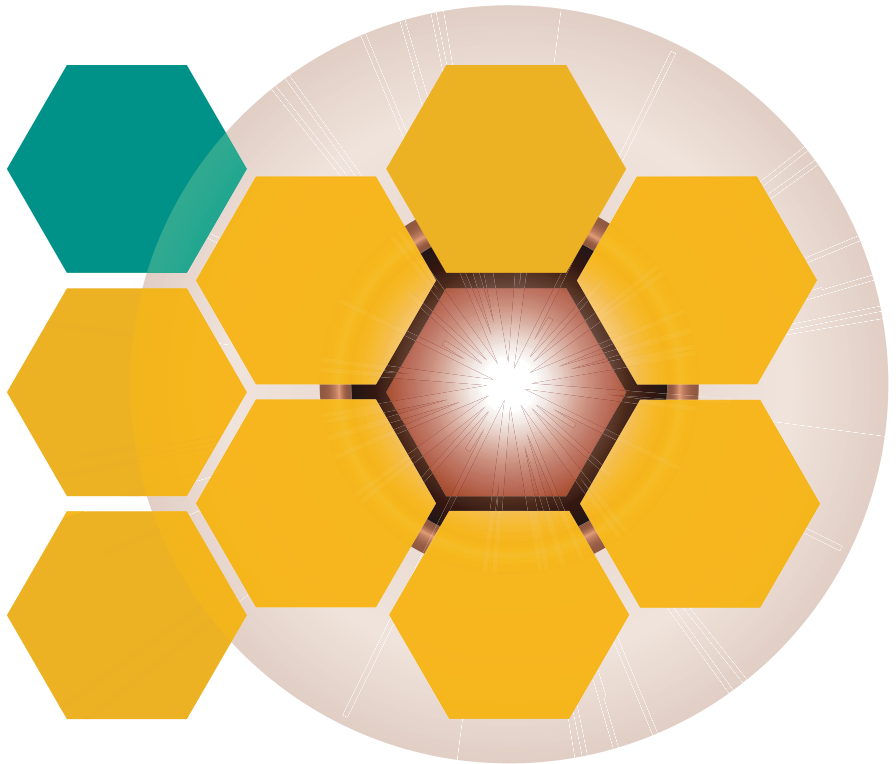


Gustavo D. Buzai - Eloy Montes Galbán

Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica

(Versión 1.1)



Colección Espacialidades 9



Instituto de Investigaciones Geográficas
Universidad Nacional de Luján
INIGEO

GUSTAVO D. BUZAI - ELOY MONTES GALBÁN

**ESTADÍSTICA ESPACIAL:
FUNDAMENTOS Y APLICACIÓN
CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA**

Buenos Aires - Argentina
2021

Buzai, Gustavo D.; Montes Galbán, Eloy
Estadística Espacial : Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información
Geográfica / Gustavo D. Buzai ; Eloy Montes Galbán. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de
Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires Editorial, 2021.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-48369-3-9

I. Geoestadística. I. Montes Galbán, Eloy; Buzai Gustavo D. II. Título.
CDD 526.0285

Fecha de catalogación: 2021

Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO)
Universidad Nacional de Luján
inigeo@unlu.edu.ar

INIGEO Luján:

Ruta Nacional N° 5 y Av. Constitución, (6700) Luján, Argentina.
Tel: +54-2323-423979 / 423171 / 420156 / 423677

INIGEO Buenos Aires:

Ecuador 871, (1214) Buenos Aires, Argentina.
Tel: +54-11-49627026 / 49627045

Edición y diagramación: Bruno Vitetta
Ilustración de los autores: Ricardo E. Baxendale

Hecho el depósito que marca la ley 11.723
Licencia Creative Commons

Primera Edición
Editado en Argentina

© INIGEO, 2021.



Esta obra se encuentra bajo licencia Creative Commons.

Reconocimiento-NoComercial 4.0. Internacional. Reconocimiento – Permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas siempre y cuando reconozca y cite al autor original. No Comercial – Esta obra no puede ser utilizada con fines comerciales, a menos que se obtenga el permiso.

INDICE

	PÁGINA
Introducción	7
PARTE 1. FUNDAMENTOS	13
TEORÍA	15
1. Cuantificación en Geografía	17
1.1. Geografía Cuantitativa	18
1.2. Geografía Automatizada	22
1.3. Geoinformática	25
1.4. Análisis Espacial	27
1.5. Geografía Global	28
2. Conceptos centrales del Análisis Espacial	30
2.1. Localización	32
2.2. Distribución espacial	33
2.3. Asociación espacial	35
2.4. Interacción espacial	36
2.5. Evolución espacial	37
2.6. Globalidad territorial	38
3. Estadística espacial	39
3.1. Inicial cuantificación analógica	39
3.2. Transición en el contexto computacional	40
3.3. Integración en los Sistemas de Información Geográfica	41
METODOLOGÍA	43
4. Tendencia central	45
4.1. Cálculos aritméticos y cálculos espaciales	45
4.2. Medidas de centralidad y dispersión	46
4.3. Tendencia central	46
4.4. Dispersión espacial	48

5. Forma	51
5.1. Índices	51
6. Interpolación espacial	55
6.1 Áreas de influencia	55
6.2. Polígonos regulares	56
6.3. Polígonos de Voronoi-Thiessen	56
6.4. IDW (<i>Inverse Distance Wighting</i>)	59
6.5. Kriging	60
6.6. Modelo Kernel	61
7. Accesibilidad e interacción espacial	64
7.1. Macroeografía	65
7.2. Relaciones entre distancias ideales y reales	66
7.3. Flujos entre localizaciones	69
7.4. Potencial de población	69
8. Estructuras espaciales	71
8.1. Análisis de vecindad	71
8.2. Análisis por cuadrantes	73
8.3. Autocorrelación espacial	75
8.3.1 Comprobación de la dependencia espacial	76
8.3.2 Índice <i>I</i> de Moran	77
9. Dimensión temporal	79
9.1. En el eje del tiempo	79
PARTE 2. APLICACIÓN	83
1. Análisis de tendencia central: Caso de aplicación a partir del mapa de John Snow sobre la epidemia de cólera.	85
2-A. Análisis de forma: Aplicación a la mancha de luminosidad urbana de la Megaciudad Buenos Aires 1992-2012.	97
2-B. Análisis de forma: Estudios en cuencas hidrográficas de la Argentina.	109

3-A. Interpolación con polígonos de Voronoi-Thiessen: Distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca del río Luján.	121
3-B. Análisis de áreas de influencia: Definición en mapa de John Snow sobre la epidemia de cólera mediante la generación de polígonos de Voronoi-Thiessen.	137
3-C. Interpolación con Kriging: Distribución espacial de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en la Megaciudad Buenos Aires.	145
3-D. Modelado Kernel: Distribución espacial de robos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires mediante mapas de calor.	161
4. Accesibilidad espacial: Demanda potencial en los hospitales públicos de los municipios de la cuenca del río Luján.	169
5. Estructuras espaciales: Análisis de autocorrelación espacial de la población con nivel educativo universitario en la ciudad de Córdoba.	193
10. Palabras finales	207
11. Bibliografía	211
12. Los autores	229

Introducción

Estamos transitando una etapa excepcional para la aplicación del análisis espacial cuantitativo, la cual transcurre ligada a la evolución de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como tecnología central de la Geoinformática e integradora del *software* que le brinda estructura aplicativa a la Geografía Automatizada.

En este contexto fueron superados los arduos procedimientos iniciales realizados en un ambiente analógico, también el avance que significó la incorporación de las calculadoras manuales y los primeros *softwares* computacionales que trabajaban como sistemas cerrados en tareas específicas. Actualmente la integración de los sistemas brinda posibilidades excepcionales para la investigación geográfica.

El paradigma de la Geografía Cuantitativa brindó las bases conceptuales y metodológicas que le dieron sustento al cambio tecnológico desde su inicio hasta la Geografía Global, en la cual las tecnologías digitales generan un notable impacto en las ciencias que tienen interés de incorporar la dimensión espacial en sus estudios. Una evolución temática que particularmente en las ciencias sociales generó el denominado *giro espacial*.

Este es el contexto en el que se publica el libro *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. Tomando una orientación hacia el tratamiento exclusivo de entidades espaciales, tanto individuales como ligadas a sus atributos, el objetivo es presentar los fundamentos centrales de la cuantificación en Geografía y las actuales posibilidades para el tratamiento de datos espaciales que la tecnología SIG pone al alcance de potenciales usuarios provenientes de diferentes campos científicos.

Hoy más que nunca, el análisis espacial dispone de excelentes posibilidades para el trabajo conjunto que permite unir a la ciencia pura con la ciencia aplicada a través del uso de instrumentos con bases sólidas teórico-metodológicas que permiten actuar en la resolución de problemáticas en las que se relaciona la sociedad con su medio, ya sea natural o antrópico.

Se realiza un recorrido didáctico que pasa por los fundamentos teóricos y metodológicos del análisis espacial cuantitativo con importantes

posibilidades para la aplicación de procedimientos de estadística espacial y llegar al nivel de aplicación representado por diferentes casos de estudios regionales y urbanos.

La Parte 1 incluye dos bloques temáticos. El bloque de teoría contiene tres capítulos. En el Capítulo 1 (*Cuantificación en Geografía*) se presentan las diferentes orientaciones conceptuales que con origen en el paradigma de la Geografía Cuantitativa y pasando por la Geografía Automatizada, la Geoinformática y el Análisis espacial, llega a la Geografía Global, en el Capítulo 2 (*Conceptos centrales del Análisis Espacial*) se presenta el núcleo conceptual de la Geografía como ciencia espacial, se analizan los conceptos fundamentales sobre el que se basa todo pensamiento y acción, en el uso individualizado y combinado con la finalidad de llegar a la modelización de la globalidad territorial y en el Capítulo 3 (*Estadística Espacial*) se presenta un análisis retrospectivo sobre las diferentes etapas de la tarea empírica, desde las aplicaciones analógicas hasta las digitales basadas en SIG y que conforman el contexto actual.

El bloque de metodología incluye seis capítulos: El Capítulo 4 (*Tendencia central*) con los cálculos centrográficos para la determinación del centro medio simple, ponderado y de la dispersión espacial como forma de encontrar sitios de localización óptima, el Capítulo 5 (*Forma*) con diversos índices entre los que sobresalen los de compacidad, una resolución cuantitativa que compara una forma empírica con la del círculo, considerada la de mayor eficiencia en sus distancias internas, el Capítulo 6 (*Interpolación espacial*) con el cálculo de polígonos de Voronoi-Thiessen y los métodos que se consideran propios de la Geoestadística correspondientes a la estimación de valores espaciales a partir de un conjunto de datos en localizaciones puntuales conocidas, el Capítulo 7 (*Accesibilidad e interacción espacial*) con medidas de accesibilidad y de potencial de población en el contexto de la Macrogeografía, corresponde a visiones globales del espacio funcional, el Capítulo 8 (*Estructuras espaciales*) con los vínculos horizontales a partir del análisis de vecindad o de autocorrelación espacial en las cuales se evalúa la relación existente entre semejanza y cercanía, y finalmente el Capítulo 9 (*Dimensión temporal*) realiza una reflexión sobre la aplicación de las metodologías presentadas en el eje del tiempo a través de comparaciones entre geografías de diferentes presentes temporales.

La Parte 2 corresponde a la aplicación de la Estadística Espacial e incluye nueve ejercicios prácticos mediante el uso de SIG con los cuales quedan ejemplificadas las temáticas metodológicas desarrolladas conceptualmente. Con el uso del *software* QGIS y bases de datos de nivel regional y urbano los ejercicios incorporan las siguientes metodologías: (1) análisis de tendencia central, (2) análisis de forma, (3) análisis de áreas de influencia, (4) análisis de accesibilidad y (5) análisis de autocorrelación espacial.

El paso por la teoría, la metodología y la aplicación permite obtener respuestas en el contenido de la palabra clave de los estudios geográficos: *dónde*. Responder a esta cuestión resulta ser fundamental, ya que nuclea la totalidad de desarrollos en el ámbito del análisis espacial cuantitativo a través de la estadística espacial.

Ante todo la Geografía puede ser considerada una ciencia del *dónde*, que incorpora el *cuándo* a través del tiempo, el *cómo* mediante de los procesos causales y el *por qué* considerando la utilización de teorías en diferentes niveles del sistema complejo. La explicación de las estructuras espaciales estaría dada por el *cuándo*, el *cómo* y el *porqué* del *dónde*.

Esto se encuentra en la base científica conceptual de la Geografía y hecha operativa a través de la cuantificación. Hoy encuentra en la tecnología SIG el medio para trasladar sus excelentes posibilidades de aplicación a múltiples problemáticas socio-espaciales que surgen desde diferentes campos disciplinarios que consideran a la dimensión espacial como imprescindible incorporación para avanzar en sus estudios.

Reconocimiento

Queremos agradecer a *Claudia A. Baxendale* por su participación en el desarrollo de los aspectos teóricos de la Geografía, a *Luis Humacata*, *Sonia L. Lanzelotti* y *Noelia Principi*, compañeros de equipo, con quienes estudiamos muchos de los contenidos y con quienes avanzamos en diferentes aplicaciones del análisis espacial cuantitativo, a *Juan C. Gamba* por su apoyo en el campo de la macrogeografía, a *Leonardo Tenti* y *María José Denegri* por brindarnos datos sobre cuencas hidrográficas y precipitaciones en la cuenca del río Luján respectivamente, a *Hugo Delfino*, referente

estadístico en nuestra universidad, por su valiosa ayuda en momentos en los que resulta necesario comprender mejor algún tema de su especialidad y a *Cecilia Hurinson* por su valioso aporte a partir de la lectura orientada al análisis de estilo.

PARTE 1:

FUNDAMENTOS

Teoría

1. CUANTIFICACIÓN EN GEOGRAFÍA

La Geografía, como actividad racional que posibilita la construcción de conocimientos sobre el espacio a escala humana encuentra su antecedente más lejano en el inicio de la ciencia a través del mapa realizado por Anaximandro en el siglo V a.C (Buzai, 2021). Su nacimiento como ciencia con identidad se encuentra ligada al abordaje cuantitativo contenido en la propia definición que acuña Eratóstenes en el siglo III a.C. (Buzai, 2018), donde *Geo* es Tierra y *Graphia* es representación, siendo un claro ejemplo del abordaje matemático realizado en la medición del diámetro terrestre a través de procedimientos trigonométricos.

Estos antecedentes lejanos brindaron a la Geografía una impronta cuantitativa que fue evolucionando en el tiempo y que se mantiene hasta la actualidad. En el lapso de tiempo de más de dos milenios hubo un camino recorrido en el que la cuantificación no solamente proporcionó herramientas cada vez más precisas para la conformación de una ciencia empírica, sino que principalmente corresponde a una forma de pensar la realidad.

A continuación analizaremos el impacto teórico-metodológico de la cuantificación desde finales del siglo XIX en momentos de la aparición de la Geografía Humana con el objetivo de abordar el estudio de la relación del hombre con el medio, actualmente considerada la relación entre la sociedad y la naturaleza. Desde inicios del siglo XX puede verse una sucesión de diferentes paradigmas (Kuhn, 1962) que comenzaron a abordar desde diferentes perspectivas la relación entre un componente humano y otro físico-natural.

