

Métodos estadísticos y datos espaciales en las ciencias sociales. Comenzando a reducir brechas

Statistical methods and spatial data in the Social Sciences. Beginning reducing gaps

Lucía Favier González¹

Recibido: 23 de marzo de 2021

Aceptado: 18 de enero de 2022

Publicado: 10 de junio de 2022

Cómo citar este artículo: Favier González, L. (2022). Métodos estadísticos y datos espaciales en las ciencias sociales. Comenzando a reducir brechas. *Novedades en Población*, 18(35). <http://www.novpob.uh.cu>

Resumen

El objetivo central del trabajo es resaltar la importancia de realizar análisis estadísticos adecuados a los datos geográficos; reconociéndolos como entidades espacio-temporales caracterizados por tener una posición absoluta y relativa, una determinada geometría y ciertos atributos temáticos, que los identifican y describen respectivamente, para comenzar a reducir la brecha entre la conceptualización del espacio y su medición, y no ver el territorio solo como un

¹ Doctora en Ciencias Geográficas. Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanístico. ORCID ID: 0000-0002-3852-3973. E-mail: lfavier@inotu.gob.cu

contenedor de datos. El artículo tiene su base en la estadística espacial, desde la perspectiva del análisis exploratorio de datos espaciales.

Palabras clave: análisis espacio-temporal, análisis exploratorio de datos espaciales, datos espaciales, estadística espacial.

Abstract

The main objective of the work is to highlight the importance of carrying out adequate statistical analyzes on geographic data; recognizing them as space-time entities characterized by having an absolute and relative position, a certain geometry and also thematic attributes, which identify and describe them respectively, to begin to reduce the gap between the conceptualization of space and its measurement, and not see the territory just as a data container. The article is based on the Spatial Statistics, from the perspective of the Exploratory Analysis of Spatial Data.

Keywords: *Space-time analysis, Exploratory Spatial Data Analysis, Spatial data, Spatial Statistics.*

Introducción

A partir de los trabajos de Krugman en la década de los años 90 del siglo XX, se aprecia un avance significativo en cuanto a la reincorporación del espacio en los problemas económicos (Aroca, 2001). No obstante, no se debe dejar de destacar los aportes de otros prominentes economistas, quienes en los años 50 reconocieron el valor del espacio en el análisis económico; y de otros que concretaron las técnicas relacionadas con el espacio geográfico en el análisis estadístico de la ciencia regional y que desde principios de los años 70 y sobre todo en los 80 desarrollaron un conjunto de métodos y herramientas para trabajar con datos georreferenciados y estimar modelos que incorporaron explícitamente la dimensión espacial, dando un punto de giro a la revalorización del territorio.

Paralelamente, desde mediados del siglo XX con la geografía cuantitativa, tras renovar el pensamiento geográfico, unificando primero la ciencia y la representación espacial con la ayuda de la matemática y de la geometría (Buzai, Cacace, Humacata y Lanzelotti, 2015), y sobre todo después de que el avance de los sistemas de información geográfica (SIG) fortalecieran esa alianza, se comenzaron a desarrollar metodológicamente los métodos estadísticos para datos espaciales, los cuales han devenido en una urgente área de investigación en las últimas décadas.

Este abordaje desde la economía, la geografía y posteriormente desde otras especialidades, ha propiciado que tales métodos, nombrados indistintamente como estadística espacial (EE), análisis exploratorio de datos espaciales (AEDE),² econometría espacial y también como análisis espacio-temporal, análisis estadístico-espacial, y a veces como análisis espacial, hayan logrado desde una dimensión espacial y temporal detectar y analizar cómo las observaciones se concentran, sugieren patrones de distribución, revelan cambios temporales o anomalías en la estructura de los datos y permiten hacer predicciones.

De este modo el abordaje del análisis estadístico, conjuntamente con la construcción del mapa, constituyen un punto de mira donde convergen de forma desigual especialistas de diversas ramas (economistas, geógrafos, matemáticos, planificadores físicos, demógrafos, geólogos, epidemiólogos, ecólogos, entre otros) quienes desde diferentes áreas de conocimiento requieren de su aplicación para sus investigaciones y toma de decisiones.

