(\text{geo})$
- 23: $\text{reg} = \text{Union}(\text{aux})$ unión de todos los polígonos en *aux*
- 24: $V.add(\text{reg.dif}(\text{polig}))$
- 25: $V.add(\text{reg})$
- 26: **fin para**
- 27: **fin para**

Geosimulación de factores de riesgo

El proceso de geosimulación basada en autómatas celulares está constituido por las siguientes fases:

Selección: se seleccionan las características cartográficas. Se obtienen los indicadores estadísticos desde una

hoja de cálculo.

Preprocesamiento: se obtiene el aporte informacional, se normalizan los datos de los indicadores seleccionados y se obtiene el aporte de riesgo desalud de cada territorio.

Calibración: se configuran los elementos para la realización de la regla de evolución.

Simulación: se representa la evolución de los estados de un territorio respecto al riesgo teniendo en cuenta la función local definida.

Visualización: se representa en un mapa temático cada territorio.

Como premisa para realizar el proceso de geosimulación se debe contar con los indicadores estadísticos definidos previamente por el usuario y el empleo de la cartografía asociada a los territorios. En un estudio realizado, se pudo comprobar los resultados similares a otras investigaciones.

Se desarrollo una solución informática a partir de las cuatro técnicas propuestas (Sistema para el análisis geoespacial en estudios salubristas XANGEO). En la figura 2 se muestran los módulos que conforman la solución.

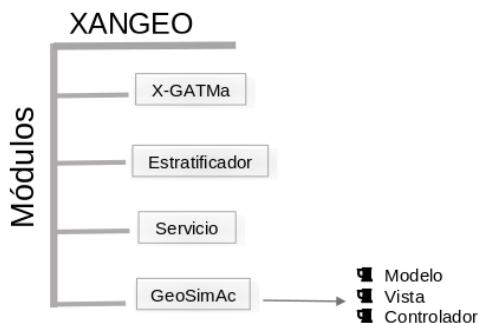


Figure 2. Modulos de XANGEO.

Estratificación de territorios según principales causas de muerte en el 2016

Se realizó un proceso de estratificación a partir de la propuesta que se presenta en este trabajo. Se seleccionaron las 15 provincias de Cuba, más el municipio espacial Isla de la Juventud según la división política administrativa vigente. Se obtuvo una capa vectorial desde la Infraestructura de datos espaciales de Cuba con los polígonos que representan a cada territorio escogido para el análisis.

A partir de los trabajos reportados en la literatura sobre la relación de la enfermedades con el espacio, se decidió escoger como variables las 10 principales causas de muerte de Cuba en el año 2016. Los indicadores de estas variables por territorios se obtuvieron del Anuario estadístico de salud. Como medidas de similitud geométrica se utilizaron tres funciones a partir de los criterios de distancia en el espacio entre los polígonos

que representan a los territorios, la conectividad y el criterio del tamaño según (Pérez Betancourt et al., 2017). A partir del análisis de los trabajos realizados sobre estratificación, se identificó el algoritmo K-Means como uno de los más utilizados y con mejores resultados en la literatura científica consultada, por lo que se decide utilizarlo en el estudio. La cantidad de grupos a construir se establece en cuatro a partir de los resultados mostrados en otras investigaciones.

Se realizaron cuatro procesos de estratificación para comprobar el impacto de utilizar las medidas de similitud geométrica. Primeramente se estratificó solamente utilizando los datos temáticos. Posteriormente se realizó una estratificación para cada medida de similitud geométrica, para ello se sumo la distancia entre datos temáticos con la medida de similitud geométrica. Luego de realizar la estratificación a partir de los criterios de similitud descritos, se realizó una evaluación del comportamiento del agrupamiento según los tres criterios utilizados. Los resultados de los grupos construidos por cada criterio fueron evaluados a partir de diferentes índices de validación de clúster reportados en la literatura. En la tabla 1 se muestra el resultado para cada índice, en todos los casos el criterio de conectividad obtiene el mejor desempeño.

También se obtiene un mapa temático con los grupos, cada grupo obtenido se representa por un color.