El estudio de la sociedad sin su medio fue el objeto de estudio de la Sociología y el del medio físico-natural sin vincularlo a las actividades humanas se desarrolló en el interior de las Ciencias de la Tierra. La Geografía se ubicó en un análisis relacional desde una perspectiva espacial, esto significa que abarca innumerables objetos de estudio, pero siempre abordados desde una perspectiva espacial y para ello utiliza una serie de conceptos y metodologías que le permiten transitar un claro camino desde la ciencia pura a la ciencia aplicada.

1.1. Geografía Cuantitativa

El concepto de Geografía Cuantitativa (Burton, 1963) como perspectiva paradigmática de la Geografía Humana está cumpliendo los sesenta años de existencia. El impacto de la cuantificación en Geografía llega hasta hoy recorriendo un camino que evolucionó adquiriendo características de una Geografía Automatizada (Dobson, 1983) y de una Geografía Global (Buzai, 1999). En esta línea, la incorporación de desarrollos matemáticos y estadísticos no solamente representaron un avance metodológico, sino, al mismo tiempo, una forma de pensar y acceder a la realidad apoyado por un instrumental actualmente incorporado en el ambiente informático basado en el formato digital.

Orientado a superar la descripción cualitativa que considera al mundo compuesto por regiones únicas e irrepetibles, el método científico brindaba la posibilidad de realizar generalizaciones y de utilizar a las regiones como laboratorio para poner a prueba diferentes modelos generales (Schaefer, 1953). Detalles específicos en una serie de etapas pueden encontrarse en Buzai (2005) y Buzai y García de León (2018), desde el surgimiento paradigmático en la Geografía Humana hasta la consolidación de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El término *Geografía Cuantitativa* es el que fue aceptado de manera general para identificar la corriente teórica (Garrison y Marble, 1967; Cole y King, 1968), sin embargo también habían sido destacados otros aspectos que la llevan a ser considerada como *Geografía Teórica* por su alto nivel de abstracción (Bunge, 1962), por su aspecto revolucionario como *Nueva Geografía* (Manley, 1966) y su apoyo metodológico como *Geografía Estadística* (Berry y Marble, 1968).

Con el paradigma cuantitativo se rescatan trabajos previos basados en la geometría como lenguaje espacial y en la matemática como lenguaje científico y, a las obras ya citadas, debemos agregar en este período algunas otras de importancia como las de Haggett (1965), Harvey (1969) y Chorley (1973).

Los fundamentos que la Geografía Cuantitativa introduce en el análisis de la realidad geográfica se centran en los siguientes aspectos:

El abordaje geográfico es espacial: La Geografía es una ciencia que solo puede ser definida a través de su objeto formal o perspectiva de

análisis. La gran cantidad de objetos de estudio pueden ser compartidos con otras ciencias, pero lo que le brinda singularidad a nuestra ciencia es su perspectiva. Se propone una definición que considera a la Geografía como ciencia que estudia la diferenciación areal (Hartshorne, 1939) y esta actualiza la perspectiva tradicional hacia un accionar constructivista. El geógrafo debe saber clasificar el espacio geográfico, representado por la superficie terrestre y poder explicar por qué se producen esas diferencias.

La región se construye: Tomando el avance teórico de la perspectiva racionalista, la Geografía Cuantitativa también considera que el trazado de límites sobre la superficie terrestre es principalmente tarea de los geógrafos y no de la realidad. Pero los límites no se trazan de manera arbitraria, sino que existen procedimientos específicos para realizarlo, como la tradicional superposición de mapas que crean áreas homogéneas (Rey Balmaceda, 1973) a través de la combinación espacial de las categorías de las diferentes variables.

El método de construcción es cuantitativo: Superando el procedimiento cualitativo la construcción regional desde la Geografía Cuantitativa comienza con la sistematización de datos realizada por la *matriz de datos geográfica* (Berry, 1964) y en ella se aplican métodos de análisis multivariado. Corresponde a procedimientos clasificatorios que toda ciencia utiliza para ordenar y clasificar sus objetos de estudio (animales, plantas, cuerpos celestes), lo cual, en Geografía, se aplica a unidades espaciales. La clasificación llevada al mapa muestra el resultado de un proceso de regionalización.

Avanza en la construcción de modelos: Es la principal característica de una ciencia de carácter nomotético, en la cual su interés se encuentra en prestar atención a los aspectos que pueden ser generalizados. Los modelos espaciales son construcciones simplificadas de la realidad que permiten comprenderla en sus rasgos fundamentales y también pueden actuar como guía para la planificación territorial. El modelo es un instrumento de trabajo para el análisis sistémico de la organización espacial (Christoforetti, 1985).

Se amplían los vínculos multidisciplinarios: Al poder sistematizar el pensamiento y la acción a partir del lenguaje general que brinda la matemática, le brinda a la Geografía la posibilidad de compartir parte de su lenguaje con múltiples ciencias, logrando mayores posibilidades de

ampliar vínculos para el trabajo conjunto. Estas posibilidades integran a la Geografía como ciencia que demuestra sus mayores capacidades en el nivel de análisis espacial, es decir, llevando la dimensión espacial al alcance de múltiples disciplinas.

Se obtiene un mayor nivel de objetividad: No se considera que la investigación científica sea totalmente objetiva, ya que en su proceso intervienen diferentes decisiones que debe tomar el investigador. Sin embargo, se considera que los métodos cuantitativos aplicados avanzan en objetividad ya que brindan abiertamente sus métodos y técnicas para poder generar su repetición, es decir, que todo investigador que intente reconstruir el proceso de construcción de conocimientos podrá hacerlo llegando a similares resultados. De esta manera elimina el criterio de autoridad muy vigente y todavía con aceptación sumisa en las ciencias sociales.

Aportes a la evolución paradigmática: A partir del trabajo de Kuhn (1962) muchos geógrafos interesados por el avance teórico de la disciplina aplicaron el modelo de evolución científica apoyado en períodos de ciencia normal y cambios revolucionarios. La Geografía del siglo XX presenta una regularidad de 20-25 años en los cambios de paradigma pero se aparta del modelo conceptual cuando se verifica que ningún paradigma desplazó por completo al anterior, sino que solo fue apartado de la corriente principal. En este sentido puede verificarse un claro recorrido de la Geografía Cuantitativa (y de cualquier otro paradigma) desde su aparición hasta la actualidad compartida por cinco líneas bien definidas (Buzai, 2015) y que evolucionan de forma paralela.

La falaz crítica al monismo metodológico: La Geografía Cuantitativa no necesariamente hace que el abordaje geográfico siga los cánones de la ciencia experimental, la cual ha sido tomada normalmente como modelo de ciencia. En ningún momento puede llegar al nivel de experimentación logrado por las denominadas Ciencias Exáctas ya que los comportamientos socio-espaciales no pueden ser manipulados en un laboratorio. Sin embargo, debemos aclarar que las ciencias son principalmente observacionales y que la experimentación constituye una de las posibles formas de observar. La Astronomía, una ciencia de gran prestigio, nunca pudo poner los cuerpos celestes en una experimentación

de laboratorio, en este sentido la Geografía Cuantitativa actúa como ella, sin posibilidad de manipular condiciones de contexto pero con la excelente capacidad de realizar mediciones sistemáticas puede analizar la situación y el comportamiento de diversas cuestiones socioespaciales con la finalidad de poder comprender su funcionamiento.

Temáticas de relevancia aplicativa: Las investigaciones realizadas en el ámbito de la Geografía Cuantitativa se basan en el materialismo sistémico, el cual considera, que la realidad existe independientemente de cómo se la piense, esto significa que existe una realidad objetiva (Rand, 2011) formada por entidades espaciales que tienen materialidad y que se encuentran vinculadas unas con otras en relaciones que permiten definir sistemas, siendo que la forma más apropiadas para estudiarlos surge de la ciencia como conocimiento racional, sistemático, que tiende a la exactitud, que es verificable y falible (Bunge, 1985). En este contexto las temáticas siempre avanzan hacia la resolución de problemas en el marco de una Geografía Aplicada (Phlipponneau, 2001) en tanto aplicación de conocimientos geográficos para la resolución de problemáticas de naturaleza socio-espacial.

Complementación de la abstracción-concreción: Se considera generalmente que la aplicación de métodos cuantitativos genera un nivel de abstracción que separa los estudios geográficos de plano empírico. La matemática está imposibilitada de modelar sensaciones y sentimientos humanos, pero este no es el objetivo de la Geografía Cuantitativa, sino el abordaje socio-espacial en aplicaciones empíricas. En este sentido, se parte de la realidad, se realiza su abstracción cuantitativa, se genera el modelo espacial y se vuelve a la realidad para actuar sobre ella en tareas de planificación territorial. El mayor nivel de abstracción se encuentra orientado hacia el mayor nivel de concreción posibilitando una nueva consideración práctica de la disciplina, siendo la Geografía entendida en esta instancia como la ciencia de la organización del territorio.

1.2. Geografía Automatizada

Con un inicio a mediados de la década de 1960 en que se crea el primer Sistema de Información Geográfica (CGIS – *Canadian Geographic Information System*, 1964) y con mayor fuerza al inicio de la década de 1980, cuando aparecen las primeras computadoras personales (IBM PC, luego las compatibles) la Geografía Cuantitativa comienza a transformar sus procedimientos metodológicos del formato analógico al digital.

Es posible verificar una larga etapa de transición en la producción y empleo de la cuantificación dentro del análisis geográfico, a tal punto que Dobson (1983a) considera la aparición de la Geografía Automatizada formada por los procedimientos metodológicos geográficos que fueron estandarizados para su uso computacional. En ellos aparece la centralidad de los SIG.

La aparición de la Geografía Automatizada no puede considerarse como el surgimiento de un nuevo paradigma de la Geografía, ya que ella se sustenta en los aspectos teórico-metodológicos desarrollados por la Geografía Cuantitativa y aportes constructivistas de la Geografía Racionalista. En todo caso corresponde a un cambio de ambiente que la lleva a una notable valorización contextual.

En el marco de la Geografía Automatizada, los SIG posibilitan tener una visión digital del mundo para su tratamiento y análisis mediante el uso de medios computacionales. Al inicio de la década de 1980 aparece una primera reflexión sobre la nueva revolución tecnológica que indudablemente generaría un notable impacto en la Geografía a través de la automatización de procedimientos, aspecto que fue tomado como campo de debate por la revista *The Professional Geographer* en 1983 y 1993, posición desde la cual se puede considerar clásica la compilación de Pickles (1995).

El trabajo inicial pertenece a Dobson (1983a) y surge como resultado de su reflexión acerca de los importantes avances experimentados en materia computacional, que según el autor, posibilitaron automatizar la mayoría de los métodos utilizados para la resolución de problemas geográficos. Con este argumento presenta el surgimiento de la Geografía Automatizada como campo de aplicación eminentemente técnico que lo considera ventajoso respecto de los métodos de trabajo tradicional.

Si bien Dobson (1983a, b) presenta conclusiones altamente optimistas, en las cuales vislumbra un camino irreversible hacia la creciente automatización, no deja de reconocer algunos efectos negativos, como la posibilidad de pérdida de rigor teórico –empañado por el alto potencial técnico-, y la limitación que puede surgir al tener que orientar una investigación hacia procedimientos fácilmente automatizables. El primer inconveniente fue vivido en la época de la revolución cuantitativa, donde se mezcla teoría con la metodología, mientras que el segundo –directamente producto de la automatización- podría superarse a partir del avance técnico y una integración flexible de los sistemas.

En la actualidad este último cuestionamiento también llega a confirmarse en parte al encontrar que un número importante de alumnos y profesionales dedicados a la Geografía suelen adentrarse a tal punto en la tecnología SIG que llega un momento en que sus objetivos de avance temático son más técnicos que científicos. Puede ser conveniente mencionar también que la modernidad obliga a los profesionales dedicados a la cuantificación a diferenciar, con todo cuidado, las capacidades que convierten a las técnicas estadísticas y computacionales en herramientas del análisis geográfico, para tenerlas claras como un medio para el análisis geográfico, evitando confundirlas con un fin en sí mismo.

La integración computacional es considerada por Dobson (1983a) como una tarea que debería resolverse en el futuro ya que las aplicaciones propias de la Geografía Automatizada (Cartografía Computacional, Computación Gráfica, Procesamiento Digital de Imágenes de Sensores Remotos, Modelos Digitales de Elevación y Sistemas de Información Geográfica) al realizar tareas de alta especificidad presentan límites muy precisos entre ellos. En este sentido, cabe destacar que en la actualidad esta tarea se ha cumplido y la integración quedó resuelta bajo el concepto de Geoinformática, con los SIG ocupando su núcleo integrador.

Los comentarios respecto del aporte de Dobson (1983a) presentan diferentes profundidades de análisis abarcando desde simples cuestiones terminológicas respecto del uso del término Geografía Automatizada (Marble y Peuquet, 1983; Moellering y Stetzer, 1983; Poiker, 1983), hasta la incorporación de aspectos teóricos de relevancia en la consideración de una falta de neutralidad ideológica en su aplicación (Cromley, 1983).

Las reflexiones acerca del impacto conceptual de la automatización en Geografía se dirige hacia dos puntos: el impacto en la actividad científica bajo la consideración de que los conceptos incorporados en la tecnología no proveen desarrollos necesarios para la aparición de un nuevo paradigma (Dobson, 1983a, b; Cromley, 1983; Moellering y Stetzer, 1983; Poiker, 1983), y el impacto de la automatización geográfica en otras ciencias (Kellerman, 1983).

Las relaciones disciplinarias entre la Geografía y el resto de las ciencias que comienzan a ver las ventajas de considerar la componente espacial a través de la automatización de procedimientos geográficos se presenta como un ámbito de nuevas reflexiones. Monmonier (1983) afirma que el camino del geógrafo hacia la integración de equipos interdisciplinarios es irreversible y en esa línea Morrison (1983) afirma que se presentará una excelente oportunidad para que la Geografía pueda ocupar un lugar destacado en el contexto de las ciencias.

Los comentarios realizados hacia el inicial trabajo de Dobson (1983a) tienen una ampliación en Dobson (1983b) quien no avanza hacia cuestiones de mayor profundidad y con el mismo optimismo afirma que si bien —como lo menciona Poiker (1983)— la Geografía Automatizada no ha obtenido mejores resultados que los logrados por la Geografía Cuantitativa de la década del cincuenta, los inconvenientes mencionados serán superados y se afirmará la Geografía Automatizada como disciplina específica que utiliza sistemas cibernéticos, humanos y electrónicos para el análisis de los sistemas físicos y sociales.

Una década más tarde, la revista *The Professional Geographer* (agosto 1993) retoma el debate a fin de volver a reflexionar sobre las consideraciones iniciales a la luz de la evolución de una década de avances en la temática. En la primera presentación Dobson (1993) ratifica su postura mencionando que la integración proclamada como necesaria en el pasado había comenzado a gestarse a través de la fuerza innovadora de los SIG y avanza teóricamente al considerar que su correcto uso se aseguraría mediante el apoyo conceptual de lo que se denominan Ciencias de la Información Geográfica (*GIScience*).

