

Indicadores de ganadería: exploración de una herramienta de análisis espacio temporal

Linda Adam¹
Pablo Piperno²
José Bervejillo³

Este estudio introduce el uso de una herramienta, novedosa para el agro, que permite analizar datos de una forma no convencional. Se comparan trayectorias de determinados indicadores de la producción ganadera utilizando los datos de las Declaraciones Juradas de DICOSE/SNIG, a través de un período de 10 años o más y comparando unidades geográficas de igual superficie. Se generan mapas de calor en donde cada unidad ilustra una trayectoria particular donde inciden tanto las unidades contiguas como las variaciones en sub-períodos de tiempo móvil. El resultado muestra que la herramienta puede ser empleada para monitorear indicadores de distinto tipo y que además permite visualizar trayectorias que son difíciles de identificar de otra manera⁴.

1. Análisis de datos en el espacio y en el tiempo

El análisis de datos espacio-temporales puede revelar tendencias interesantes que no son evidentes cuando se utilizan series de tiempo o datos espaciales estáticos por separado. La minería de patrones de espacio-tiempo permite la detección de puntos calientes o fríos dentro de una región de estudio, como indicadores de cambios sostenidos crecientes o decrecientes, cambios de tendencias, variaciones cíclicas o ausencia de patrones sostenidos.

El objetivo de este estudio es introducir una herramienta que aporta una nueva mirada sobre indicadores del sector ganadero, utilizando como base de datos las Declaraciones Juradas de existencias ganaderas. Se trata de detectar patrones espacio-temporales y

¹ Título profesional, Técnico de SNIG, linda.adam@snig.gub.uy

² Título profesional, pablo.piperno@snig.gub.uy

³ Técnico de OPYPA, jbervejillo@mgap.gub.uy

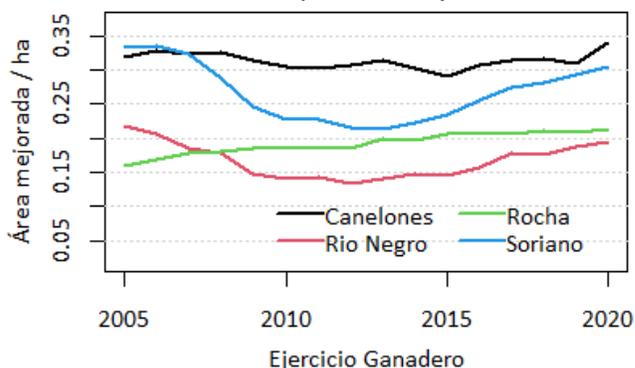
⁴ Agradecemos a Eduardo Vásquez de ICA por su colaboración técnica en el uso del software y las herramientas de ArcGIS PRO; y a Mauricio Giacossa por su contribución en la elaboración de la versión web de este estudio.

visualizarlos, y evaluar si existe información adicional que pueda ser utilizada en la construcción de política.

En general, la exploración de los datos de Declaraciones Juradas se ha realizado tanto a nivel de seccionales policiales como de áreas administrativas o geográficas más grandes, como departamentos o regiones. Por su parte, el Sistema Nacional de Información Ganadera (SNIG) ha desarrollado un trabajo de georreferenciación de tenedores de ganado y hoy se cuenta con una ubicación para cada uno de los establecimientos con ganado (DICOSE) del país. Esto permite una agregación de puntos en el espacio que está libre de las restricciones impuestas por los límites de las áreas administrativas, a cualquier escala deseada, y permite un detalle espacial mucho mayor.