En esta diversidad de disciplinas se distinguen dos perspectivas: en una primera se realizan solamente análisis descriptivos y exploratorios (data-driven approach), y en una segunda se incorporan además los análisis confirmatorios y predictivos (model-driven approach), siempre con el espacio como elemento

² Ampliación del análisis exploratorio de datos (AED), caracterizado por el empleo de procedimientos analíticos gráficos o semigráficos de los datos, sin tener en cuenta su distribución geográfica.

central dentro del análisis exploratorio o econométrico respectivamente;³ de ahí que se distingan varias líneas de trabajo y también la preferencia de los investigadores.

El presente artículo pretende solamente comentar algunos caminos por donde transitar, desde algunos de los programas más populares que se pudieran estar utilizando en Cuba, para lograr aplicar los análisis descriptivos y exploratorios más adecuados a los datos espaciales y de esta forma contribuir a ampliar la difusión, conocimiento y utilización de estas herramientas tan útiles también en el campo de las ciencias sociales.

Desarrollo

Algunas precisiones necesarias

Confeccionar, por ejemplo, un listado en Microsoft Excel de todos los municipios del país, con el resultado de un cálculo estadístico cualquiera, no es suficiente para decir que se está trabajando con datos espaciales y mucho menos pretender descubrir patrones o tendencias espaciales. Existen similitudes de conceptos y de objetivos entre la estadística clásica y la espacial, sin embargo esta última ha sido desarrollada para ser utilizada solo con datos geográficos, los que tienen una clara posición absoluta sobre un sistema de coordenadas.

Estos datos geográficos o espaciales son datos georreferenciados, con características multidireccionales y multidimensionales; que además de los problemas de escala o de borde, o de los inconvenientes derivados de la agregación de datos en áreas, tienden también a provocar la aparición de efectos espaciales de autocorrelación (expresión de cálculo de la dependencia espacial) y de heterogeneidad (variación regional), no aceptados por la estadística clásica; apreciados en el análisis exploratorio, como una oportunidad para conocer sobre los procesos y relaciones que subyacen en las observaciones; e incorporados

³ De acuerdo a Anselin (1988), la distinción entre Estadística Espacial y Econometría Espacial no está bien definida, incluso algunos problemas metodológicos son considerados igualmente en ambas disciplinas.

explícitamente, previo tratamiento, en el análisis económico confirmatorio, para una mejor especificación, estimación y predicción en la modelación econométrica espacial.

En Garrocho-Rangel (2016), pueden ser revisados los problemas fundamentales observados en los análisis no espaciales cuando se manejan datos espaciales. Además, en el anexo aparecen diversos ejemplos de aplicaciones del análisis espacio-temporal en 23 áreas de conocimiento, que pueden contribuir a una mejor comprensión por parte del lector de las enormes posibilidades de estas técnicas.

La mayor parte de la literatura internacional especializada converge en que la EE agrupa técnicas y procedimientos que consideran la ubicación concreta y temporal que tiene la información en el espacio para explorar, describir, visualizar, analizar, modelar, predecir y extraer de ella conclusiones relevantes; es un término genérico que comprende un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos espaciales.

Visto desde el punto de vista del AEDE abarca tres grandes áreas (Cressie, 1993; Giraldo, 2005; Fortin y Dale, 2005; Gelfand, Diggle, Fuentes y Guttorp, 2010): la geoestadística, los datos de áreas (lattice) y los patrones espaciales de puntos; las cuales se clasifican básicamente en dependencia del objetivo de la investigación, del tratamiento discreto o continuo del espacio, de la naturaleza de las variables (aleatorias o no), también del carácter agregado o no de los datos, o de su distribución regular o irregular, entre otras. Cada área tiene propósitos bien definidos con desarrollos estadísticos particulares y cuentan en sus respectivas etapas de estudio con un conjunto apreciable de procedimientos analíticos.

Surgida para las ciencias medioambientales y de la tierra, para gestionar y predecir posibles distribuciones en el hallazgo de minerales en el subsuelo, la geoestadística ha sido utilizada para establecer estimaciones, predicciones o simulaciones sobre un espacio continuo, dadas las mediciones de localizaciones realizadas, regular o irregularmente espaciadas, las que son seleccionadas a

conveniencia del investigador. Su empleo ya abarca hoy, por ejemplo, el análisis de la distribución de niveles de lluvia caída en un periodo de tiempo, la concentración de contaminantes en la atmósfera, también la distribución espacial de enfermedades, la exposición de personas a ruidos, o la demanda de nutrientes bajo una agricultura de precisión.