Sin considerar la existencia de una revolución paradigmática, Dobson (1993) reconoce que el tema ha sido abordado principalmente en

su carácter de revolución tecnológica y no como revolución científica. Sin embargo no se duda de un impacto amplio sobre las capacidades espaciales intelectuales individuales y colectivas a través de un importante apoyo al desarrollo de la inteligencia espacial (Gardner, 1983) que según Dobson (1993) comienza a ocupar un lugar destacado junto a la inteligencia lingüística y la inteligencia lógica-matemática que tradicionalmente privilegió la enseñanza.

Como puede verificarse en la década de los noventa, existe una orientación conceptual hacia los procesos de automatización en Geografía que fueron desde aspectos principalmente técnicos (Dobson, 1983a, b) hasta un mayor impacto teórico (Dobson, 1993). Si bien el aporte de Marble y Peuquet (1993) se ha mantenido en la postura de considerar un leve impacto en la disciplina, otros autores han demostrado un definitivo optimismo que va desde aspectos puntuales en la revalorización de los estudios de Ecología del Paisaje (Goodchild, 1993) o la integración de las posturas idiográficas y nomotéticas representadas respectivamente por Hartshorne y Schaefer (Sheppard, 1993) hasta considerar que los logros de la automatización generarán nuevos límites en la Geografía como ciencia (Pickles, 1993).

El impacto de las tecnologías digitales en Geografía no quedó allí, en Buzai (2018) se presenta el avance hacia la Geografía Global en dos líneas, la Metageografía como impacto que genera en el resto de las ciencias que incorporan a la dimensión espacial en sus estudios a través del uso de los SIG y la Neogeografía a partir de los procedimientos tecnológicos que se encuentran al alcance de toda la población, principalmente a través de los dispositivos móviles.

1.3. Geoinformática

Los SIG son el resultado de una importante línea de avance teórica y metodológica de la Geografía. Métodos y técnicas que durante la mayor parte de la historia de la Geografía fueron realizado con soporte papel, paulatinamente se incorporaron en el ambiente digital de las computadoras personales para lograr su mayor alcance, dentro y fuera de la disciplina.

Considerando la puesta en funcionamiento del CGIS en 1964, se puede considerar que la tecnología SIG cumplió 57 años, generando muchas líneas de análisis en su evolución (Buzai y Robinson, 2010) como herramienta fundamental para el amplio reconocimiento de la dimensión espacial en el estudio de la realidad.

Toda entidad geográfica comenzó a ser modelizada mediante dos componentes, el de la forma y el del contenido. Desde un punto de vista informático esto se hizo operativo a partir de la creación de bases de datos gráficas y bases de datos alfanuméricas, esta última, también llamada tabla de atributos.

Las formas se vinculan a representaciones geométricas (punto, línea, polígono, raster) que pueden ser modeladas mediante el siguiente *software*: Diseño Asistido por Computadora (CAD *Computer Aided Design*), Mapeo asistido por computadora (CAM *Computer Aided Mapping*), Gestión de infraestructura (AM-FM *Automated Mapping-Facilities Management*), Sistemas catastrales (LIS *Land Information Systems*), Procesamiento digital de imágenes satelitales (PDI) y Modelos numéricos de terreno – 3D (MNT).

Los contenidos son mediciones cuantitativas que se incorporan en la tabla de atributos asociada a la gráfica que pueden ser trabajados mediante el siguiente *software*: Editores de textos (EDT), Administradores de bases de datos (ABD), Planillas de cálculo (PLC), Programas de análisis estadístico (PAE) y Sistemas de posicionamiento global (GPS *Global Positioning System*).

La convergencia de *software* fue fundamental para conceptualizar la aparición de la *Geografía Automatizada*, relaciones técnicas que llevan a los SIG como núcleo de la Geoinformática con ampliación hacia los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) como *software* complementario para la realización de procedimientos específicos.

1.4. Análisis Espacial

La Geografía como ciencia encuentra en el sistema Tierra y el sistema Mundo (Dollfus, 1992) la realidad empírica para su estudio. Esto se refiere a que sus estudios surgen a partir del contacto empírico con el contexto, en el abordaje de problemáticas y búsqueda de soluciones. Como ciencia empírica se basa en la generalización, en una postura de carácter nomotético que intenta brindar explicaciones deductivas a la dimensión espacial de la realidad. Esto sucede porque se considera la existencia de una realidad que tiene independencia del observador y el objetivo de privilegiar la función de conocimiento sobre la función de manipulación (Soros, 2010).

Cuando la realidad se analiza a partir del uso de SIG se lo hace desde un punto de vista cuantitativo y sistémico en dos principales perspectivas. Como *sistemas generales* que buscarán similares organizaciones en diferentes escalas y como *sistemas complejos*. Desde un punto de vista epistemológico se considera una realidad estratificada en diferentes niveles de procesos con diversas posibilidades de análisis (García, 2006) en la cual distintas teorías tendrán utilidad para abordar cada nivel.

Desde el punto de vista espacial, la escala humana se encuentre entre lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño. Puede entenderse como un espacio diverso a partir de múltiples relaciones (de Rosnay, 1977; Buzai y Cacace, 2013). El estudio de la Geografía se encuentra en este nivel y privilegiando una perspectiva espacial.

Desde un punto de vista tecnológico, los telescopios se usan para abordar el espacio infinitamente grande, los microscopios para el estudio del espacio infinitamente pequeño, y los SIG se ubican en una escala humana. El análisis geográfico ocupa sólo un sector intermedio del análisis espacial, que corresponde al de una escala humana, y con posibilidades de integración de variables sociales y naturales sobre la superficie terrestre. Actualmente el análisis geográfico realizado con SIG experimenta una gran expansión a través de la difusión de datos geográficos masivos (*big data geographic*) puestos a disposición de la ciencia y la sociedad.

1.5. Geografía Global

Las actuales tecnologías digitales de base geográfica generaron un gran impacto en el uso generalizado de la dimensión espacial para el comprender y poder actuar sobre la realidad empírica del mundo. El impacto fue mucho mayor que el vislumbrado por los primeros trabajos que analizaron el efecto de las tecnologías digitales en la teoría y metodología de la Geografía, entre ellos los que corresponden al debate realizado en *The Professional Geographer*. El resultado final fue la conformación de una Geotecnósfera (Buzai y Ruiz, 2012) de alcance planetario.

Los SIG no generan un nuevo paradigma de la Geografía, ya que sus teorías y métodos fueron desarrollados en parte por la Geografía Racionalista y principalmente por la Geografía Cuantitativa (Buzai, 1999), la primera al considerar la construcción regional y la segunda estableciendo que toda aplicación debería realizarse a partir de una generalización que lleva a la modelización espacial.

El tratamiento de la información geográfica digital genera un cambio de ambiente que podía considerarse una nueva visión de la realidad. Una nueva perspectiva paradigmática que la Geografía brinda a las ciencias que tienen necesidad de incorporar la componente espacial.

El camino de la expansión tecnológica se produce desde las ciencias hacia las prácticas sociales con base en el ambiente digital y comunicacional. Una evolución en la que están presentes diferentes perspectivas paradigmáticas en Geografía.

Cuadro 1. Evolución de la línea teórica de la Geografía Cuantitativa

Línea conceptual		Influencia	Décadas
Geografía Humana (Ratzel, 1882)		Positivismo (Base contextual: Biología)	1900-1940
Geografía Racionalista (Hartshorne, 1939)		Historicista	1940-1950
Geografía Cuantitativa (Burton, 1963)		Positivismo (Base contextual: Matemáticas)	1950-1970
Geografía Automatizada (Dobson, 1983a)		Positivismo (Base contextual: Informática)	1980-2000
Geografía Global (Buzai, 1999)			2000-2020
Metageografía (Buzai, 2018)	Neogeografía (Turner, 2006)		

El Cuadro 1 presenta el camino de evolución paradigmática de la Geografía Cuantitativa tomando como base Buzai (1999) y su actualización en Buzai y Ruiz (2012).

El positivismo, según el momento histórico, con influencia biológica, matemática e informática, considera la existencia de una ciencia empírica que obtiene sus datos a partir de la relación entre la racionalidad humana y la realidad. Estas tres instancias históricamente se ubican en las crestas de los ciclos de auge del sistema capitalista propuestas por Kondrátiev (Berry, 1991) y actualmente nos encontramos ubicados en la tercera ola a partir de las posibilidades que surgen de las actuales tecnologías informáticas.

El camino iniciado por la Geografía Cuantitativa hace sesenta años genera el mayor impacto social que cualquier paradigma de la Geografía ha podido lograr y, considerando el desarrollo pendular presentado por Capel (2012) el positivismo queda plasmado en el final de la historia. La relación entre el positivismo (aproximación empírica) y la modelización (aproximación racional) que apoya la consideración de la existencia de leyes generales, brinda las bases para que la Geografía genere su mayor impacto histórico (Buzai, 2014a).

La sigla SIG (GIS, en inglés) puede ejemplificar esta evolución: *GISystem*, *GIScience* y *GISociety* (Burrough y McDonell, 1998). Actualmente, después de medio siglo de la aparición del primer SIG la relación entre Geografía y Análisis Espacial se hizo más amplia que nunca y con esto nos encontramos en una nueva etapa en la evolución de la Geografía.

2. CONCEPTOS CENTRALES DEL ANÁLISIS ESPACIAL

La evolución del pensamiento geográfico durante el Siglo XX brindó como resultado tres definiciones principales de Geografía producidas a partir de las perspectivas ecológica, corológica y sistémica. Desde la perspectiva ecológica puede ser considerada como el estudio de la relación del hombre con el medio, desde la perspectiva corológica como el estudio de la diferenciación areal y desde la perspectiva sistémica como el estudio de las regularidades para generar leyes y modelos que subyacen a las pautas de distribución espacial.

Las actuales tendencias de la investigación aplicada consideran las tres definiciones de manera conjunta con la finalidad de realizar estudios de gran alcance: la relación de la sociedad con su entorno (natural o antrópico) genera diferenciaciones espaciales y estas pueden ser modelizadas. El concepto de modelo considerado, corresponde a una representación simplificada de la realidad a través de sus aspectos fundamentales.

El espacio geográfico está representado materialmente por la superficie terrestre, en este sentido, todo lo que estudia la Geografía se asienta sobre la superficie y, en ese sentido, puede ser considerada como una ciencia de la cobertura terrestre (*Erdoberfläche*) y de los fenómenos que están en relación de causalidad con ella, propuesta del geógrafo alemán Ferdinand von Richthofen [1883-1905]. La superficie terrestre es la base empírica de toda investigación y portadora de las temáticas espacializadas a estudiar.

Considerar al espacio geográfico en el centro de la Geografía, y de las investigaciones que tratan problemáticas espaciales desde diferentes disciplinas, no puede hacerse simplemente desde un punto de vista

discursivo, sino que resulta necesario actuar de forma concreta sobre la realidad. El abordaje geográfico es principalmente espacial, una consideración que está en el núcleo de la Geografía Tradicional, tomada por la Geografía Cuantitativa, trasladada al uso de los SIG, a la Geografía Automatizada y divulgada ampliamente en el ámbito científico a través de la Geografía Global.

La perspectiva espacial desarrollada a través del SIG se inserta en un recorrido de investigación que cumple cinco grandes etapas: (1) Teórica, (2) Teórica-metodológica, (3) Metodológica-técnica, (4) Validación, y (5) transferencia (Baxendale, Buzai y Cruz, 2010). Se rescata aquí el papel de las prácticas geográficas como inicio y final de este proceso, el camino de salida y llegada, desde y hacia el nivel empírico. En este camino, el análisis espacial cuantitativo se transforma en el hilo conductor que toma las definiciones previas, el problema y genera resultados que se transforman en herramientas para su solución.

Cuando se lo enfoca desde un punto de vista temático, el Análisis Espacial, realizado sobre datos distribuidos sobre la superficie terrestre, entrelaza una serie de técnicas *matemáticas* que se basan en el razonamiento lógico de las relaciones formales abstractas numéricas y *estadísticas* mediante inferencias en datos que constituyen muestras representativas. En este libro se presenta el análisis de entidades/atributos referenciados geográficamente.

Cuando se lo enfoca desde la tecnología SIG, el Análisis Espacial, se considera su núcleo (sinónimo de su subsistema de tratamiento) ya que es en este componente donde es posible trabajar con las relaciones espaciales de cada capa temática de la base de datos geográfica.

Según los diferentes momentos de evolución científica, y particularmente en el ámbito de la Geografía Cuantitativa, el Análisis Espacial adquiere dos orientaciones. Por un lado está la que considera a todo tipo de procesamiento de datos espaciales (O'Sullivan y Unwin, 2003, Buzai y Baxendale, 2006) y por el otro las que consideran únicamente los aspectos geométricos y estructurales de las entidades espaciales considerando que el espacio geográfico siempre interviene en el resultado (Berry, 1996). Esta última definición tiene mayor especificidad y es la que se privilegia en el uso de las técnicas de *Estadística Espacial*.

Teniendo en cuenta lo que el geógrafo francés Emmanuel de Martone [1873-1955], en su intento de delimitar el campo de la disciplina, denominó Principios Geográficos (localización, conexión, extensión, complejidad, dinamismo, conexión y globalidad territorial), los cuales fueron claramente presentados y analizados por Vilá Valentí (1983), podemos ver que existe una clara correspondencia entre ellos y los cinco conceptos fundamentales del Análisis Espacial: Localización, Distribución espacial, Asociación espacial, interacción espacial y evolución espacial, que, en conjunto, llegan al principio de *globalidad territorial*.

A partir del trabajo de Nyerges (1991) y analizando el posterior desarrollo de Nyerges y Golledge (1997) podemos verificar que estos conceptos se han transformado en sintetizadores de los principios geográficos que se hacen operativos a partir del Análisis Espacial, actualmente aplicados a través de los SIG. A continuación serán desarrollados sus contenidos y alcances para la investigación geográfica aplicada.

2.1. Localización

El concepto considera que todas las entidades (con sus atributos asociados) tienen una ubicación específica en el espacio geográfico, es decir, que se encuentran sobre la superficie terrestre.

Esta ubicación puede ser vista en dos sentidos. Si se considera el *espacio absoluto* corresponde a un sitio específico y fijo de emplazamiento sustentado por la topografía local y si se considera *espacio relativo* corresponde a una posición específica respecto de otros sitios con los cuales se pueden establecer vínculos funcionales.

El sitio se encuentra referenciado a un sistema de coordenadas arbitrarias (x-y) o geográficas (latitud-longitud) que no cambian con el tiempo y a partir del cual se le asignarán valores cuantitativos precisos de su ubicación. Puede ser identificado a partir de un valor de coordenadas preciso.

La posición se mide a través del uso de diferentes escalas, es decir, diferentes formas de medición (tiempos, costos, energía) con resultados

que generalmente cambian ante el avance tecnológico. De esta manera, entidades que durante toda su existencia se encuentran localizadas en el mismo sitio cambian de posición, considerando que históricamente se va consiguiendo un menor tiempo de traslado entre ellas.

Los métodos para el cálculo del centro medio de la distribución de puntos es la búsqueda de un sitio central que surge a partir de la posición de los puntos que intervienen en el sistema. Los métodos para el cálculo de accesibilidad e interacción espacial se apoyan en la posición de las entidades en el espacio relativo, en el cálculo de las distancias reales que pueden ser representadas por unidades de medida y de tiempo. De esta manera, toda intervención que cambie la fricción espacial en el sistema cambiará el espacio de relaciones.