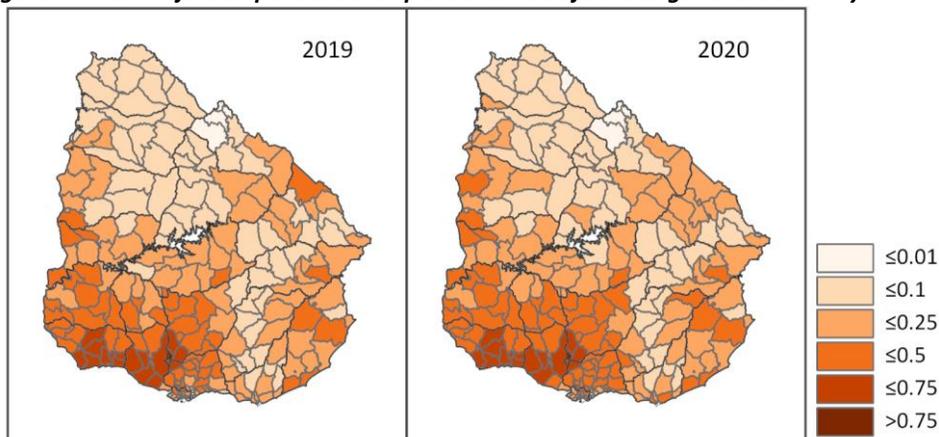
Para ver cambios en una variable en el tiempo, se recurre normalmente a gráficas de series de tiempo de lugares o regiones determinadas. Como ejemplo se selecciona un indicador de la declaración jurada para mostrar: el área mejorada, que es la superficie con implantación praderas, mejoramientos extensivos y cultivos forrajeros de invierno. En la Gráfica 1 se muestra la relación área mejorada sobre área total por departamento entre 2005 y 2020.

Gráfica 1. Área mejorada en 4 departamentos seleccionados (2005 a 2020)



Fuente: Elaboración propia con datos de DICOSE/SNIG

También es posible construir mapas de un fenómeno visualizando un estado de la variable en un momento determinado o la variación espacial de un año al otro. Por ejemplo, la Figura 1 muestra dos mapas con datos de área mejorada por seccional policial, comparando dos años consecutivos. Los grises más oscuros indican más área mejorada. Con estos mapas es posible observar cambios de un año a otro comparándolos entre sí, pero no es posible ver trayectorias de más largo plazo.

Figura 1. Área mejorada por seccional policial en los ejercicios ganaderos 2019 y 2020

Fuente: Elaboración propia con datos de DICOSE/SNIG

En base a análisis de series de tiempo y visualizaciones espaciales es posible analizar cambios en el tiempo para unidades de observación determinadas (un departamento, una sección policial), no obstante, se vuelve bastante engorroso analizar muchas unidades simultáneamente y poder identificar comportamientos diferentes entre unidades a través del tiempo. Es posible identificar tendencias y tasas de crecimiento, pero es más difícil identificar diferentes trayectorias de crecimiento y hacerlas comparables entre sí. Por ejemplo: en la Gráfica 1 el área mejorada en los departamentos de Rio Negro y Rocha son casi igual al final de la serie de tiempo, pero históricamente eran muy diferentes, porque tienen trayectorias diferentes, mientras que los departamentos Soriano y Rio Negro muestran una trayectoria parecida a través del tiempo, pero están en diferentes niveles (Rio Negro tiene menos porcentaje de área mejorada).

La visualización en las figuras anteriores es o espacial o temporal, pero no combinada, lo que puede limitar la comprensión e interpretación de ciertos fenómenos cambiantes. Por ejemplo, dificulta responder las siguientes preguntas: qué tan diferentes son las trayectorias de las diferentes unidades de análisis; si se notan cambios, ¿esos cambios son significativos?; ¿las variaciones en el tiempo son homogéneas para toda la seccional policial o departamento?; ¿cómo varía el fenómeno en los últimos 10 años y en qué intensidad?; ¿las regiones sin variaciones siempre se mantuvieron constantes?

2. Metodología

La herramienta de análisis de puntos calientes emergentes disponible en el ambiente de ArcGIS Pro 2.3 –un sistema de información geográfica de Esri Inc.– permite detectar

patrones significativos en el espacio en una serie de tiempo, visualizando su resultado en un único mapa.

Ante todo, el mapa del territorio se subdivide en celdas poligonales de forma regular, para generar una geografía normalizada y facilitar el mapeo y los cálculos espaciales. Para nuestro trabajo las celdas hexagonales son preferibles frente a las cuadradas, por las relaciones de vecindad simétricas y la mejor visualización (Birch 2007). La extensión de las celdas hexagonales está definida por el analista (ver abajo). Cada celda contiene un número variable de explotaciones que están referenciadas geográficamente a partir del centroide de los padrones que componen la explotación (Figura 2).