Más utilizados para analizar fenómenos socioeconómicos, están los datos de áreas y los patrones espaciales de puntos. Los datos de área son ubicaciones no aleatorias discretas, con datos temáticos agregados en retículas regulares (grid) o en regiones irregulares (municipios, consejos populares, áreas de salud), seleccionadas a juicio del investigador para identificar, por ejemplo, cómo se distribuye un fenómeno en el territorio, identificar posibles patrones y cómo cada una de sus unidades espaciales tienen o no similitud de valores con las localizaciones vecinas. Algunos ejemplos de aplicaciones son la tasa de incidencia de COVID-19 por área de salud, la distribución de ingresos por provincia, la tasa de accidentalidad por consejos populares, las condiciones de vida por distritos censales, los problemas de obesidad por municipios.

Los patrones de distribución espacial de puntos responden a procesos subyacentes naturales o socioeconómicos, y están dirigidos a localizaciones discretas o continuas de ocurrencia de eventos aleatorios irregularmente espaciados pertenecientes a una población completa (y no a una muestra) y cuya selección no depende del investigador. Entre las aplicaciones se pueden citar la distribución de accidentes de tránsito, o del brote de dengue en una ciudad, la disposición de árboles en un bosque, la distribución de la biodiversidad vegetal en ecosistemas, la presencia de ilegalidades urbanísticas o de casos delictivos; con el propósito primario de investigar si tales procesos siguen un patrón de distribución aleatoria, uniforme o agregada.

La EE es también un tipo de análisis espacial, pero con relaciones espaciales implícitas y más relacionadas con la visualización y la exploración de los datos. Sin embargo, desde un punto de vista más formal otros autores prefieren mantener el término análisis espacial exclusivamente cuando las relaciones

espaciales estén de forma explícita almacenadas en la base de datos geográfica y se relacionen mayormente con la utilización de las operaciones básicas de los SIG, como consultas espaciales, operaciones de geoprocésamiento, creación de modelos digitales del terreno, etcétera.

Por su parte, Buzai y Baxendale (2006) conceptualiza el análisis espacial, desde el punto de vista temático y desde la tecnología de los SIG; en el primer caso lo asocia a diferentes técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al estudio de los datos distribuidos sobre el espacio geográfico, y en el segundo caso lo asocia al trabajo con las relaciones espaciales entre las capas temáticas de la base de datos geográfica.

Desde los paquetes estadísticos convencionales

Los paquetes estadísticos comerciales convencionales o clásicos como SPSS, Statistica o Statgraphics no fueron diseñados para trabajar con datos espaciales y aunque muchos especialistas los utilizan y después exportan los resultados hacia un SIG para su representación cartográfica (o viceversa) pueden ocasionar algunos problemas metodológicos, al no cumplir algunos de los supuestos que exige la estadística clásica y también por no tener en cuenta la componente espacial asociada.

La interpretación visual que realiza el investigador de esos mapas resultantes no permite ver más allá de una distribución del fenómeno objeto de estudio y de algunas nociones de posibles relaciones espaciales, sobre todo influenciadas por el conocimiento previo que pueda tener del territorio.

En los últimos años han surgido otros paquetes no comerciales como el R⁴ y el S-PLUS,⁵ ambos son softwares libres y multiplataforma, que cuentan con herramientas estadísticas para datos espaciales y pueden ser descargados sin costo alguno desde Internet. Está también STATA, que cuenta con herramientas similares, sin embargo, requiere licencia privativa para su uso.

⁴ <http://cran.r-project.org/>

⁵ www.insightful.com

S-PLUS es la versión comercial de R (y a su vez este es una versión del lenguaje S, desarrollado en los años 80); se dice que es el programa de estadística comercial con mejor soporte para la EE; y en cuanto a R, es un lenguaje de programación de código abierto dirigido al análisis gráfico y estadístico. Para ampliar su funcionalidad deben ser instalados paquetes adicionales, cuando se quiere por ejemplo implementar una función Kernel de densidad, u obtener un mapa temático resultante de un proceso estadístico.