2.2. Distribución espacial

El concepto considera que el conjunto de entidades de un mismo tipo se reparten de una determinada manera en el espacio geográfico. La distribución de puntos puede ser modelada como área y a partir de esto se podrá definir una forma.

Las distintas características medidas en entidades de naturaleza espacial difícilmente se distribuyan de manera homogénea, por lo tanto, es común que las distribuciones que presentan concentraciones varíen de un sector a otro. Considerada como distribución puntual, esa mancha de entidades puede tener una estructura espacial concentrada, aleatoria (sin un patrón definido) o regular (distribución uniforme, también considerada dispersa), aspectos que pueden ser medidos a través de un análisis de vecindad. La intensidad de cualquier variable puede ser distribuida espacialmente en base a los procedimientos típicos de la cartografía temática con el uso de intervalos de clase y también puede ser vista como densidad, tomando como modelo la terminología estadística, como una frecuencia con la que estos hechos se reparten sobre el espacio geográfico.

Desde el punto de vista de la geometría espacial pueden incluirse aquí los estudios correspondientes al análisis de las formas de las entidades areales, tema considerado central en el trabajo clásico de Bunge (1962), en el cual se brindan algunos fundamentos iniciales para su cuantificación.

Además destaca a la forma como una importante propiedad vinculada a la teoría de la Geografía.

Los estudios de la forma espacial privilegian generalmente el análisis de las unidades político-administrativas que dividen el territorio en un mosaico de perfecta contigüidad. El problema práctico a ser resuelto sería poder repartir las superficies con la mayor eficacia posible respecto de los diferentes centros existentes. Según Haggett (1965) esta eficacia estaría dada por la minimización de los movimientos desde el centro de cada área hasta sus sectores periféricos representado por sus límites. Este concepto resulta de importancia para una administración racional desde un punto de vista espacial.

Considerando la búsqueda de eficacia funcional, se ha establecido que los polígonos regulares brindan mejores resultados que los polígonos irregulares, que el círculo es el polígono regular de mayores condiciones deseables y que los hexágonos son los polígonos regulares que conservan las propiedades más cercanas a las del círculo. Recordemos que el geógrafo alemán Christaller (1933), al formular la Teoría de los Lugares Centrales, resolvió con hexágonos la definición de áreas de influencia ideales entre centros dispuestos regularmente en espacio regional.

Un índice de forma ($S=(1,27A)/l^2$) presentado por Haggett (1965) resulta ilustrativo para verificar el grado de semejanza entre la forma analizada y el círculo (figura de mayor eficiencia con $S=1$), en esta fórmula A es la superficie del área y l la longitud mayor que pueda trazarse entre dos puntos de su límite. En el caso de las divisiones político-administrativas encuentra valores de $S=0,06$ para municipios muy alargadas o de $S=0,93$ para municipios compactos. Las tres figuras regulares presentan los siguientes valores: triángulos ($S=0,42$), cuadrados ($S=0,64$) y hexágonos ($S=0,83$). Asimismo se han propuestos numerosos índices para medir las formas de las unidades espaciales que serán analizadas posteriormente

El concepto de distribución, como se ha visto, es central en el análisis geográfico, inclusive hasta llegar a ser considerado el foco de atención de la Geografía, y resulta principalmente útil cuando el objetivo es comenzar una investigación a partir de tener una primera aproximación a través de las diferenciaciones de espacios dentro del área de estudio.

2.3. Asociación espacial

El concepto considera el estudio de las relaciones encontradas al comparar distintas distribuciones espaciales (perspectiva vertical) o unidades espaciales en variadas distancias de vecindad (perspectiva horizontal).

La forma de comparación más clara y directa es el análisis visual que se puede realizar con posterioridad a la superposición cartográfica de dos distribuciones espaciales. A través de este procedimiento, una distribución espacial A se puede superponer a una distribución espacial B y de esa manera verificar su grado de asociación en base a una proporción de correspondencia. Cuanto más grande sea la superficie de superposición (intersección geométrica) mayor será la asociación existente entre ellas. Desde un punto de vista racionalista el método de superposición en tanto búsqueda de coincidencias espaciales es un procedimiento clave de la Geografía como ciencia (Rey Balmaceda, 1973), al permitir poner límites en el espacio por divisiones lógicas en una clasificación como procedimiento deductivo.

La asociación espacial en una perspectiva horizontal se basa en relaciones de vecindad contigua y ampliada, corresponde a unidades espaciales que comparten límites o que tienen vínculos relacionales por flujos de diverso tipo.

Los métodos para el cálculo del vecino más próximo, permite realizar un mapa de encadenamiento de unidades espaciales por distancia y divide el área de estudio en una regionalización que se realiza a partir de los vínculos espaciales establecidos. Se incluye en esta línea el cálculo de la autocorrelación espacial en donde, al comprobarse, queda claro que la cercanía entre unidades espaciales influye en la alta correlación de atributos. El coeficiente *I de Moran* mide la asociación de una variable consigo misma entre una unidad espacial consideradas central y sus unidades espaciales vecinas, realizando el cálculo posicionándose en cada una de las unidades espaciales del área de estudio.

Poder encontrar diferentes áreas con cierto nivel de homogeneidad o concentraciones de autocorrelacion permite al geógrafo hacer uso de una de sus mayores capacidades, la de poder poner límites en

el espacio geográfico o descubrir concentraciones. Ese trazado de áreas se transforma en una herramienta importante de planificación.

2.4. Interacción espacial

El concepto considera la estructuración de un espacio relacional en el cual las localizaciones (sitios) distancias (ideales o reales) y vínculos (flujos) resultan fundamentales en la definición de espacios funcionales. Corresponde a la conceptualización de los componentes que apuntalan una visión de la realidad como sistema.

El estudio de la interacción espacial siempre ha sido fundamental en la investigación geográfica ya que contiene implícita una de sus leyes fundamentales: lo que existe u ocurre en un lugar no es ajeno a los que existe u ocurre en otro (Pumain y Saint Julien, 2010). Este aspecto fue central en la formulación del campo interdisciplinario la Ciencia Regional, el cual según Isard (1960) pone su foco de atención en espacios y sistemas espaciales, en regiones y sistemas regionales y en localizaciones y sistemas locacionales, en los cuales es de gran importancia el concepto multidimensional de distancia (física, económica, social y política). Una interesante y útil reseña sobre la formación y características de la Ciencia Regional es la publicación de Benko (1998).

En su relación con el análisis geográfico, estos estudios tienen origen en el abordaje de las configuraciones espaciales de fenómenos humanos en lo que fue denominado como una Macrogeografía basada en la Física Social (Warntz, 1975). Corresponde a la definición de una perspectiva generalizada (escala cartográfica chica que abarca grandes extensiones) que permite obtener un panorama espacio-temporal de la integración socioespacial para avanzar hacia estudios espaciales en sitios específicos.

Los estudios que abordan el análisis de la interacción espacial apuntan a medir los diferentes tipos de vínculos horizontales entre las entidades geográficas localizadas.

Deben ser destacados inicialmente los trabajos de Zipf (1946, 1949) en los cuales se presenta la hipótesis de relación P_1P_2/D cuyos

parámetros permiten subsiguientes estudios que consideran la disminución de interacciones con el aumento de la distancia (*Distance Decay*) en lo que denomina el principio del menor esfuerzo, una minimización de traslados al ser considerado un esfuerzo (gasto de energía) para la superación de la fricción espacial. Stewart (1956) tomando este concepto adapta fórmulas de la física newtoniana y la utiliza para el análisis de la medición cuantitativa de la interacción entre poblaciones. Una completa reseña de esta evolución temática y, al mismo tiempo, de la formulación del concepto de gravitación en el ámbito social puede encontrarse en la revisión y análisis bibliográfico realizado por Olsson (1965).

En síntesis, el análisis de interacción espacial constituye una temática de importante tradición dentro del análisis espacial cuantitativo y su continuo avance lleva más de medio siglo. Como puede apreciarse los fundamentos básicos y centrales en esta línea de estudio se desarrollaron durante la quinta y sexta década del siglo veinte y llega a la actualidad con importantes posibilidades a través de la aplicación modelística computacional relacionada a los Sistemas de Información Geográfica.

2.5. Evolución espacial

El concepto considera la incorporación de la dimensión temporal a través de la permanente transición entre diferentes estados, en los estudios geográficos correspondientes a las configuraciones espaciales en una misma área de estudio a través del tiempo.

Los estudios geográficos son básicamente abordajes del presente (recordemos que la Geografía generalmente se la define como una ciencia del presente), sin embargo, en ningún momento se deja de reconocer que la dimensión temporal es de gran importancia para la realización de un análisis geográfico completo (Cliff y Ord, 1981). Dirigir la atención hacia el pasado nos muestra el origen de las manifestaciones empíricas del presente. Centrarse en el *dónde* corresponde a una visión basada en la localización y abordar el *cuándo* es una visión basada en el tiempo. Estimar el futuro solo puede realizarse a través del uso de métodos cuantitativos y la aplicación de procesos de experimentación modelística.

Con la finalidad de abordar las configuraciones espaciales actuales, desde una postura racionalista se considera que el tiempo en Geografía se presenta principalmente de dos maneras (Hartshorne, 1959); como el tiempo que se incluye en el presente y el que transcurre en el pasado conteniendo los procesos que producen la situación actual. También cabe ser destacado que cada situación del pasado puede ser analizada como diferentes geografías de un presente y, en este sentido, llegar a comparaciones que muestran la evolución cambiante que decanta en el presente.

Estas consideraciones teóricas se encuentran desarrolladas técnicamente en el trabajo de Monmonier (1990) quien considera un abordaje cartográfico de la dimensión temporal a través del procedimiento denominado *chess-map* (sucesivos mapas como diferentes configuraciones de un tablero de ajedrez), la cual constituye una metodología de análisis por superposición cartográfica y de mayor fluidez cuanto menor espacio exista entre las mediciones. La elección del intervalo (resolución temporal) entre las diferentes geografías del presente puede depender de la velocidad de cambio de la temática analizada, aunque muchas veces queda supeditado a la disponibilidad de datos.

La Geografía es la ciencia que analiza el presente y desde allí se dirige hacia el pasado (estudios de génesis) o hacia el futuro (estudios prospectivos), estos últimos, basados en la cuantificación son los que permiten generar propuestas de intervención necesarias en el ámbito de la planificación territorial.

2.6. Globalidad territorial

Los Sistemas de Información Geográfica permitieron hacer operativos bajo un mismo ambiente de trabajo los cinco conceptos fundamentales del Análisis Espacial, los cuales tienen amplia correspondencia con los principios geográficos que se integran en el núcleo disciplinario de la Geografía. Por lo tanto, el Análisis Espacial con SIG implica realizar una tarea enmarcada en la Geografía al considerarla, desde un punto de vista teórico, como ciencia espacial y desde un punto de vista aplicativo como ciencia de la organización del territorio.

A lo largo de este punto hemos visto que las entidades geográficas se localizan en un sitio y adquieren una posición cambiante cuando se las aborda desde una perspectiva relacional, que la ampliación de entidades geográfica brindan una distribución que puede estar asociada a otras distribuciones y que también pueden tener una asociación horizontal que lleva a poder medir un espacio de accesibilidad general a través de interacciones. Finalmente todos estos aspectos evolucionan a través del tiempo y en conjunto brindan un panorama completo de las estructuras espaciales.

Cuando se trabaja con SIG se aplican diversos métodos que se encuentran claramente orientados hacia alguno de estos conceptos o hacia las combinaciones que puedan establecerse entre ellos. El trabajo total tiene su marco conceptual en un nivel espacial. Siempre serán analizadas localizaciones, distribuciones espaciales, asociaciones espaciales, interacciones espaciales y/o evoluciones espaciales, y la combinación de ellas lleva a la estructura de la globalidad territorial como síntesis.

Es en este nivel que la Geografía y la aplicación de los SIG muestra su mayor aptitud y utilidad. La globalidad territorial constituye una integración temática que llega a lo más acabado del modelo territorial en la totalidad de su estructura en el espacio absoluto y funcionalidad en el espacio relativo.

3. ESTADÍSTICA ESPACIAL

3.1. Inicial cuantificación analógica

Mientras la Geografía Automatizada se encontraba en formación, era posible encontrar opiniones acerca de la necesaria tarea de incorporar procedimientos del análisis cuantitativo para el estudio específico de la dimensión espacial. Ebdon (1982) mencionaba que esta tarea se encontraba en construcción.

Un mapa temático que presenta unidades espaciales areales con diferentes densidades equivale a un histograma de la estadística básica, la representación a través de barras en altura se debe asimilar a un espacio bidimensional mediante el uso de una intensidad de colores vista en una perspectiva cenital. De igual manera, obtener el centro medio de una distribución de puntos puede considerarse un promedio geográfico.

Los libros iniciales, ya citados, hicieron su aporte para la formación del paradigma de la Geografía Cuantitativa, siendo que en Iberoamérica los principales aspectos técnico-metodológicos se encontraron a partir de las traducciones de Hammond y McCullagh (1974), Haggett (1976), Grupo Chadule (1980) y Ebdon (1982). Como producciones nacionales destacamos en España a Estébanez y Bradshaw (1978), en Brasil a Gerardi y Silva (1981) y en Argentina a Ostuni, Civit y Manchón (1983).

De esta manera, el *análisis cuantitativo* comenzó a ser aplicado en unidades espaciales para evolucionar hacia el *análisis espacial cuantitativo*. El esfuerzo didáctico de estas producciones se ve orientado al trabajo técnico en formato analógico y es de destacarse que ellos sistematizan las bases conceptuales que son permanentes y acompañan la actual evolución aplicativa (Buzai y Santana Juarez, 2019).

3.2. Transición en el contexto computacional

El cambio de ambiente experimentado por la aplicación de las técnicas cuantitativas en Geografía estaría dado a partir del inicio y la difusión de las computadoras personales, en nuestro país al finalizar la década de 1980, principalmente ante la posibilidad de la utilización de planillas de cálculo que permitieron sistematizar los datos en matrices digitales y operar de manera semi-automática sobre ellos.

En esta etapa resultaron de importancia libros como los de Bosque Sendra *et al.* (1988), McGuire (1989), Mather (1991), los cuales incluyen capítulos con la presentación distintas líneas de aplicación posibles. Se encuentran orientados a brindar un panorama global de importancia sobre las posibilidades del trabajo computacional en Geografía, aunque se verifica que existe una limitación en la integración de los diferentes programas.

En todos los casos, la tecnología de los SIG se presenta en un capítulo individual, al mismo nivel que el resto de las tecnologías. De ellos es de destacarse el texto de Cebrián (1998) por ser el primer aporte en castellano en el inicio de la divulgación conceptual en este momento de transición. A través de este texto se comenzaba a pensar en la organización

de datos a través de las representaciones raster y vectorial, y de las diferentes posibilidades de aplicación en ellos.

Con base en estos desarrollos, la década de 1990 avanzó hacia la integración de sistemas bajo el concepto de Geoinformática y con los SIG como su núcleo, destacándose en Buzai (1992) los vínculos iniciales que comenzaban a perfilarse y para hacer operativa a la Geografía Automatizada.