Figura 2: Visualización de subdivisión del territorio en hexágonos y la localización de centroides de los establecimientos



Fuente: elaboración propia

Agregando los centroides correspondientes, se calcula un valor por celda (por ejemplo, la suma de hectáreas de mejoramientos), para cada unidad de tiempo⁵. De esta forma, se crea una especie de “volumen” espacio-temporal de base hexagonal.

Con base a ese volumen de hexágonos se realiza el análisis de puntos calientes o fríos emergentes. La herramienta ejecuta en primer lugar un análisis de puntos calientes/fríos, calculando la estadística Getis-Ord G_i^* (Getis & Ord 1992; Ord & Getis 1995) para cada celda del volumen espacio-temporal. La unidad de análisis está conformada por el hexágono mismo y los hexágonos contiguos, tanto en espacio como en tiempo (distancia vecindario y tiempo vecindario). Un punto (celda) es considerado caliente o frío estadísticamente significativo si está ligado a un conglomerado de “vecinos” que tienen un comportamiento similar. El valor de la variable de interés de cada unidad de análisis se compara con el valor de todas las celdas del volumen y se determina si la diferencia es puramente aleatoria o

⁵ A los hexágonos sin centroide se asocia un valor cero de la variable en estudio.

estadísticamente significativa. Un valor alto o bajo de una celda aislada no es suficiente para que se identifique un punto caliente o frío. En segundo lugar, las tendencias de puntos calientes y fríos detectadas se evalúan con la prueba de Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1955) para determinar si las tendencias espaciales muestran tendencias temporales – si son persistentes, crecientes o decrecientes con el tiempo.

El resultado final es un mapa con 17 categorías o trayectorias diferentes, que describen la importancia estadística de los puntos calientes o fríos y la tendencia de la ubicación a lo largo del tiempo (ver descripción completa de las categorías en la referencia de la herramienta; ESRI 2020).

La Figura 3 muestra un esquema del análisis desde los datos de entrada (las explotaciones de declaración jurada para los DICOSE georreferenciadas) hasta el resultado, el mapa de patrones espacio-tiempo. En la Figura 3 se muestran celdas de base cuadrada solo a efectos de una visualización más sencilla. En el análisis de los indicadores se utilizaron celdas de base hexagonal. La superficie del hexágono base, así como los parámetros de distancia vecindario y tiempo vecindario, se definen por el analista. Los casos que se muestran en este artículo están hechos utilizando hexágonos de 87 km², una distancia vecindario de 20 km de radio (2 anillos de celdas vecinas; linderas y tras linderas) y un tiempo vecindario de dos ejercicios ganaderos.