Ambos tienen varios ficheros de intercambio, entre ellos de textos, de bases de datos, de hojas de cálculos y otros provenientes de programas estadísticos. Son muy utilizados en la biomedicina, en la investigación clínica y financiera, también en la investigación estadística y en las ciencias sociales.

No se puede dejar de mencionar el software Matlab, el cual, siendo eminentemente estadístico, permite la modelación con datos espaciales, el análisis de distribuciones de puntos y de la geoestadística; también incluye el procesamiento de imágenes y la generación de modelos desde imágenes satelitales, entre otras posibilidades (Trauth, 2007).

Desde los Sistemas de Información Geográfica

La habilidad de manejar datos espaciales de los SIG comerciales no siempre estuvo acompañada de las funcionalidades estadísticas; la mayoría de los SIG desde sus inicios, contaban sólo con funciones básicas de estadística descriptiva, aunque con posibilidades de ampliación a otras más avanzadas a través de rutinas personalizadas de programas (scripts) por ejemplo, desde Avenue o MapBasic⁶ dentro de un ambiente integrado para manipular datos espaciales convenientemente.

Uno de los pioneros en incorporar la EE desarrollada específicamente para los datos espaciales fue ArcView (ESRI, 1999), software que contó desde la década

⁶ Lenguajes de programación de ArcView y MapInfo respectivamente.

de los años 90 con programas como SpaceStat⁷ y DynESDA (Anselin, Syabri y Kho, 2006), básicamente para datos areales y con marcada orientación hacia el análisis econométrico espacial, los cuales en sus inicios se adicionaban como extensiones al sistema base (que ya contaba con funciones para la estadística descriptiva y posibilidades para algunas relaciones de vecindad) para facilitar la exploración y análisis de datos espaciales dentro de un entorno de SIG (Lee y Wong, 2001).

También está TerrSet, la versión más actual de la saga de Idrisi (Clark University, 2020), de base reticular para el procesamiento de imágenes, la modelación y monitoreo geoespacial, que incluye herramientas de estadística descriptiva y espacial; o una nueva generación de Ilwis, el 4 Alpha (52North, 2007), también para SIG y teledetección, que cuenta con herramientas clásicas de estadística convencional, espacial y espacio-temporal. Ambos disponen de ambientes de código abierto para ampliar funcionalidades.

El software propietario ArcGis Desktop (ESRI, 1999), específicamente su aplicación central ArcMap, cuenta en la actualidad con un módulo de EE, integrado completamente a su sistema base para el análisis de puntos, líneas y regiones. Cuenta con diversas herramientas para analizar distribuciones, patrones, procesos, datos espacio-temporales y modelar relaciones espaciales. También dispone de un módulo de análisis geoestadístico y cuenta con la capacidad de realizar excelentes representaciones cartográficas. Dispone de un lenguaje de programación de código abierto para la escritura de scripts.

Además está QGIS (OSGeo Project, 2016), el cual dentro de su caja de herramientas de procesado, específicamente en el módulo raster SAGA, combina algunas herramientas de análisis espacial, con otras de análisis exploratorio de las tres grandes áreas dentro de la EE y otras técnicas estadísticas dentro del campo inferencial que constituyen la base de los modelos predictivos, como la regresión ponderada geográficamente y adicionalmente, dada su condición de

⁷ Como programa independiente y bajo licencia en <https://spacestat.software.informer.com/download/>

no propietario, tiene la posibilidad de ampliar sus prestaciones a través de la incorporación de complementos desde repositorios disponibles al efecto.

Desde programas independientes o autónomos

En los últimos años han surgido programas conocidos como *stand-alone* que, sin ser estándares en estadística, ni en SIG, constituyen sólidas alternativas para el análisis espacial y espacio-temporal; cuentan con una excelente variedad de herramientas donde se combinan técnicas para el análisis descriptivo, la visualización y la modelación de datos espaciales y aunque pueden admitir el trabajo con mapas, es necesario al final trabajar desde un SIG para una correcta edición cartográfica.

Entre estos programas independientes o autónomos están GeoDa⁸ (el cual reemplazó a los antiguos SpaceStat y DynESDA), CrimeStat⁹ y SatScan,¹⁰ los tres de libre acceso en Internet. El primero para análisis principalmente de datos areales y también para representaciones puntuales (de centroides de polígonos); el segundo, esencialmente para patrones de puntos (eventos), aunque también admite datos de áreas sólo a través de sus centroides; y el tercero, básicamente para identificar conglomerados desde puntos de eventos y centroides de polígonos. Los tres posibilitan análisis de tipo descriptivo, exploratorio y predictivo y sólo el primero produce mapas.