3.3. Integración en los Sistemas de Información Geográfica

El avance que la tecnología geoinformática y los SIG representan para la evolución de las aplicaciones cuantitativas en Geografía se verifica plenamente al nivel técnico-metodológico y de aplicación, donde el cambio de ambiente brindó posibilidades de trabajo no imaginadas. Sin embargo, lo mismo no se verifica al nivel teórico, ya que los conceptos, métodos e interpretaciones están fuertemente apoyados en el paradigma de la Geografía Cuantitativa que generó sus bases conceptuales.

Los SIG no generan un nuevo paradigma de la Geografía, aunque, como forma de ver la realidad, dan origen a un paradigma geográfico que nuestra ciencia brinda al resto de las ciencias y prácticas sociales (Buzai, 2018).

Los SIG con estructura vectorial modelan la realidad a partir de dos componentes que se hacen operativos mediante la creación de bases de datos gráficas (mapas) y alfanuméricas (atributos). En este sentido pueden ser realizados tres tipos de abordajes mediante procedimientos cuantitativos: (1) los que se aplican en la tabla de atributos, (2) los que se aplican en la base de datos gráfica, y (3) los que necesitan ambos componentes para su aplicación.

En el primero se encuentra la totalidad de procedimientos matemáticos y estadísticos que pueden aplicarse en matrices de datos y tablas de atributos sin importar la localización espacial, corresponde principalmente al trabajo realizado en las variables que se encuentran en las columnas de la organización matricial tradicional.

En el segundo se encuentra el trabajo que puede hacerse sobre los aspectos geométricos sin importar otro aspecto que vaya más allá de la localización. Ejemplos clásicos son el cálculo del centro medio de la distribución de puntos o el análisis del vecino más próximo. Los procedimientos realizados solamente necesitan disponer de la distancia física efectiva entre puntos.

En el tercero deben encontrarse vinculados ambos componentes, es decir, la entidad localizada con sus datos de atributos. Un claro ejemplo es el cálculo del centro medio ponderado en el cual además de las localizaciones puntuales es necesario tener un peso de importancia otorgado por cualquier variable a fin de ser utilizado en el cálculo. Todos los trabajos de asociación espacial horizontal, como las interpolaciones o la autocorrelación espacial, están basados en estas consideraciones.

La estadística espacial realizada con SIG queda focalizada en los componentes espaciales y se accederá a sus atributos para ajustar muchos de sus cálculos. La totalidad de aspectos teóricos que hemos presentado se hacen operativos a través de los desarrollos metodológicos que serán tratados en el próximo apartado.

Metodología

4. TENDENCIA CENTRAL

Poder describir la distribución espacial de localizaciones puntuales a través de resultados sintéticos es de gran interés para el análisis espacial. La *Centrografía*, en su carácter de representación de la centralidad, generalmente es el primer ejemplo que muestra claramente la influencia del espacio geográfico en los resultados.

Los cálculos de tendencia central pueden ser aplicados a diferentes escalas y tuvieron una gran difusión mundial a partir de la década de 1920, cuando el *Bureau of the Census* de Estados Unidos publicó en 1923 los cálculos de tendencia central de la población para todos los censos nacionales desde 1790. En nuestra tarea nos han sido de gran utilidad para el análisis de diversos aspectos, como la localización de la propuesta de una nueva ciudad capital (Buzai, 1989), usos del suelo del centro urbano (Buzai y Baxendale, 2006), estructura espacial regional (Principi y Buzai, 2016) y el análisis de sitios arqueológicos (Lanzelotti y Principi, 2019).

A continuación se presentan las fórmulas matemáticas centrales, la cuales generan resultados que permiten responder acerca de la localización del centro medio de una distribución de localizaciones puntuales y cuál es el nivel de dispersión que presentan.

4.1. Cálculos aritméticos y cálculos espaciales

Muchos cálculos matemáticos deben ser ampliados si se los traslada desde un espacio aritmético unidimensional al espacio geográfico de dos dimensiones. Particularmente, en cuanto al tema de las medidas en el campo de la centrografía esto se pone en clara evidencia.

El promedio pasa a ser el centro medio calculado para las coordenadas x - y , el desvío estándar, formado a partir de las distancias de las localizaciones puntuales al centro medio, queda representado por un círculo que sintetiza la dispersión y el centro mediano no adquiere una solución única debido a las múltiples posibilidades de orientación en los ejes utilizados.

4.2. Medidas de centralidad y dispersión

Existen varias posibilidades que llevan a medir la centralidad y dispersión de la distribución de datos puntuales sobre el espacio geográfico. Estas mediciones brindan resultados únicos que describen y sintetizan las características fundamentales de los emplazamientos, por lo cual, sus combinaciones proporcionan un panorama sistemático de sus distribuciones espaciales.

Los cálculos de tendencia central tienen la finalidad de resumir la posición típica de las distribuciones espaciales, estos son el *centro medio* (simple y ponderado) y el *centro mediano*.

Los cálculos de dispersión tienen la finalidad de resumir el esparcimiento de la distribución, estos son el *distancia estándar*, *desvío estándar de x e y*, *desvío estándar de las distancias* y la *elipse de dispersión*.

El cálculo de estas medidas se realiza a partir de considerar las posiciones de cada punto en los ejes de coordenadas y al combinar los procedimientos se obtienen claras orientaciones acerca de la configuración espacial de los elementos analizados.

4.3. Tendencia central

El cálculo de centralidad inicial es la obtención del *centro medio simple*, que también es considerado un *centro de gravedad* para localizaciones puntuales con idénticos pesos. Se obtiene calculando la media de las coordenadas en x y en y a partir de las siguientes fórmulas:

$$[1] \quad \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$[2] \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

donde x_i e y_i son los valores de coordenadas para cada localización puntual y n la totalidad de puntos intervinientes.

El cálculo avanza al obtener el *centro medio ponderado*, que también es considerado un *centro de gravedad* para localizaciones puntuales con diferentes pesos (ponderaciones). En este peso se considera alguna característica propia de la localización como valor de importancia en el conjunto.

$$[3] \quad \bar{x}_p = \frac{\sum x_i p_i}{\sum p_i}$$

$$[4] \quad \bar{y}_p = \frac{\sum y_i p_i}{\sum p_i}$$

El cálculo de este punto central se direcciona espacialmente hacia aquellas localizaciones que intervienen con mayor fuerza a partir de la atracción producida por sus propios pesos.

Una tercera medida la representa el *centro mediano*, que corresponde a la intersección de dos ejes ortogonales que dejan la misma cantidad de puntos a cada lado, lo cual representa una aproximación al centro de desplazamiento mínimo.

El resultado que se logra mediante un procedimiento gráfico no es único, sino que podrán obtenerse diferentes aproximaciones a partir de la orientación de los ejes que dividan las localizaciones puntuales en cuartos con la misma cantidad.

Considerado en su segunda definición, el resultado minimiza la sumatoria de las distancias hacia la totalidad de puntos de la distribución. Su posición se encontrará cercana a la anterior y la respuesta final podrá obtenerse por aproximaciones de cálculos en puntos candidatos en las cercanías del centro mediano.

Su solución se orienta a la búsqueda de la minimización de la siguiente función:

$$[5] \quad \min F = \sum d_{ij}$$

donde d_{ij} es la distancia entre la totalidad de puntos de la distribución y los puntos candidatos posibles de ser seleccionados como resultado.

El análisis de tendencia central permite obtener claros resultados con potencial utilización en el ámbito de la planificación territorial, principalmente cuando la intención es obtener una localización que pueda interactuar de forma equitativa hacia las diferentes localizaciones puntuales dispersas a su alrededor.

4.4. Dispersión espacial

Un primer cálculo para el análisis de la dispersión es el de la *distancia estándar*, equivalente al cálculo estadístico del desvío estándar como medida de la dispersión absoluta de los valores respecto de la media [6], pero en este caso aplicado en el espacio bidimensional [7]. Desde un punto de vista geográfico, una vez obtenido el centro medio se realiza su cálculo desde allí.

$$[6] \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

$$[7] \quad \sigma_e = \sqrt{\frac{\sum d_{cm,j}^2}{n}}$$

Donde σ_e es el desvío estándar espacial, $d_{cm,j}$ es la distancia desde el centro medio a cada una de las localizaciones j y n la cantidad de localizaciones puntuales. En este cálculo cada distancia se eleva al cuadrado y todos los resultados se promedian para calcular su raíz cuadrada.

También resulta posible automatizar el cálculo de distancias (D) a partir de incorporar la fórmula del teorema de Pitágoras [8] luego incorporado para el desarrollo de la fórmula del desvío estándar espacial [9].

$$[8] \quad D = \sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2}$$

$$[9] \quad \sigma_e = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}{n}}$$

donde x_i e y_i son los valores de coordenadas para cada punto, $\bar{x}$ e $\bar{y}$ son la media de los valores de coordenadas y n la totalidad de localizaciones puntuales. Con la finalidad de simplificación de cálculos la fórmula puede pasar a la siguiente forma.

$$[10] \quad \sigma_e = \sqrt{\left(\frac{\sum x^2}{n} - \bar{x}^2\right) + \left(\frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2\right)}$$

Puede avanzarse a través del cálculo del *desvío estándar espacial ponderado* cuando resulta de importancia considerar el peso como nivel de importancia de las localizaciones a partir de alguna característica específica. En este caso la fórmula se amplía.

$$[11] \quad \sigma_{ep} = \sqrt{\left(\frac{\sum x^2 \cdot p}{\sum p} - \left(\frac{\sum x \cdot p}{\sum p}\right)^2\right) + \left(\frac{\sum y^2 \cdot p}{\sum p} - \left(\frac{\sum y \cdot p}{\sum p}\right)^2\right)}$$

donde σ_{ep} es el desvío estándar espacial ponderado, x - y son las coordenadas de cada localización puntual y p la ponderación. Al encontrarse dentro de la fórmula la definición del centro medio ponderado por [3] y [4] esta fórmula puede ser simplificada.

$$[12] \quad \sigma_{ep} = \sqrt{\left(\frac{\sum x^2 \cdot p}{\sum p} - (\bar{x} \cdot p)^2\right) + \left(\frac{\sum y^2 \cdot p}{\sum p} - (\bar{y} \cdot p)^2\right)}$$

Siendo $(\bar{x} \cdot p)$, $(\bar{y} \cdot p)$ el centro medio ponderado.

A través de los cálculos presentados siempre se obtiene un círculo a partir del centro medio de la distribución de puntos, pero si existen valores extremos el cálculo puede brindar distorsiones.

Con la finalidad de poder medir la dispersión en distribuciones puntuales que presentan diferentes esparcimientos según su direccionamiento espacial se construye la *elipse de dispersión* que capta con mayor aptitud el alargamiento diferencial según sectores. Operativamente se construye a partir de definir dos ejes que se cruzan de manera ortogonal en el centro

medio, uno de los ejes se direcciona en el sentido de la dispersión máxima y el otro en el de la dispersión mínima.

El primer paso es que las coordenadas x e y pasan a ser coordenadas x' e y' al restar la media de x e y a los valores x e y originales [13] y [14] para lleva el 0-0 de coordenadas al centro medio de la distribución de puntos. Todas las localizaciones modificarán sus valores de coordenadas al nuevo sistema.

$$[13] \quad x' = x - \bar{x}$$

$$[14] \quad y' = y - \bar{y}$$

Se debe rotar el nuevo sistema de coordenadas para que los ejes giren en el sentido horario y se posicionen orientados hacia los máximos y mínimos alargamientos de la dispersión espacial logrando un nuevo posicionamiento de ejes.

$$[15] \quad \tan \theta = \frac{(\sum x'^2 - \sum y'^2) + \sqrt{(\sum x'^2 - \sum y'^2)^2 + 4(\sum x' \cdot y')^2}}{2(\sum x' \cdot y')}$$

Se calculan dos desvíos estándar sobre los ejes x e y transpuestos y quedan definidos los ejes principales de la elipse por las longitudes encontradas.

$$[16] \quad \sigma_{x'} = \sqrt{\frac{\sum (x' \cos \theta - y' \sin \theta)^2}{n}}$$

$$[17] \quad \sigma_{y'} = \sqrt{\frac{\sum (x' \sin \theta - y' \cos \theta)^2}{n}}$$

A partir de los extremos de ambos ejes se define su área (A) mediante el trazado del perímetro de la elipse que surge como envolvente.

$$[18] \quad A = \pi \sigma_{x'} \sigma_{y'}$$

Los procedimientos de cálculo presentados tienen la finalidad de ser aplicados principalmente a estructuras puntuales, resultando de gran utilidad en la realización de descripciones sintéticas respecto de la distribución espacial de entidades distribuidas sobre el espacio geográfico.

5. FORMA

5.1. Índice

Aunque es ampliamente aceptado que la forma de las distribuciones espaciales areales corresponde a una de las características empíricas principales del espacio geográfico, también es sabido acerca de las dificultades para evaluarla con precisión, motivo por el cual siempre tuvieron privilegio las descripciones cualitativas.

Las entidades geográficas se manifiestan empíricamente a través de su forma, la cual se percibe de manera intuitiva como primera manifestación visible. Al mismo tiempo cuentan con una extensión que les permite ocupar parte del espacio absoluto y generar diferencias espaciales que resultan centrales para el estudio de la Geografía como ciencia.

La forma se determina por los límites exteriores de una entidad y resulta de muy difícil cuantificación y el desafío de su medición queda planteado ante la necesidad de poder realizar comparaciones con una base objetiva. La búsqueda de índices de forma llevó a diferentes aproximaciones mediante intentos que la miden de manera indirecta a partir de algunas de sus características.

El círculo es la figura más compacta al presentar la mayor optimización de accesibilidad desde el centro hacia sus bordes, pero un área de estudio no puede dividirse de manera completa a través de esta figura ya que al tocarse tangencialmente quedarían intersticios sin cubrir. Pueden generarse mosaicos regulares a través del uso polígonos regulares de igual superficie, tema estudiado inicialmente por Kepler en el siglo XVIII (Haggett, 1976), mediante triángulos, cuadrados y hexágonos, que encajan perfectamente unos con otros, siendo este último el polígono regular que permite el mejor mosaico al minimizar los costos de desplazamiento desde cualquier localización dentro de la figura hacia su propio centro.

Basados en estas consideraciones fueron propuestos los denominados *índices de compacidad*, los cuales obtienen resultados cuantitativos a partir de la medición de ciertas características, siendo que un grupo importante calcula su apartamiento del círculo como figura ideal.

Un índice muy utilizado fue propuesto por Pounds (1963) para estudiar territorios nacionales en el ámbito de la Geografía Política, trabajo realizado en la línea del inicial camino propuesto por Churchil Semple (1911) como primer estudio sistemático acerca de los límites nacionales bajo el paradigma determinista.

$$[19] \quad I_{(c)Pounds} = \frac{P}{A}$$

donde P es el perímetro del área y A es el área como superficie de la entidad geográfica. Estébanez y Bradshaw (1978) muestran claramente la gran influencia del perímetro en el resultado final en donde la alta sinuosidad puede brindar un resultado de baja compacidad para una figura compacta y el problema de que el resultado no tiene límites fijos variando entre 0 e ∞ . Otro índice de compacidad relaciona la extensión de dos líneas trazadas en el interior de la forma.

$$[20] \quad I_{(c)Lineal} = \frac{L_2}{L_1}$$

donde L_1 es la línea de mayor extensión interna trazada entre límites extremos y L_2 la línea de mayor extensión perpendicular a la primera. Los resultados del índice serán entre 0 y 1, llegando a 1 si ambas líneas son del mismo tamaño. Hacia el 0 se encontrarían las formas más alargadas y hacia el 1 las más redondeadas, aunque en 1 también se encontrará el cuadrado, por lo tanto no lleva a gran claridad como indicador de forma.