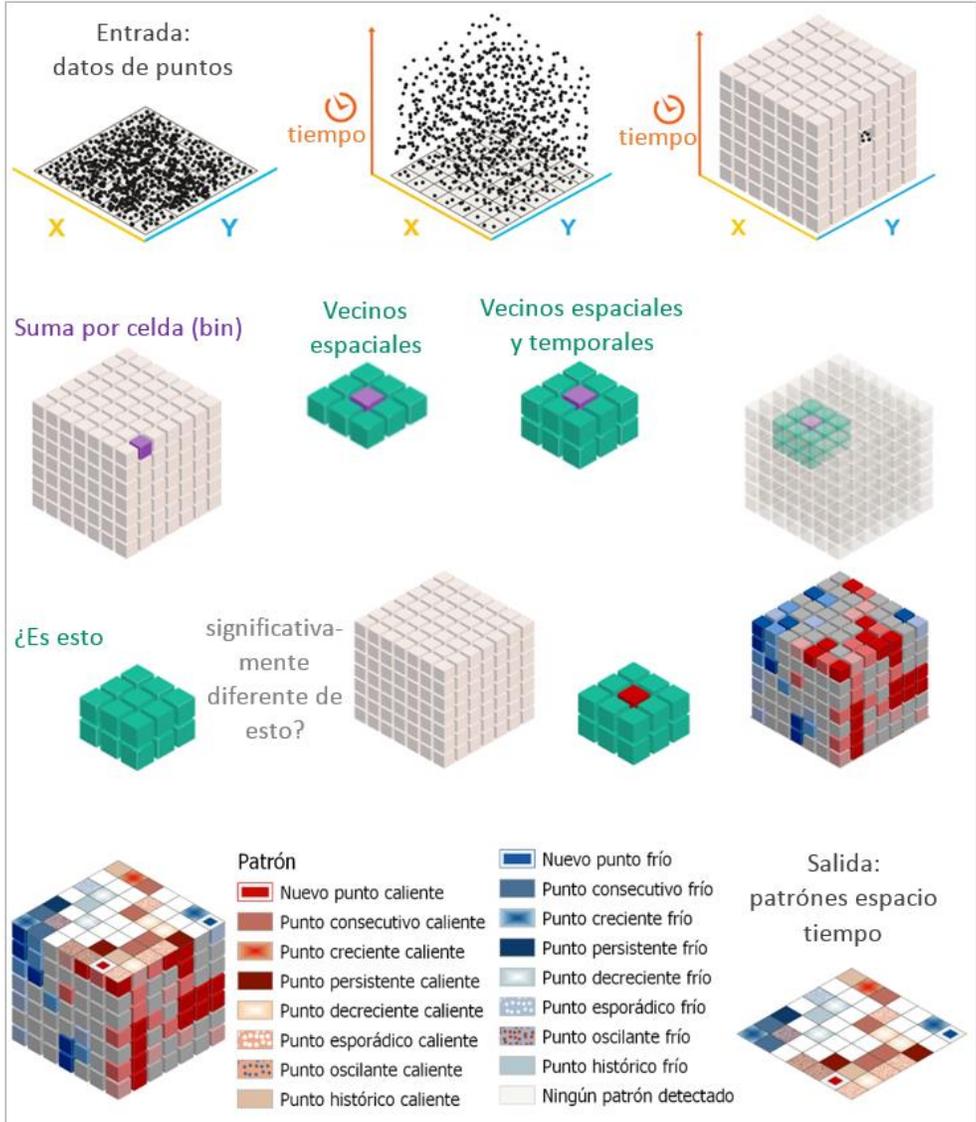
La definición de los parámetros adecuados requirió un amplio análisis previo a este estudio, evaluando y analizando los efectos de cambiar parámetros (tamaño y forma de área de agregación, distancia espacial y temporal) en los resultados. A continuación se presentan algunos aspectos, más detalle se encuentra en la versión web de este mismo artículo⁶.

Para definir el tamaño adecuado de los hexágonos se evaluó la cantidad de hexágonos con valores vacíos (sin centroides) y la cantidad mediana de centroides por hexágono para todo Uruguay. Si el tamaño es muy pequeño va a resultar que muchos hexágonos estén vacíos y eso dificulta encontrar patrones calientes y fríos. Por otro lado, un área de agregación muy grande oscurece patrones complejos en el paisaje. Con una superficie de 87 km² el porcentaje de hexágonos vacíos es bajo (3%) y se asume que el valor calculado por celda es robusto teniendo 10 o más establecimientos en 50% de las celdas del territorio de Uruguay.

6

<https://web.snig.gub.uy/arcgisprtal/apps/Cascade/index.html?appid=30732bed41d341a2ad4e06923e65dbcb>

Figura 3: Esquema de la metodología del análisis de puntos calientes emergentes de Esri



Fuente: adaptado de Vale (2018).

La distancia vecindario y tiempo vecindario se definen de modo que todavía se puede asumir una cierta homogeneidad en la unidad del análisis. Los 20 km de distancia vecindario representan un área circundante equilibrada, siendo un área mayor que el promedio de superficie de los establecimientos y menor al promedio de superficie de las seccionales

policiales. Los dos ejercicios ganaderos de tiempo vecindario (un tiempo más que el valor por defecto de la herramienta) cumplen con el propósito de detectar tendencias en el tiempo más duraderos y menos esporádicos, que pudieran estar afectados por condiciones climáticas particulares.