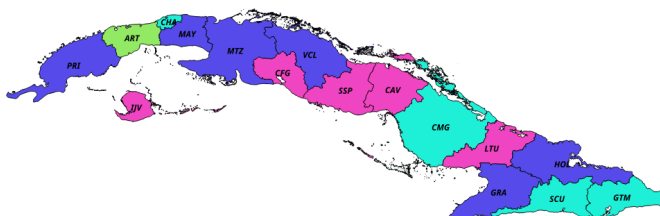


Figure 3. Estratificación según principales causas de muerte en el 2016.

Table 1. Resultados de la evaluación de índices de validación.

Métrica	Distancia	Conectividad	Tamaño
Precision	0,67	0,81	0,67
Recall	0,63	0,75	0,5
F-measure	0,62	0,74	0,48
Fowlkes-Mallows	0,38	0,66	0,35
Rand_score	0,68	0,83	0,57

Conclusiones

Con el desarrollo de la presente investigación se aportan nuevas funcionalidades al SIG Qgis para realizar estudios más específicos. En función de los resultados obtenidos se arribó a las siguientes conclusiones:

- El desarrollo de una propuesta para la realización de la georreferenciación y análisis de la distribución espacial de los tumores malignos facilita el estudio de sus distribuciones espaciales y a partir de ellas conformar hipótesis sobre su etiología.
- La integración de la componente espacial en estudios estratificados a partir de la solución propuesta permite establecer asociaciones espaciales y conformar modelos en correspondencia con la primera ley de la geografía.
- En correspondencia con la necesidad de mantener y gestionar los servicio desde su diseño, se presenta una propuesta de regionalización utilizando diagramas de voronoi ponderados que permite integrar variables para la construcción de las regiones en correspondencia con el servicio.
- A través de la geosimulación basada en autómatas celulares con la propuesta diseñada se obtuvo resultados semejantes a otros estudios asociados a factores de riesgo, lo que demuestra su utilidad analítica para entornos de investigación y en la docencia.

References

ACOSTA, Hilda Delgado; DÍAZ, Sonia Monteagudo; BUERGO, Delfín Rodríguez; GALINDO, Mabel Vega; ACOSTA, Meira Sotolongo. Estratificación del bajo peso al nacer desde un enfoque de determinantes

sociales. *Revista Finlay*, 2013, vol. 3, no 1. ISSN 2221-2434. URL <http://www.revfinlay.sld.cu/index.php/finlay/article/view/171>.

ALEGRET RODRÍGUEZ, Milagros; HERRERA, Manuela; GRAU ABALO, Ricardo. Las técnicas de estadística espacial en la investigación salubrista: caso síndrome de Down. *Revista Cubana de Salud Pública*, 2008, vol. 34, no 4, p. 0-0. URL http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662008000400003.

DELGADO ACOSTA, Hilda; GONZÁLEZ MORENO, Lídice; VALDÉS GÓMEZ, María; HERNÁNDEZ MALPICA, Sara; MONTENEGRO CALDERÓN, Tamara; RODRÍGUEZ BUERGO, Delfín. Estratificación de riesgo de tuberculosis pulmonar en consejos populares del municipio Cienfuegos. *MediSur*, 2015, vol. 13, no 2, p. 275-284. URL http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2015000200005.

FARIDI, Mainaz; VERMA, Seema; MUKHERJEE, Saurabh. Integration of gis, spatial data mining, and fuzzy logic for agricultural intelligence. Millie Pant; Kanad Ray; Tarun K. Sharma; Sanyog Rawat; Anirban Bandyopadhyay, eds., *Soft Computing: Theories and Applications*. Springer Singapore, Singapore, 2018. ISBN 978-981-10-5687-1, p. 171-183.

FU, Pinde; SUN, Jiulin. *Web GIS: Principles and Applications*. Esri Press, 2010. ISBN 158948245X, 9781589482456.

GONZÁLEZ POLANCO, L.; PÉREZ BETANCOURT, Y. G.; VAILLANT, Raniel Ge. *Sistema para la georreferenciación y análisis de la distribución espacial de los tumores malignos en Cuba*, chap. Ciencias técnicas. ISBN 978-959-7225, 2017, p. 4360-4369.

HILL, Linda L. *Georeferencing: The geographic associations of information*. Mit Press, 2009. ISBN 978-0-262-0835-6.