Hay índices que mejoran las posibilidades analíticas al incorporar la medición del grado de apartamiento de la forma analizada respecto del círculo, que es la figura geométrica más compacta y de referencia. Algunos de estos índices son utilizados en el estudio de cuencas hidrográficas (Romero Bastidas, 2007). Entre ellos se encuentra el inicial índice de Gravelius (1914).

$$[21] \quad I_{(c)Graveluis} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

donde A es el área de la cuenca y P el perímetro del círculo de similar área. Valores cercanos a 1 indican una tendencia de forma hacia la circularidad.

También debe considerarse el factor de circularidad de Miller (1953) para el estudio de cuencas hidrográficas.

$$[22] \quad I_{(c)Miller} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

donde A es el área de la cuenca y P es el perímetro del círculo de similar área.

En esta línea se encuentra el índice de compacidad propuesto por Gibbs (1961) [23] utilizado para medir formas urbanas y el presentado por Haggett (1965) [34] en la medición de unidades administrativas (presentado en el punto 2.2), también aplicado a formas urbanas por Ostuni *et al.* (1983), en ambos casos incorporando longitudes de un eje mayor.

$$[23] \quad I_{(c)Gibbs} = \frac{4A}{\pi L^2}$$

donde A es la superficie de la entidad geográfica, L es la longitud del eje más largo entre límites extremos.

$$[24] \quad I_{(s)Haggett} = \frac{1,27 A}{L^2}$$

donde A es el área, y L la longitud del eje mayor, el cual se define como el segmento de recta que conecta los dos puntos del perímetro más distantes entre sí. La constante 1,27 ajusta el índice para que varíe de 0 a 1, de modo tal que tenga el valor 1 en el caso del círculo, y 0 cuando la forma se reduce a una línea recta.

Avanzando en el análisis de las divisiones político-administrativas, Cole (1964) propone un índice de compacidad en el que incluye un indicador de la forma circular.

$$[25] \quad I_{(c)Cole} = \frac{A}{A_c}$$

donde A_c es el diámetro del círculo menor circunscripto. El índice indica que aquellas unidades espaciales que se acercan a la forma circular tienden a 1.

Otro índice utilizado en el análisis de cuencas hidrográficas fue propuesto por Horton (1932), en este caso se lo relaciona al cuadrado como figura de referencia a partir de una longitud máxima.

$$[26] \quad F_{(f)Horton} = \frac{A}{L^2}$$

donde A es la superficie del área y L es la longitud del eje más largo entre límites extremos, línea recta entre el punto de desembocadura y el extremo más lejano de la divisoria de aguas. Los valores bajos <1 indican una cuenca alargada y valores mayor van indicando alargamiento.

Finalmente existen índices que se calculan a través de relaciones entre radios de circunferencias, presentados por Ebdon (1982).

$$[27] \quad I_{(c)} = \frac{R_i}{R_c}$$

$$[28] \quad I_{(c)} = \frac{R_A}{R_c}$$

Donde R_i es el radio del mayor círculo inscripto, R_c es el radio del menor círculo circunscripto y R_A es el radio del círculo de igual área que la forma, siendo

$$[29] \quad R_A = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Considerando que la forma es un concepto muy difícil de aprehender desde un punto de vista práctico uno de los principales aspectos medibles es la compacidad y, en este sentido, los índices presentados brindan capacidad práctica para realizar comparaciones entre diferentes áreas.

6. INTERPOLACIÓN ESPACIAL

El método tiene como objetivo estimar el valor que adquiere cualquier localización a partir de valores conocidos medidos en localizaciones puntuales distribuidas en el interior del área de estudio.

El procedimiento se realiza cuando la distribución espacial de la variable es continua y no puede ser medida en las infinitas localizaciones, por lo tanto la continuidad se logra a partir de la representación cartográfica de los resultados en una superficie estadística que se genera como modelo.

La interpolación espacial es una temática central de la *Geoestadística*, término acuñado por Matheron (1962) a partir del inicio teórico-metodológico propuesto por Sichel (1947) y Krige (1951) en el campo de la ciencia aplicada y particularmente en cuanto a la búsqueda y exploración de yacimientos minerales.

El concepto se encuentra compuesto por un “Geo” relacionado a las Ciencias de la Tierra y una “estadística” que alude a la aplicación de metodologías desarrolladas por este campo científico.

6.1. Áreas de influencia

Desde un punto de vista ideal, las áreas de influencia para una serie de puntos distribuidos sobre el espacio geográfico son circulares. A medida que se hacen mayores en idénticos tamaños y se tocan, sus límites se ubican en la distancia media que existe entre cada par de puntos. De esta manera, la mediatriz de un segmento construida sobre la distancia lineal entre puntos permite generar un mosaico en el cual cada punto pasa a ser el centro de un espacio y toda localización interior se encuentra más cercano a su correspondiente centro que a cualquier otra.

Esta configuración de un mosaico regional dividido en polígonos recibe diferentes nombres en honor a los principales científicos que estudiaron sus propiedades. A mediados del siglo XIX la *Teselación de Dirichlet* (1850) y a principios del siglo XX los *Polígonos de Voronoi* (1908) y *Polígonos de Thiessen* (1911), siendo este último reconocida como la primera aplicación a un caso geográfico.

El procedimiento por el cual una distribución de puntos se transforma en una malla poligonal de áreas de influencia para cada punto, se reconoce en la tecnología SIG como *Voronoi* o *Thiessen*. Aquí serán denominados *Polígonos de Voronoi-Thiessen*, reconociendo su más reconocida formulación matemática y su incorporación geográfica. Representa el primer método de interpolación, con la simplicidad de ser construidos a partir del uso de distancias lineales.

6.2. Polígonos regulares

Si las localizaciones son puntos centrales y se distribuyen en el espacio regional de forma regular, optimizando sus ubicaciones a través de una configuración de triángulos equiláteros, las áreas de influencia trazadas a través de la distancia media entre ellos tendrán forma hexagonal, tal como Christaller (1966) lo representa en la modelización ideal de la teoría de los lugares centrales.

Los hexágonos son los polígonos regulares que permiten realizar el mejor ajuste en los cuales existe la mayor economía en los desplazamientos realizados desde su centro hacia los bordes, solo superado por el círculo, tal cual lo hemos visto en el punto anterior como figura geométrica de mayor compacidad.

6.3. Polígonos de Voronoi-Thiessen

Las localizaciones que representan puntos centrales no tienen una distribución regular en el espacio geográfico, por lo tanto sus áreas de influencia tendrán diferentes alcances espaciales tanto para una competencia espacial como para la cobertura óptima del alcance de bienes y servicios.

Desde el punto de vista del comportamiento regido por la racionalidad en la minimización de esfuerzos, *principio del esfuerzo mínimo* postulado por Zipf (1949), se considera que las necesidades de la población serán satisfechas en la localización más cercana, la que permitirán minimizar esfuerzos y costos de desplazamiento. El resultado representa espacialmente un mosaico regional que se adapta a situaciones cercanas a la realidad.

Los cálculos de los polígonos de Voronoi-Thiessen para distribuciones irregulares fueron realizados en el análisis de áreas de influencia en espacios regionales (Principi, 2013) y urbanos (Buzai, 2016) en zonificaciones a través de las áreas de influencia de cada centro y el cálculo de población de demanda potencial en su interior.

La lógica analítica de construcción contempla un área de estudio con múltiples localizaciones puntuales [30] entre las cuales se calculan las distancias lineales (euclidianas) [31] entre las localizaciones puntuales.

$$[30] \quad P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$$

$$[31] \quad D_{ij} = \sqrt{(i_x - j_x)^2 + (i_y - j_y)^2}$$

El objetivo es realizar un mosaico completo de polígonos de Voronoi-Thiessen en el área de estudio a partir de la subdivisión formada por los polígonos individuales [32] de manera tal que cualquier localización l estará más cerca del centro de su propio polígono que de cualquier otro centro [33] y así quedarán formados los polígonos individuales [34] y el mosaico [35].

$$[32] \quad p_i \in P$$

$$[33] \quad \|p - p_i\| < \|p - p_j\|$$

$$[34] \quad Vor(p_i)$$

$$[35] \quad Vor(P)$$

Cada polígono se construye a partir de la mediatriz de un segmento, como línea recta perpendicular al segmento de distancia euclidiana [31] trazado por su punto medio. Para el caso con dos localizaciones a y b aparecen dos semiplanos, uno que contiene todas las localizaciones cercanas a a [36] y otro a b [37].

$$[36] \quad h(a, b)$$

$$[37] \quad h(b, a)$$

De manera general el polígono quedaría definido por,

$$[38] \quad \text{Vor}(p_i) = \bigcap_{j=1, j \neq i}^n h(p_i p_j)$$

Una vez creados los polígonos en la situación ideal, la ubicación de los límites puede ser ajustada contemplando un valor de ponderación en cada localización como peso de importancia.

Si las localizaciones puntuales son ciudades, el poder de atracción podría ser medido a partir del tamaño poblacional, por lo cual la influencia de cada centro será mayor y la superficie del polígono será más extensa cuanto mayor población tenga.

Generalizando una fórmula utilizada por Fernández García (1995) en el campo de la Climatología Aplicada se obtiene la posibilidad de calcular un valor total (v) para el área de estudio a partir de mediciones puntuales realizadas en localizaciones puntuales que se transforman en centros de polígonos está dada por:

$$[39] \quad v = v_1 \left(\frac{S_1}{S} \right) + v_2 \left(\frac{S_2}{S} \right) + \dots + v_n \left(\frac{S_n}{S} \right)$$

donde v_i es el valor en la localización puntual, S_i a S_n la superficie que cada polígono tiene en el interior del área de estudio y S la superficie del área de estudio.

Para dos puntos vecinos a y b el límite de sus respectivas áreas de influencia estaría dado por la fórmula [40] (siendo $a > b$):

$$[40] \quad PR_{ab} = \frac{d_{ab}}{1 + \sqrt{\frac{P_a}{P_b}}}$$

donde, PR_{ab} es el punto de ruptura (localización del límite) del área de influencia entre el punto a y b , d_{ab} es la distancia, P_a y P_b sus respectivas poblaciones. De esta manera, el límite se desplazará hacia la población menor. Esta posibilidad de resolución se la atribuye a Reilly y Huff (Bailey, 1981), quienes la formulan como una derivación del modelo de potencial.

6.4. IDW

El método de interpolación denominado IDW (*Inverse Distance Weighting*), traducido como distancia inversa ponderada, corresponde a la media ponderada a partir de la disminución con la distancia. Para ellos se realiza el cálculo.

$$[41] \quad \hat{z}_{(x_j)} = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_{ij}^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-\alpha}}$$

donde $\hat{z}$ corresponde estimador, x_j son los puntos en los que se realiza la estimación, $z(x_i)$ es el valor conocido en las localizaciones vecinas, n es la cantidad de puntos vecinos utilizados en la estimación, d_{ij} es la distancia entre los puntos j e i , y α es el exponente de ponderación que generalmente es 2.

Si el cálculo se realiza sobre los n puntos más cercanos esto brinda la posibilidad de que sea definido un radio de búsqueda variable y, en ese sentido, los cálculos tendrán en cuenta la estructura espacial de las localizaciones puntuales. Si se especifica un radio de búsqueda fijo, esto puede generar cálculos disímiles en distribuciones puntuales que presenten diferentes agrupamientos.

Finalmente el resultado brinda un valor que se encuentra dentro del rango de diferencia entre los dos valores extremos de entrada. De esa manera habrá una autocorrelación de diferenciación gradual entre las localizaciones estimadas.

6.5. Kriging

El ingeniero en minas Danie G. Krige (1919-2013) propuso un método de interpolación que tomó su nombre (*Kriging* en inglés y de mayor popularización, *krigeage* en francés o *krigeaje* en español) y que también es llamado regresión en procesos gaussianos. Parte del principio que actualmente se conoce como *ley de Tobler*.

El Kriging con todas sus variantes es uno de los métodos de interpolación probabilístico más utilizado, considerados como óptimos y los mejores predictores linealmente insesgados (Giraldo Henao, 2002) ya que la media aritmética de una muestra de interpolaciones realizadas con este método en un área es cero, y su varianza es mínima (Bosque Sendra, 1997).

La forma genérica de Kriging (Goovaerts, 1997):

$$[42] \quad Z^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}(u) [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] + m(u)$$

donde $Z^*(u)$ es el valor estimado para cada ubicación u utilizando $n(u)$ muestras; λ_{α} es el peso, o ponderación, que cada muestra $Z(u_{\alpha})$ toma; y $m(u_{\alpha})$ y $m(u)$ son los valores esperados o medias aritméticas de las muestras disponibles y de la elevación en el área cubierta por el método de interpolación. Las diferentes variables de Kriging tienen como objetivo minimizar la varianza del error de estimación mediante la restricción (Paredes Hernández et al., 2012):

$$[43] \quad E\{Z^*(u) - Z(u)\} = 0$$

alcanzada a través de la asignación de pesos λ_{α} con base en la disimilaridad de los valores de las muestras $Z(u_{\alpha})$. La disimilaridad $g(h)$ entre las muestras de elevación es establecida a través del semivariograma experimental definido como (Goovaerts, 1997):

$$[44] \quad \gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{\alpha=1}^{n(h)} [z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)]^2$$

donde h es la distancia entre las muestras $z(u_\alpha)$ y $z(u_\alpha + h)$ y n es el número de muestras separadas por la distancia h .

De las variantes de Kriging que existen, una de las más empleadas es la denominada Kriging Ordinario (OK, Ordinary Kriging). El Kriging Ordinario asume que la media $m(u)$ varía a través del área en estudio, pero es constante dentro de un área (o vecindad) local cubierta por el método de interpolación y, lo más importante, desconocida; por lo que es filtrada del método de interpolación estableciendo la suma total de los pesos de las muestras igual a 1 (Paredes Hernández *et al.*, 2012):

$$[45] \quad Z^{*ok}(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u) Z(u_{\alpha}) + \left[1 - \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u) \right] m(u)$$

$$= \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u) Z(u_{\alpha}) \text{ con } \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{OK}(u) = 1$$

La interpolación mediante Kriging además de sus inicios en el campo de la minería ha sido probada de manera satisfactoria en variadas temáticas, como es la generación de modelos digitales de la topografía (Paredes Hernández *et al.*, 2012); investigaciones sobre contaminación del aire (Romero, Montes Galbán y Franco, 2007); estudios batimétricos sobre sedimentación de embalses (Romero Méndez y Montes Galbán, 2009). Todas las aplicaciones tienen por finalidad lograr una superficie continua con la variable en estudio mediante la estimación de valores desconocidos a partir de los datos de muestra conocidos en un área determinada.

6.6. Modelado Kernel

Uno de los conceptos centrales del análisis geográfico es el de densidad. El estudio de las distribuciones espaciales tiene como finalidad ver la frecuencia diferencial con que un hecho se produce en el área de estudio, por lo tanto sus densidades varían y pueden brindar explicaciones a las configuraciones observadas.