De las 17 categorías de patrones que devuelve la herramienta de análisis, este estudio se enfoca en solo nueve – 4 categorías de patrones calientes, 4 fríos, y una categoría para hexágonos no clasificados en los anteriores (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Patrones de comportamiento de unidades de análisis

Nombre del patrón	Definición
	<p>Ningún patrón</p> <p>No se incluye en ninguno de los patrones de puntos calientes o fríos definidos abajo.</p>
	<p>Punto creciente</p> <p>Punto caliente (frío) significativo desde el punto de vista estadístico para el 90% de los intervalos de tiempo considerados. Además, la intensidad de los recuentos altos (bajos) en cada período de tiempo está aumentando y este aumento es significativo desde el punto de vista estadístico.</p>
	<p>Punto persistente</p> <p>Punto caliente (frío) significativo desde el punto de vista estadístico para el 90% de los intervalos de tiempo, sin ninguna tendencia discernible que indique aumento o disminución en intensidad en el tiempo.</p>
	<p>Punto decreciente</p> <p>Punto caliente (frío) significativo desde el punto de vista estadístico para el 90% de los intervalos de tiempo. Además, la intensidad de los recuentos altos (bajos) de cada período de tiempo está disminuyendo y esta disminución es significativa desde el punto de vista estadístico.</p>
	<p>Punto oscilante</p> <p>Punto caliente (frío) significativo desde el punto de vista estadístico para el intervalo de tiempo final, con un historial de haber sido también un punto frío (caliente) significativo desde el punto de vista estadístico durante un período de tiempo anterior. Menos del 90% de los intervalos de tiempo han sido puntos calientes (fríos) significativos desde el punto de vista estadístico.</p>

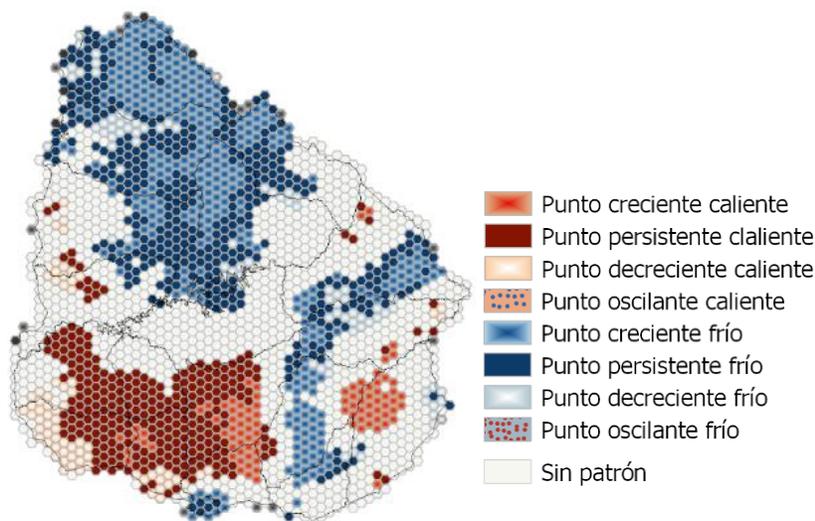
Los patrones persistentes, crecientes y decrecientes son puntos estadísticamente significativos para por lo menos 90% del periodo de tiempo, incluido el final, que se distinguen entre ellos por la tendencia en la intensidad del agrupamiento en el tiempo: sin tendencia, aumento, o disminución. El patrón oscilante son puntos estadísticamente significativos para el periodo del tiempo final, que tienen un historial de haber sido punto de signo contrario durante un periodo de tiempo anterior; esto es, si es un punto caliente

en el último periodo del tiempo, estuvo significativamente frío en algún momento más atrás en la historia y viceversa.

3. Resultados

En el presente trabajo se realizó el análisis de puntos calientes emergentes de un indicador seleccionado de los datos de la exploración de Declaraciones Juradas: el área de mejoramientos, lo cual incluye praderas sembradas, mejoramientos extensivos y cultivos forrajeros de invierno. El indicador está definido como la fracción de la celda ocupada por mejoramientos, sumando el área mejorada de todos los establecimientos que están comprendidos en cada celda. Los resultados se muestran en un mapa de puntos calientes y puntos fríos (Figura 4).