KORTE, George. *The GIS book*. Cengage Learning, 5th ed., 2001. ISBN 0-7668-2820-4.

LIU, Ye. Geographical stratification and the role of the state in access to higher education in contemporary china. *International Journal of Educational Development*, 2015, vol. 44, p. 108 - 117. ISSN 0738-0593. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2015.08.003>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0738059315000978>.

MALCZEWSKI, Jacek; RINNER, Claus. *GIScience, Spatial Analysis, and Decision Support*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-74757-4, 2015, p. 3-21. doi:10.1007/978-3-540-74757-4_1. URL https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4_1.

- MÁS BERMEJO, Pedro. Desarrollo, tendencia actual y retos de la Epidemiología en Cuba. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 2011, vol. 63, p. 5 – 6. ISSN 0375-0760. URL http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602011000100001&nrm=iso.
- MUÑOZ-RODRÍGUEZ, Mariela; BASCO, María E. Indagaciones epidemiológicas en salud mental: usos de servicios de salud y percepción del apoyo social. *Revista de Salud Pública*, 2016, vol. 18, p. 188–200.
- NAKAMURA, Takashi; NAKAMURA, Akihisa; MUKUDA, Kengo; HARADA, Masanori; KOTANI, Kazuhiko. Potential accessibility scores for hospital care in a province of japan: Gis-based ecological study of the two-step floating catchment area method and the number of neighborhood hospitals. *BMC Health Services Research*, 2017, vol. 17, no 1, p. 438. ISSN 1472-6963. doi:10.1186/s12913-017-2367-0. URL <https://doi.org/10.1186/s12913-017-2367-0>.
- ONEI. Anuario Estadístico de Cuba, 2016. URL <http://www.one.cu/aec2016/19%20Salud%20Publica.pdf>.
- PÉREZ BETANCOURT, Y. G.; GONZÁLEZ POLANCO, L.; FEBLES RODRÍGUEZ, J. P. *Estratificación de territorios basada en indicadores de salud y medidas de similitud geométricas*, chap. Ciencias técnicas. ISBN 978-959-7225, 2017, p. 4393–4401.
- PICK, James B. *Geographical Information Systems*. American Cancer Society. ISBN 9781118785317, 2015, p. 1–4. doi:10.1002/9781118785317.weom070053. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118785317.weom070053>.
- QUESADA AGUILERA, Jorge Antonio; QUESADA AGUILERA, Enso; RODRÍGUEZ SOCARRAS, Nuria. Diferentes enfoques para la estratificación epidemiológica del dengue. *Revista Archivo Médico de Camaguey*, 2012, vol. 16, no 1, p. 109–123. ISSN 1025-0255. URL http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1025-02552012000100014&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- SEGREDO PÉREZ, Alina María; DÍAZ BERNAL, Zoe; LÓPEZ PUIG, Pedro; GÓMEZ DEHAZ, Héctor. Sensibilidad de género en el análisis de la situación de salud del modelo cubano de medicina familiar. *Revista Cubana de Salud Pública*, 2015, vol. 41, no 2, p. 268–289.
- SHAW, Nicola; MCGUIRE, Suzanne. Understanding the use of geographical information systems (gis) in health informatics research: A review. *Journal of Innovation in Health Informatics*, 2017, vol. 24, no 2, p. 228–233. ISSN 2058-4563. doi:10.14236/jhi.v24i2.940. URL <https://hijournal.bcs.org/index.php/jhi/article/view/940>.
- SWEENEY, Michael W. Geographic information systems. *Water Environment Research*, 1999, vol. 71, no 5, p. 551–556. ISSN 1061-4303. doi:doi:10.2175/106143099X133631. URL <https://www.ingentaconnect.com/content/wef/wer/1999/00000071/00000005/art00004>.

TIAN, S; CUI, XM; SUN, Y. Vector-based realization of multiplicatively weighted voronoi diagrams with arcgis engine. *International Journal of Computer and Information Technology*, 2014, vol. 3, no 4, p. 737–742.

YASOBANT, Sandul; VORA, Kranti Suresh; HUGHES, Carl; UPADHYAY, Ashish; MAVALANKAR, Dileep V. Geovisualization: a newer gis technology for implementation research in health. *Journal of Geographic Information System*, 2015, vol. 7, no 01, p. 20.