La densidad en unidades espaciales discretas se calcula a través de una relación entre el valor de la variable y la superficie.

$$[46] \quad D = \frac{v}{s}$$

donde D es la densidad, x es el valor de la variable y s las unidades de superficie. En el cálculo típico de la densidad de población, v se reemplaza por P .

Esta perspectiva tradicional se encuentra fuertemente vinculada a la rigidez que pueden tener las unidades espaciales de captación de datos, en las cuales se considera que el valor de la variable se distribuye de manera homogénea como premisa simplificada de la realidad.

Con el fin de superar esta aproximación en la representación espacial, son propuestas las funciones de estimación de densidad *kernel* (Rosenblatt, 1956; Parzen, 1962) como método de gran aptitud para estimar densidades continuas a partir de puntos localizados (x - y) con valores de atributos (v) de cualquier variable.

Los estimadores *kernel* presentan una alternativa superadora para el cálculo de densidades a partir de un método de interpolación, representación continua a través del uso de funciones y una base raster en la que cada localización asume un valor específico de densidad.

El procedimiento parte de la distribución espacial puntual con valores de atributos (medidos directamente en ellos o asignados a partir de agrupar los valores de un área al centroide), luego se representa cada punto en una tercera dimensión como centro de un volumen que se extiende hasta lo que se considera su alcance espacial, y finalmente se calculan los valores de densidad para cada localización para su mapeo en una representación cartográfica continua.

La función adopta una perspectiva no-paramétrica y simétrica con centralidad en x . La estimación de la densidad se realiza considerando la siguiente fórmula.

$$[47] \quad \hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

donde x es la localización donde se estima la densidad, x_i es el valor de la variable, $k()$ es la función *kernel* centrada en x y h el ancho de banda, también considerado como parámetro de suavización. Esta función se presenta estandarizada cumpliendo la siguiente condición de probabilidad en el interior de su alcance espacial.

$$[48] \quad \int_{-\infty}^{\infty} K(x) dx = 1$$

El procedimiento genera una pauta global de la distribución espacial de la densidad a partir del estimador kernel el cual determina la forma del volumen y el ancho de banda como extensión espacial de la función. En base a los valores utilizados el resultado debe encontrarse en un sector intermedio entre la máxima rugosidad y la máxima suavización.

Existen diferentes tipos de funciones Kernel, entre ellas los más representativas son la *uniforme*, de forma rectangular [49], *triangular* [50], *Epanechnikov*, de forma parabólica [51], Cuartico, llamada de doble peso (*biweight*) [52], de triple peso (*triweight*) [53] y Gaussiana [54].

$$[49] \quad K(u) = \frac{1}{2}$$

$$[50] \quad k(u) = (1 - |u|)$$

$$[51] \quad k(u) = \frac{3}{4}(1 - u^2)$$

$$[52] \quad k(u) = \frac{15}{16}(1 - u^2)^2$$

$$[53] \quad k(u) = \frac{35}{32}(1 - u^2)^3$$

$$[54] \quad k(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2}$$

Desde un punto de vista cartográfico se obtiene un mapa de densidades continuas que provee una perspectiva estructural a través de la visualización.

Según Bailey y Gatrell (1995) indican que el valor h puede ser obtenido automáticamente mediante un cálculo que optimice un balance entre la confiabilidad del estimador en compensación al detalle espacial captado.

$$[55] \quad h = 0,68 \times n^{-0,2}$$

A pesar de que la definición puede ser estandarizada, siempre se recomienda un análisis exploratorio a partir de realizar varias pruebas con diferentes anchos de banda, es decir, que el nivel de compensación entre pautas globales y locales quedaría siempre controlado a partir de las consideraciones teóricas del investigador.

7. ACCESIBILIDAD E INTERACCIÓN ESPACIAL

Los procedimientos presentados en este punto constituyen una herramienta de importancia para aportar al desarrollo regional a partir de analizar la integración de los diferentes sitios de un área de estudio, la cual no solo tiene relación con las distancias físicas sino también con las verdaderas posibilidades de conexión.

Las posibilidades económicas y sociales de una población tienen relación a la facilidad de movimientos que puedan realizarse. Espacios geográficos lejanos, pero con buenas conexiones, pueden tener beneficios en la interacción y, de forma inversa, espacios cercanos con dificultosa accesibilidad carecerán de muchos beneficios. El análisis espacial proporciona herramientas para medir las diferentes accesibilidades y modelar la interacción en diferentes escalas de análisis.

Desde un punto de vista teórico se hace necesario considerar la existencia de un *espacio relativo* que permita la realización de mediciones basadas en diferentes sistemas de referencia. Esta especialidad generó una rama del análisis espacial denominada *Macrogeografía* (Warntz, 1975) en la que fueron integrados modelos provenientes de las ciencias físico-

matemáticas al estudio de la interacción entre entidades localizadas en el espacio geográfico.

Desde un punto de vista metodológico se verifica un avance desde las mediciones de accesibilidad simples (realizadas sobre un espacio ideal) y de accesibilidad reales (medidas considerando la fricción espacial) hasta los modelos denominados de interacción, basados en cálculos de unidades de flujo espacial y del potencial de población. Todos ellos permiten responder cuales son los lugares de mayor-menor accesibilidad, como se aparta la accesibilidad real de la ideal, como es la interacción esperada para un lugar respecto de otros y como queda representado el espacio relativo en la cartografía.

7.1. Macroeografía

El análisis de la interacción espacial en contextos regionales se encuentra vinculado con la consideración de cuatro componentes fundamentales: localización (posición), distancias, población y tiempos de conexión como indicador de la fricción espacial.

Estos factores permiten identificar sistemas de relaciones generales que llevaron a conceptualizar la existencia de una *Macroeografía* de los fenómenos sociales a fin de estudiar comportamientos espaciales en escalas regionales para luego intensificar la especificidad hacia espacios locales.

Según Aneas (1994) los lineamientos distintivos para la Macroeografía, y con ella metodológicamente para el potencial de población, son: (a) una connotación holística no asimilable a una escala determinada, (b) los elementos del sistema tienen coherencia funcional, y (c) el conjunto espacial tiene unidad orgánica.

Esta lógica de análisis está claramente relacionada con el *método deductivo* al transitar un camino que parte de lo general y se dirige hacia lo particular en la construcción de conocimientos e incorpora leyes espaciales tomadas de la Física para aplicarlas al espacio geográfico.

Tanto la consideración de un *espacio relativo* como la perspectiva macrogeográfica posibilitaron el desarrollo de la llamada *física social*,

campo de estudio en el cual fueron propuestas gran parte de las resoluciones cuantitativas que se detallan en las aplicaciones y en las cuales el concepto de fricción espacial subyace a los resultados.

7.2. Relaciones entre distancias ideales y reales

La base de estas mediciones está dada por la distancia entre dos localizaciones, la cual puede considerarse como medida de accesibilidad:

$$[56] \quad A_i = dr_{ij}$$

Donde A_i es la accesibilidad a la localización i y dr la distancia mínima entre las localizaciones i - j , siendo que en los modelos de localización-asignación i puede ser considerado en punto de oferta de bienes o servicios y j la localización de la demanda potencial.

Una primera línea de análisis tiene resolución a partir del cálculo de índices basados en relaciones de distancias entre diferentes localizaciones puntuales en un área de estudio. Las aplicaciones realizada por Calvo Palacios *et al.* (1992), Buzai, Baxendale y Mierez (2003) y Ramírez (2009) presentan ejemplos ilustrativos.

El vínculo de menor longitud entre dos localizaciones es una línea recta, la cual muy pocas veces corresponde con la situación de transito real. En este sentido, el análisis de la relación entre las distancias ideales (di) y las distancias reales (dr) mínimas constituye una alternativa válida al momento de verificar el grado de eficiencia en la estructura de la red.

Son dos las mediciones que permiten estudiar esta situación: la accesibilidad ideal (AI) y la accesibilidad real (AR). Ambas muestran una mayor accesibilidad cuando presentan valores menores dentro del conjunto de resultados para la totalidad de localizaciones del área de estudio.

$$[57] \quad AI_i = \sum_{j=1}^n di_{ij}$$

donde AI_i es la accesibilidad ideal para la localización i , di_{ij} corresponde a las

distancias ideales entre la localización i y todas las demás j en área de estudio. Como puede analizarse, este índice genera un valor de distancia para cada localización, el cual muestra mejores condiciones en los valores menores. Desde un punto de vista geográfico, estas localizaciones son aquellas desde las cuales se debe recorrer una menor cantidad de distancia para acceder al resto.

$$[58] \quad AR_i = \sum_{j=1}^n dr_{ij}$$

La fórmula de la accesibilidad real para la localización i tiene las mismas propiedades que [57]. Considera las distancias reales (dr) entre las localizaciones i - j , que se miden sobre las vías de comunicación.

En cuanto a la oferta espacial de bienes y servicios, a la fórmula anterior se le agrega el valor de demanda potencial:

$$[59] \quad A_t = \sum_{j=1}^n dr_{ij} * p_i$$

donde A_t es la accesibilidad total, dr las distancias reales y p_i la población de demanda en el sitio i .

La relación entre los dos resultados de accesibilidad calculados para cada localización permite obtener valores que indican la eficiencia espacial en la posición que cada una ocupa en el sistema. Dos tipos de mediciones pueden ser realizadas a partir del índice de calidad en la comunicación (ICC) y el índice de trayectoria (IT).

Ambos obtienen sus mejores situaciones cuando presentan resultados que se aproximan a 1, es decir, cuando tengan mayor semejanza en sus longitudes.

$$[60] \quad ICC_i = \frac{AI_i}{AR_i}$$

donde ICC_i es el índice de calidad en la comunicación para la localización i , AI_i es la accesibilidad ideal y AR_i es la accesibilidad real, ambos para la

localización i . Al ser siempre $AI_i \leq AR_i$ el valor del índice será $0 \leq CC_i \leq 1$ y se presentará más favorable cuanto más se acerque al valor máximo. El IT se obtiene de forma inversa.

$$[61] \quad IT_i = \frac{AR_i}{AI_i}$$

donde IT_i es el índice de trayectoria para la localización i . La relación inversa entre la accesibilidad ideal y la accesibilidad real presenta resultados de $IT_i \geq 1$, lo cual desde un punto de vista proporcional indica el porcentaje de longitud mayor en la que se aparta la situación real de la ideal.

Estas relaciones tienen su equivalente para el análisis del sistema de localizaciones puntuales con similares propiedades.

$$[62] \quad AI_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n di_{ij}$$

$$[63] \quad AR_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n dr_{ij}$$

$$[64] \quad ICC_r = \frac{AI_r}{AR_r}$$

$$[65] \quad IT_r = \frac{AR_i}{AI_i}$$

De la misma forma que para el caso de las localizaciones individuales, los resultados finales para el análisis del conjunto serán $0 \leq ICC_r \leq 1$ y $IT_r \geq 1$ con similares formas de interpretación.

7.3. Flujos entre localizaciones

Es posible estimar el nivel de interacciones que existen entre las diferentes localizaciones. Para ello estudios empíricos realizados llegan a la propuesta de utilización geográfica de fórmulas generadas en el ámbito de la teoría de la gravitación propuesta por Newton. La fórmula vincula pesos y distancias.

$$[66] \quad I_{ij} = k \frac{M_i M_j}{d_{ij}^a}$$

donde I_{ij} es flujo de interacción, M_i y M_j son las masas (pesos) de dos localizaciones, d_{ij} es la distancia que las separa y k y a son parámetros que sirven para ajustar la fórmula a situaciones empíricas. El primero permite ajustar el resultado teórico a un valor real a partir de su proporcionalidad, mientras que el segundo actúa sobre la fricción con la distancia, exponentes más grandes indicarían fricciones espaciales mayores. La fórmula de mayor generalización en aproximaciones empíricas tiene cambios.

$$[67] \quad I_{ij} = \frac{P_i P_j}{d_{ij}^2}$$

Donde P es el valor de población, considera $k=1$ sin ajustes a una situación empírica y $a=2$ considerando el cuadrado de la distancia de acuerdo a la formulación original.

7.4. Potencial de población

A las medidas presentadas en el punto anterior, utilizadas para el análisis de la accesibilidad entre localizaciones de un área de estudio, se le pueden sumar el modelo de *potencial de población*, el cual mide la interacción potencial de una localización respecto del total de localizaciones y que se considera en la actualidad una de las líneas centrales en el estudio de la accesibilidad.

El valor de ponderación que se le asigna a cada localización es su magnitud poblacional, este valor, que en los modelos cuantitativos

representa la demanda potencial que genera la aparición de bienes y servicios de diferente nivel de especialización según la jerarquía de entidades geográficas. Entonces, la población puede ser considerada un peso síntesis de variadas actividades, por lo que pueden ser considerados otros valores vinculados a sectores específicos.

La medida básica de potencial de población (PP) para cada localización cuenta con dos componentes, su propia población como potencial propio (P) y uno de interacción como potencial interlocalizaciones (PI)

$$[68] \quad PP_i = P_i + PI_i$$

Siendo

$$[69] \quad PI_i = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{d_{ij}}$$

donde PP_i es el potencial de población para la localización i . P_i es la población en la localización como potencial propio, P_j es la población de cada una de las otras localizaciones y d_{ij} es la distancia entre las localizaciones i y j .

Aplicaciones ilustrativas se encuentran en los trabajos de Gamba (2004) a nivel nacional y Principi (2018) a nivel regional. Los procedimientos de cálculo presentados tienen la finalidad de ser aplicados para descubrir los vínculos entre estructuras puntuales en un espacio relativo, resultando de gran utilidad para la modelización de intervenciones de planificación en el espacio geográfico.

8. ESTRUCTURAS ESPACIALES

8.1. Análisis de vecindad

La aplicación del método del vecino más próximo hace evidente la estructura espacial de un área de estudio a partir de las distancias entre localizaciones puntuales del área de estudio. Permite determinar asociaciones espaciales de cercanía y con ello realizar una aproximación al espacio funcional considerando que la interacción espacial de cada localización se producirá inicialmente con la localización más cercana.

La técnica fue creada en el ámbito el análisis ecológico de poblaciones por Clark y Evans (1954) y tuvo una gran difusión en múltiples casos de aplicación en los cuales se cuenta con puntos distribuidos espacialmente en una región. En el ámbito geográfico la principal aplicación se orienta a la distribución espacial de ciudades en un espacio regional.

El procedimiento se basa en el cálculo del promedio de las distancias medidas empíricamente, como realidad observada [70] en relación con la distancia promedio teórica o esperada, si la distribución espacial de los puntos fuese aleatoria, obtenida con la aplicación de [71].

$$[70] \quad \bar{d}_o = \frac{\sum d_{vp}}{n}$$

$$[71] \quad \bar{d}_a = \frac{1}{2\sqrt{\frac{n}{A}}}$$

donde $\bar{d}_o$ es la distancia media observada, d_{vp} la distancia entre los vecinos más próximos, n el número de puntos, $\bar{d}_a$ es la distancia media aleatoria y A la superficie del área de estudio.

El índice de vecindad (I_v) se calcula dividiendo los dos resultados obtenidos.

$$[72] \quad I_v = \frac{\bar{d}_o}{\bar{d}_a}$$

Los valores del índice varían de la siguiente forma: Concentración máxima $I_v=0$ al ser $\bar{d}_o = 0$, distribución espacial aleatoria $I_v=1$, ya que $\bar{d}_o = \bar{d}_a$ y dispersión máxima $I_v=2,15$.