GeoDa (figura 1) es un software de código abierto, desarrollado por Luc Anselin¹¹ y colaboradores en la década de los años 90. Permite el análisis univariado, bivariado y multivariado. Es una herramienta muy amigable, que al decir de Anselin (2017) facilita la exploración y el análisis de datos espaciales como una progresión que va desde una simple descripción y visualización hasta una

⁸ <http://geodacenter.asu.edu/software/downloads>

⁹ <https://nij.ojp.gov/>

¹⁰ <https://www.satscan.org/>

¹¹ Dr. Luc Anselin, economista de origen belga, uno de los principales desarrolladores del campo de la econometría espacial.

NOVEDADES EN POBLACIÓN

<http://www.novpob.uh.cu>

exploración estructurada (más descriptiva) y una modelación formal (más inferencial). Tiene una buena documentación independiente en formato HTML. Es multiplataforma y compatible con una amplia lista de formatos de ficheros provenientes de ArcGis (SHP, GDB) y MapInfo (TAB, MIF/MID), XML, entre otras; conexión con bases de datos PostgreSQL/PostGis, Oracle, ESRI ArcSDE y MySQL y también permite el servicio de mapas WFS.

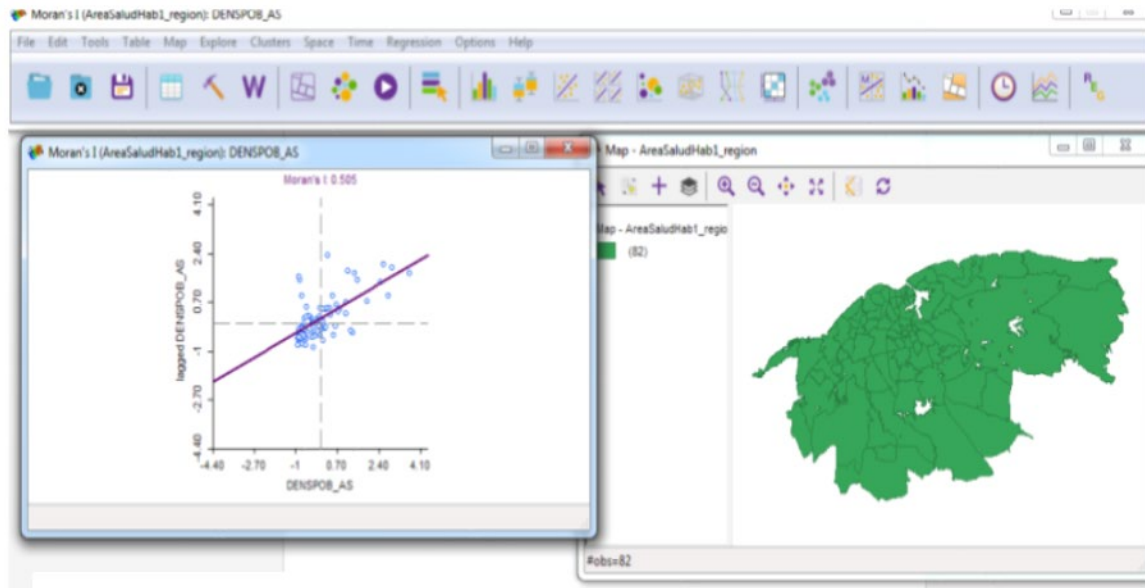


Figura 1. Vista del software GeoDa, versión 11.14.024, del año 2019

Fuente: Imagen propia

En GeoDa los mapas resultantes tienen buena representación y pueden ser posteriormente exportados a un SIG para una edición cartográfica adecuada. CrimeStat, de finales de los años 90, desarrollado por Ned Levine¹² y colaboradores, es un programa portable, solo para entorno de Windows, que cuenta con un amplio rango de funciones de EE, está diseñado para proporcionar resúmenes estadísticos de análisis tácticos, estratégicos y operacionales, así como de modelos de datos para pronósticos espaciales de incidentes de delitos, accidentes de tránsito, servicios de emergencia (Levine, 2013), también para

¹² Dr. Ned Levine, investigador y planificador urbano norteamericano.

análisis geográficos, epidemiológicos, botánicos o geológicos. Las rutinas de modelación espacial son mucho más amplias que en GeoDa.