Figura 4. Comportamiento de la variable mejoramientos entre 2005 y 2020



En el mapa se observa una región importante de puntos calientes persistentes el suroeste y centro del país, muchos puntos crecientes al este de Florida, pero también decrecientes en Colonia. También se observa una zona creciente en torno al límite de Lavalleja con Rocha. Se destaca una zona amplia de puntos fríos persistentes y crecientes en el basalto, en las zonas con mayor forestación de Rivera y Tacuarembó y en las sierras del este. Pero también se observa una zona al norte de Salto, y en algunos puntos en Artigas, en donde la tendencia del punto frío es decreciente, lo que quiere decir que allí ha habido una reducción de la brecha existente con la media nacional de superficie mejorada. Prácticamente no hay puntos oscilantes (un solo punto oscilante caliente al suroeste de Tacuarembó); las zonas con patrones frías siempre tuvieron valores significativamente inferiores comparando con

el resto del país y las zonas calientes siempre registraron valores significativamente superiores a los valores del resto del país. A nivel de país, la mayoría de los puntos son persistentes, lo que indica que el total de superficie mejorada no ha cambiado significativamente con el tiempo.

Algunos puntos fríos que se observan contra las fronteras pueden ser resultado de la conformación de celdas que tienen la mayor parte de su área fuera del territorio nacional. En estos casos el valor absoluto de la variable se define por la existencia de eventualmente un único predio, estando el resto de la celda “vacío”. Para evitar este problema en futuros estudios se puede excluir a las celdas que caen sobre la frontera. De esta forma, si bien se pierden algunas observaciones, no se da pie a una mala interpretación del resultado.

Estos resultados y otros anteriores que se hayan obtenido con datos de seccionales policiales o departamentos deben ser comparados con cautela. Primero, porque los hexágonos utilizados como unidad de análisis de este estudio son mucho más reducidos en superficie que una seccional policial y, segundo, porque el criterio de evaluación caliente/frío toma en cuenta el comportamiento de celdas vecinas. A los efectos de validar la herramienta se hicieron varias comparaciones y se encontró consistencia. Algunas “aparentes” contradicciones se explican por el hecho de que en una misma seccional policial coinciden celdas hexagonales de muy diferente comportamiento, por lo tanto, el promedio de una seccional policial puede en realidad esconder una variación grande entre celdas.

4. Comentarios finales

Este estudio introdujo una nueva herramienta de análisis de datos de carácter espacio-temporal que tiene la virtud de poder mostrar gráficamente y de forma sintética, las tendencias de patrones espaciales de una variable de interés a través del tiempo. Se trata de una herramienta descriptiva que puede contribuir a identificar puntos en donde sea necesario indagar más para poder comprender las causas de cierto fenómeno.

Se mostró el beneficio de esta herramienta frente a análisis convencionales que normalmente son o espacial o temporal, pero no combinadas, y generalmente son limitadas a una escala menor de límites administrativas o regiones geográficas grandes.

Para este artículo se tomó como ejemplo la superficie mejorada, pero es posible imaginar otras múltiples variables que pueden ser objeto de análisis. Por ejemplo, la evolución de la extracción de ganado (envíos a faena o a exportación en pie), los movimientos de determinadas categorías, o las tendencias espacio-temporales en cantidad de productores, ya sea la totalidad de ellos o de algún tipo en particular, como productores familiares o de giro forestal o giro lechero, por mencionar algunos.

Además, es posible realizar otros análisis con los resultados de la herramienta, como por ejemplo la correlación de los patrones espacio-temporales de diferentes variables. Una posibilidad sería la elaboración de informes periódicos (fin de cada estación) que comparen las tendencias espacio-temporales de las unidades ganaderas a lo largo de las últimas doce semanas con el indicador de carga segura (suelo y disponibilidad de alimento según región y estación).

5. Bibliografía

Birch, Colin P.D.; Oom, Sander P.; Beecham, Jonathan A. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, Volume 206, Issues 3–4, 2007.

Esri Inc. (2019). ArcGIS Pro (Version 2.3). Esri Inc. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/>.

Esri (2020). ArcGIS Pro. Caja de herramientas Minería de patrones en espacio-tiempo. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/space-time-pattern-mining/an-overview-of-the-space-time-pattern-mining-toolbox.htm>. 24/10/2020.

Getis, A. and Ord, J.K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24(3).

Kendall, M. G., Gibbons, J. D. (1990). Rank correlation methods. Charles Griffin Book Series (5th ed.). Oxford: Oxford University Press.

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, Vol. 13, 245–259.

Ord, J.K. and Getis, A. (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis* 27(4).

Vale, Flora (2018). Spatial Data Mining II: A Deep Dive Into Space-Time Analysis. Esri Federal GIS Conference 2018, Washington DC.