En CrimeStat (figura 2), se obtienen salidas tabulares en formato de base de datos DBF y los resultados gráficos de las diferentes rutinas de análisis están contenidos en ficheros independientes (en formatos SHP, BNA, o MIF) los que sólo pueden ser visualizados dentro de los SIG correspondientes.

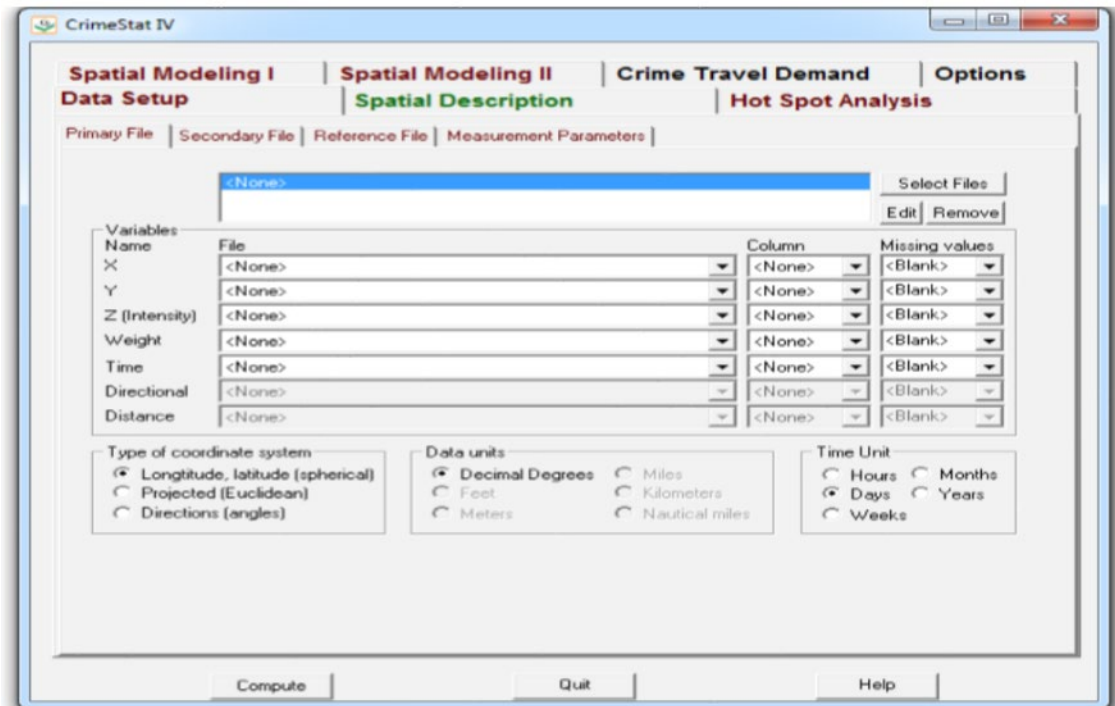


Figura 2. Vista del software CrimeStat, versión 4.02, del año 2015

Fuente: Imagen propia

Es un programa compatible con bases de datos (DBF) y admite los formatos ASCII y SHP; cuenta con una amplísima documentación independiente en formato PDF.

En el caso de SatScan (figura 3), surgido a finales de los años 90 y desarrollado por Martin Kulldorff¹³ y colaboradores, es un programa multiplataforma estadístico de exploración retrospectiva y prospectiva; basado en diferentes

¹³ Dr. Martin Kulldorff, bioestadístico de origen sueco, experto en enfermedades infecciosas.

modelos de probabilidad para la detección de conglomerados puramente espaciales, puramente temporales, estacionales, espacio-temporales y/o con variación espacial en el análisis de tendencias temporales (Kulldorff, 2018); está enfocado esencialmente a la vigilancia de potenciales epidemias.

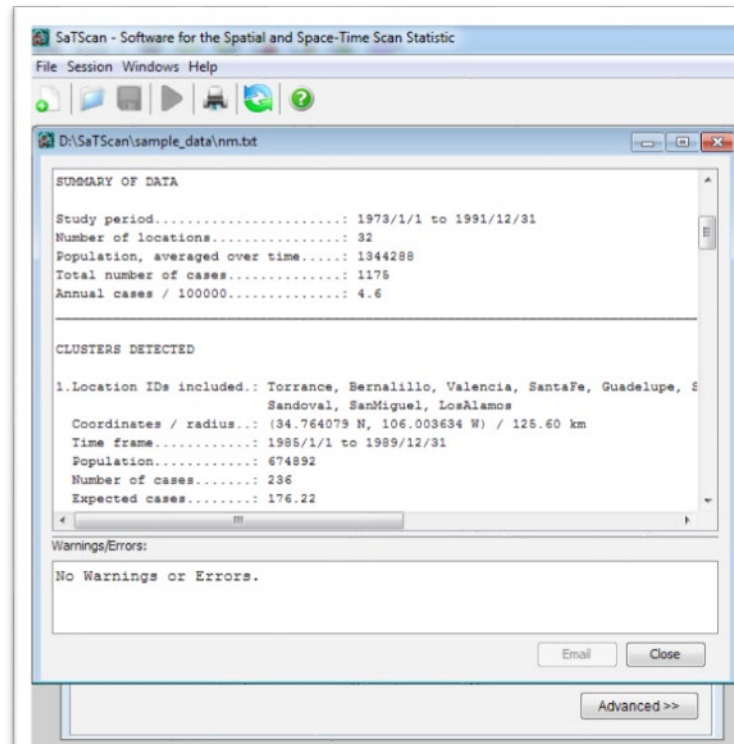


Figura 3. Vista del software SatScan, versión 9.6.1, del año 2020

Fuente: Imagen propia

Cuenta con una ayuda en línea y una guía de usuarios incorporada al programa base. Es utilizado en Cuba en aplicaciones de ciencias de la salud, sobre todo en el campo de la bioestadística. Su empleo es extensible a otras disciplinas, como la geografía, la demografía, el planeamiento urbano y rural, la economía, arqueología, botánica, criminología, ecología, o la zoología, entre otras.

Los formatos de entrada son diversos, entre ellos SHP, XLS, XLSX, DBF; las salidas geográficas son en SHP, HTML o KML; las de texto en TXT y las tablas en formato ASCII o DBF.

No se pueden dejar de mencionar otros programas que se destacaron en la década de los años 90, los cuales fueron diseñados y desarrollados dentro del ámbito de la llamada geografía médica, en plataformas independientes para potenciar las capacidades de análisis, gestión, monitoreo y toma de decisiones en Salud Pública.

Sin ser verdaderos SIG, ni tampoco programas estadísticos comerciales, pero con posibilidades de combinar mapas y estadísticas de salud; se pueden citar a EpiInfo/EpiMap, los cuales proveían funciones de estadística descriptiva (aunque limitado dentro de la estadística multivariada) para análisis epidemiológico y también para cartografiar los resultados y SigEpi, el cual incluía muchas funciones de SIG y posibilidades de aplicar técnicas descriptivas y exploratorias de datos espaciales en epidemiología y salud.

Consideraciones finales

Ya sea desde programas independientes, o integrado a un SIG, donde se combinen las posibilidades de visualización gráfica y cartográfica con el análisis estadístico-espacial, es sin dudas hasta el momento la mejor alternativa para los abordajes espaciales y espacio-temporales en las ciencias sociales.

Sobre todo, porque es creciente el desarrollo de nuevas herramientas en el campo de la EE que no se implementan en los SIG, (o presentan un desfase en el tiempo en las actualizaciones) y además porque definitivamente es imposible que con un único programa se pueda satisfacer exhaustivamente todas las áreas del conocimiento.

Es necesario que se comprenda la importancia de realizar análisis estadísticos adecuados a los datos geográficos dentro de las ciencias sociales y no ver al territorio como un simple sostén de un grupo de indicadores que lo caracterizan, y que por el simple hecho de contar con nombres o códigos que los identifiquen, por ejemplo, como asentamientos o municipios, puedan ser considerados espaciales.

También tener en cuenta la vecindad, la distancia, la aleatoriedad, la concentración o la dispersión, la interacción espacial, o la dinámica del tiempo, entre otros conceptos, para comenzar a reducir la brecha entre la conceptualización del espacio-tiempo y su medición en las ciencias sociales.

Como apunta Garrocho-Rangel (2016), “muchos de los enfoques tradicionales *no-espaciales* (y *no-temporales*) están siendo seriamente cuestionados por su incapacidad para integrar [...] el *espacio* y el *tiempo* (la localización absoluta y relativa de las variables que se analizan, así como el momento en que ocurren).”

A pesar de que desde hace muchos años se conocen estas técnicas alternativas para trabajar con datos espaciales, amén de la extensa bibliografía en línea que existe, no abundan las publicaciones nacionales que den fe de su aplicación en las ciencias sociales, probablemente debido a una falta de destreza en la manipulación de determinados programas, o tal vez porque la estadística no es una disciplina de dominio popular; quizás sucede igual con las técnicas espacio-temporales; o ciertamente porque todas estas técnicas suponen un desafío investigativo que puede llegar a tornarse muy complejo.

Cualquiera de las causales apunta primero a la necesidad de despertar el interés de los investigadores desde diferentes campos del conocimiento; también fortalecer el aprendizaje con enfoques que convergerían en el intercambio y en la integración interdisciplinar, fomentando inclusive la multiplicidad de habilidades a nivel de investigaciones compartidas, o quizás de algún postgrado diseñado al efecto, para potenciar especialistas con habilidades en estas técnicas estadístico-espaciales dentro del campo de las ciencias sociales.

Referencias bibliográficas

1. ANSELIN L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publisher.
2. _____ (2017). *The GeoDa Book. Exploring Spatial Data*. GeoDa Press LLC. <http://www.csiss.org/>

3. ANSELIN, L., SYABRI, I., Y KHO, Y. (2006). Geoda: An introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38, 5-22. The Ohio State University. <http://www.csiss.org/>
4. AROCA, P. (2001). Econometría Espacial: Una herramienta para el análisis de la economía regional. Proyecto IDEAR, Antofagasta. V Encuentro de la Red de Economía Social, Panamá, 5-7 septiembre, 2000. <https://www.researchgate.net/>
5. BUZAI, G. Y BAXENDALE, C. (2006). *Análisis socio espacial con sistemas de información geográfica*. Editorial LUGAR. Buenos Aires.
6. BUZAI, G., CACACE, G., HUMACATA, L., LANZELOTTI, S., y otros. (Comps.) (2015). *Teoría y Métodos de la Geografía Cuantitativa*. MCA libros. <http://www.gesig.proeg.com.ar>
7. 52NORTH (2007). Ilwis 4 Alpha. <https://github.com/52North/IlwisObjects>
8. CLARK UNIVERSITY (2020). TerrSet version 19.0.4. <https://clarklabs.org/>
9. CRESSIE, N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. Iowa State University. USA: Wiley & Sons, INC.
10. ESRI (1999). ArcView 3.2
11. ESRI (2015). ArcGis 10.4
12. FORTIN, M-J. Y DALE, M. (2005). *Spatial Analysis. A Guide for Ecologist*. Cambridge University Press. Reino Unido.
13. GARROCHO-RANGEL, C. (2016). Ciencias Sociales espacialmente integradas: la tendencia de Economía, Sociedad y Territorio. *Economía, sociedad y territorio*, 16(50).
14. GELFAND, A., DIGGLE, P., FUENTES, M., Y GUTTORP, P. (eds.). (2010). *Handbook of Spatial Statistics*. Chapman & Hall/CRC. USA.
15. GIRALDO, R. (2005). *Introducción a la Geoestadística. Teoría y Aplicación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. [Versión digital]
16. KULLDORFF, M. (2018). SaTScan. User's Guide for version 9.6
17. LEE, J. Y WONG, D. (2001). *Statistical Analysis with ArcView Gis*. Wiley & Sons, INC.

18. LEVINE, N. (2013). Introduction to CrimeStat IV, Chapter 1. Ned Levine & Associates. Houston. Texas and the National Institute of Justice, Washington, D.C.
19. TRAUTH, M. (2007). *MATLAB Recipes for Earth Sciences*. Springer. Berlín.
20. OSGEO PROJECT (2016). QGIS Essen 2.14