Ante la necesidad de comparar resultados entre áreas de estudio de diferente superficie y con diferentes cantidades de localización de puntos se debe avanzar en la realización de un test estadístico para comprobar o rechazar la hipótesis nula [73] la cual indica que la distribución espacial observada no difiere de la aleatoria, es decir, que el valor de I_v no se diferencia significativamente de 1, mientras que la hipótesis alternativa [74] que enuncia lo contrario.

$$[73] \quad H_0 = (\bar{d}_o = \bar{d}_a)$$

$$[74] \quad H_1 = \bar{d}_o \neq \bar{d}_a$$

Se realiza el cálculo del estadístico con $n-1$ grados de libertad.

$$[75] \quad z = \frac{\bar{d}_o - \bar{d}_a}{EE_{\bar{d}}}$$

$$[76] \quad EE_{\bar{d}} = \frac{0,26136}{\sqrt{n \frac{n}{A}}}$$

donde n es el número de puntos, $EE_{\bar{d}}$ es el error estándar de la distancia media al vecino más próximo, A es la superficie del área. Véase que n/A es una medida de densidad de puntos por unidad de superficie en el área de estudio que se multiplica por n y el cálculo puede ser reemplazado por n^2/A .

Con estas fórmulas puede calcularse el estadístico z como variable normal estandarizada con una probabilidad de 0,682 y 0,954 que el valor se encuentre entre $\pm 1\sigma$ y $\pm 2\sigma$ respectivamente y los valores críticos se cotejan con los valores de la distribución normal. Considerando el valor t de Student para $\alpha = 0,05$ de nivel de confianza se toma una decisión sobre la aceptación o rechazo de H_0 :

Podemos mencionar que más allá de la estructura evidenciada, también puede ser considerado como un análisis de encadenamiento de unidades espaciales (*linkage*) para lograr una regionalización basada en los vínculos de distancia.

8.2. Análisis por cuadrantes

La aplicación del método de cuadrantes resulta de utilidad para verificar si la estructura espacial de un área de estudio a partir de concentraciones en la distribución de entidades puntuales se produce con un patrón propio que se encuentre alejado a la aleatoriedad.

Si bien la técnica fue aplicada inicialmente en el ámbito de la ecología vegetal hacia la década de 1920 para el estudio de la distribución espacial de las comunidades vegetales, se incorpora con fuerza en los estudios geográficos cuatro décadas después en el contexto del paradigma cuantitativo inicialmente para el análisis urbano a escala regional. Thomas (1977) ha publicado la primera sistematización del método, sirviendo de base a los posteriores aportes didácticos.

Para medirlo se utiliza el test χ^2 (Chi-cuadrado) que permite realizar una clara comparación entre las frecuencias observadas empíricamente y las frecuencias esperadas. El método se desarrolla en Ostuni, Civit y Manchón (1982), Gámir Orueta, Ruiz Pérez y Seguí Pons (1995) y Santos Preciado y García Lázaro (2008).

El procedimiento de cálculo inicia con la superposición de una cuadrícula que cubra la totalidad del área de estudio. El tamaño de la celda tendrá clara influencia en el cálculo realizado, por tal motivo puede ser utilizada una medida estándar [77] para calcular un valor óptimo del lado de celda.

$$[77] \quad l = \sqrt{\frac{2A}{n}}$$

donde l es el tamaño del lado de la celda, A la superficie del área y n la cantidad de entidades puntuales.

Con los componentes básicos se calcula un cociente de densidad de puntos [78] por unidad de superficie.

$$[78] \quad \lambda = \frac{n}{c}$$

donde λ es la densidad de puntos obtenida relacionando la cantidad de localizaciones puntuales (n) y la cantidad de celdas (C).

Se calcula la distribución de frecuencias (f_o) contabilizando cuántas celdas hay con 0, 1, 2, 3, ..., n puntos en su interior y utilizando la función de probabilidad de Poisson [79], también llamada *ley de probabilidades pequeñas*, se construye la frecuencia teórica.

$$[79] \quad P(k) = \frac{\exp^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

donde λ fue definida en [2] y k es el valor de la cantidad de puntos que puede tener una celda en su interior como cantidad de sucesos en el espacio, de 1 a n .

Se calculan las diferencias entre la frecuencia observada y las frecuencias teóricas y se elevan al cuadrado como paso previo para el cálculo de χ^2 [80] con la finalidad de verificar su significancia.

$$[80] \quad \chi^2 = \sqrt{\frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}}$$

Por último se verifica el apartamiento que el resultado tenga respecto del que proporciona la distribución aleatoria a partir de consultar los valores críticos de χ^2 con $c-2$ grados de libertad, generalmente con un nivel de significación $\alpha = 0,05$. Si el valor es superado se confirma que la distribución medida no es aleatoria con muy baja probabilidad de que se produzca de esa manera.

8.3. Autocorrelación espacial

El concepto de autocorrelación espacial se basa en la afirmación que considera que en el espacio geográfico todo se encuentra relacionado con todo, pero los espacios más cercanos están más relacionados entre sí que con los más alejados. Esta consideración fue presentada por Tobler (1970) como la primera ley de la Geografía.

Si bien este principio funciona con claridad en variables físico-naturales, mientras que en el análisis socioespacial (variables sociales, demográficas, económicas, entre otras) este aspecto debe medirse en cada caso de estudio en particular debido a que los aspectos humanos pueden apartarse de esta ley con mayor facilidad.

En un análisis de autocorrelación espacial no se intenta medir la asociación entre dos variables diferentes en un mismo espacio, sino la correlación que una misma variable tiene entre unidades espaciales contiguas, es decir, su propio comportamiento en una perspectiva horizontal.

Demuestra de qué manera influye la contigüidad espacial en cada variable analizada al poner atención en una unidad espacial considerada central y sus vecinas, a partir de lo cual pueden aparecer las siguientes situaciones: (1) Similitud: El valor de las unidades espaciales vecinas es próximo y por lo tanto se verifica una *autocorrelación espacial positiva*, (2) Disimilitud: El valor de las unidades espaciales vecinas es muy lejano, existiendo un comportamiento contrario verificado a través de una *autocorrelación espacial negativa* y (3) Aleatoriedad: No se comprueba autocorrelación espacial.

Una autocorrelación espacial positiva y negativa indican una tendencia al agrupamiento y la dispersión respectivamente. En este sentido, todo procedimiento de medición de la existencia de autocorrelación espacial intenta verificar que la distribución obtenida no se produce de forma aleatoria.

El procedimiento básico de autocorrelación espacial corresponde a una perspectiva univariada, aunque también existe la posibilidad de realizar un cálculo bivariado en donde se utilizan los datos de dos variables, uno para la unidad espacial central y otro para sus vecinos.

8.3.1. Comprobación de la dependencia espacial

Habiendo definido una variable de interés, y de la cual se dispone de valores en cada una de las unidades espaciales, un método sencillo presentado por Berry (1999) permite comprobar sus vínculos.

Se debe calcular la diferencia (dif) entre el valor (v) que tiene una unidad espacial i y la de los vecinos j [81], luego el total de las diferencias (TD) [82].

$$[81] \quad dif_{ij} = v_i - \bar{v}_j$$

$$[82] \quad TDiff_{ij} = \sum dif_{ij}$$

Calcular el promedio de los valores del área de estudio [83], las diferencias entre cada unidad espacial considerada como central [84] y el total de las diferencias [85]

$$[83] \quad \bar{v} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n}$$

$$[84] \quad dif_{i\bar{x}} = v_i - \bar{v}$$

$$[85] \quad TDiff_{i\bar{x}} = \sum dif_{i\bar{x}}$$

La comprobación de una dependencia espacial (DE) estaría dada por la comparación entre los resultados de [82] y [85] en la siguiente relación.

$$[86] \quad DE \rightarrow TDiff_{ij} < TDiff_{i\bar{x}}$$

Si el total de las diferencias entre cada unidad espacial con el promedio de las unidades espaciales vecinas es menor que con el promedio del área de estudio se considera que la cercanía interviene en el resultado y en este caso se comprueba la existencia de dependencia espacial.

8.3.2. Índice I de Moran

Es el principal índice para medir la autocorrelación espacial. Su propósito es comparar los valores de cada localización con los valores presentados por las localizaciones contiguas en base a la siguiente fórmula.

$$[87] \quad I = \frac{n\Sigma_{(c)}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{J\Sigma(x - \bar{x})^2}$$

donde I es el valor de autocorrelación, n es la cantidad de unidades espaciales, J la cantidad de límites, x_i el valor de la variable en la unidad espacial, $\bar{x}$ es la media, x_i y x_j son los valores de unidades espaciales limítrofes.

La significatividad del índice I se obtiene con la aplicación de un test de normalidad a partir de contrastar los valores del índice de Moran observado $O(I)$ y el que se produciría aleatoriamente, considerado como esperado $E(I)$:

$$[88] \quad E(I) = \frac{-1}{n-1}$$

Con la finalidad de obtener un puntaje normalizado en una *hipótesis nula de normalidad* se calcula el desvío estándar de la siguiente forma:

$$[89] \quad \sigma_{I,n} = \sqrt{\frac{n^2J + 3J^2 - n\Sigma L^2}{J^2(n^2 - 1)}}$$

Donde σ_I es el desvío estándar de I , n la cantidad de unidades espaciales, J la cantidad de límites y L la cantidad de límites que tiene una unidad espacial.

Con la finalidad de obtener un puntaje normalizado en una *hipótesis nula de aleatoriedad* se calcula el desvío estándar de la siguiente forma:

$$[90] \quad \sigma_{I,a} = \sqrt{\frac{n[J(n^2 + 3 + 3n) + 3J^2 - n\Sigma L^2] - k[J(n^2 - n) + 6J^2 - 2n\Sigma L^2]}{J^2(n-1)(n-2)(n-3)}}$$

Donde se agrega k como curtosis de la variable x [91], como grado de concentración de los valores de una variable en un sector de la distribución de frecuencias.

$$[91] \quad k = \frac{\sum(x - \bar{x})^4}{n\sigma^4}$$

Donde los valores de diferencia respecto de la media se elevan a la cuarta potencia, σ es el desvío estándar y n la cantidad de valores.

Al obtenerse estos valores puede obtenerse un puntaje z de estandarización utilizando el desvío estándar para ambos casos.

$$[92] \quad z = \frac{I - E(I)}{\sigma_I}$$

Un valor positivo muestra una tendencia hacia la agrupación y un valor negativo a la dispersión y una vez obtenido el valor estandarizado se compara el resultado con los valores críticos de una variable normal estandarizada z , de esta manera se podrán ver sus niveles de significancia con la finalidad de comprobar su apartamiento a la situación de aleatoriedad y rechazar una hipótesis nula de H_0 de normalidad o H_0 de aleatoriedad frente a H_1 de no normalidad y H_1 de no aleatoriedad (significatividad que comprueba la existencia de autocorrelación espacial).

Es posible profundizar el análisis de la identificación de patrones locales de asociación espacial a partir del cálculo LISA (*Local Indicators of Spatial Association*) (Anselin, 1995) como método que fragmenta el valor de autocorrelación global y verifica cuanto contribuye cada unidad espacial. LISA [7] en la localización espacial (L_i) para la variable x_i es una función de los valores observado en sus unidades espaciales limítrofes J_i .

$$[93] \quad L_i = f(x_i, x_{J_i})$$

Los límites J_i para cada observación están tomados de la matriz W de contigüidad espacial. El avance en la metodología permite determinar cúmulos espaciales locales denominados *hot-spots* y *cold-spots*

en agrupamientos de valores altos y bajos respectivamente de acuerdo con la aplicación:

$$[94] \quad L_i = z_i \sum w_{ij} z_j$$

Las mediciones se realizan a partir de observaciones en datos estandarizados z_i y z_j para unidades espaciales contiguas definidas por los pesos de w_{ij} . De esta manera valores positivos y negativos estarían indicando relaciones espaciales similares y contrapuestas respectivamente.

9. DIMENSIÓN TEMPORAL

9.1. En el eje del tiempo

La dinámica temporal atraviesa todas las metodologías presentadas en este apartado cuando el análisis se realiza en diferentes configuraciones espaciales que se presentan a lo largo del tiempo. En general las aplicaciones permiten evaluar una situación del presente, pero las aplicaciones realizadas a diferentes presentes se superponen con la finalidad de captar el cambio hasta la actualidad y, con algunas metodologías, evaluar la tendencia futura. En este sentido, los cambios en el tiempo serán vistos a través del movimiento.

Las metodologías son sensibles ante el cambio de las localizaciones por lo que se evidencia que la dimensión espacial interviene en los resultados. Si una entidad geográfica cambia de ubicación o de magnitud en sus atributos, si cambia la fricción espacial o el sistema de referencia en el espacio relativo, los resultados también se modifican.

El *centro medio simple* medido en diferentes momentos mostrará una medida síntesis del movimiento de las localizaciones puntuales cuando estas cambien de sitio o cambien en cantidad. El *centro medio ponderado* mostrará un movimiento en el cual intervienen los pesos de importancia que adquiere cada localización puntual. Las medidas de *dispersión espacial* mostrarán alternancias entre procesos de concentración y dispersión, de allí el concepto de *radio dinámico* a través de un latido del sistema.

El estudio de las *formas* a través de la medición de la *compacidad* mostrará el cambio que se produce por la evolución de una entidad espacial areal. El procedimiento inicialmente fue aplicado a los cambios producidos en los límites político-administrativos, pero pueden ser aplicados a todo uso del suelo. En el caso de la aplicación a las cuencas hidrográficas, ámbito en el cual fueron claramente desarrollados, la forma brindará características hidrográficas específicas.

El cálculo de *polígonos de Voronoi-Thiessen* generará áreas de influencia de diferente tamaño de acuerdo a las distintas distancias entre las localizaciones puntuales vecinas. Si las localizaciones puntuales son centros de servicios que se amplían con el tiempo, las áreas de influencia evolucionarán disminuyendo sus superficies, pero esto no implica que disminuya la demanda potencia ya que también evolucionará la población en aumento. El cálculo de densidades será un requisito para analizar la evolución de la presión poblacional sobre estos centros. También tiene modificación el cálculo de la fórmula de ajuste de Reilly-Huff en base a los valores de población.

Otros métodos de interpolación intentan determinar valores estimados continuos en el total de localizaciones a partir de los valores conocidos en puntos concretos. Estos métodos, como el IDW, Kriging o el cálculo de densidades Kernel, tienen centralidad en el campo de la Geoestadística, una especialidad temática surgida a partir de la búsqueda de herramientas concretas en trabajos de exploración y explotación minera. Estos métodos también demuestran utilidad para la construcción de isolíneas a partir de variables sociales, con lo cual se podrá seguir la evolución en el sistema espacial en variadas líneas de análisis.

El *análisis de vecindad* mostrará una dinámica espacial ante el cambio de localización de los puntos a través del tiempo. Si la aplicación metodológica se considera como una inicial regionalización por encadenamientos de cercanía se accede al concepto de regionalización dinámica. Por su parte, la utilización de cuadrantes para captar las frecuencias espaciales en la distribución puntual permitirá verificar alternancias entre procesos de concentración y dispersión.

La autocorrelación espacial proporciona el nivel de asociación horizontal entre las unidades espaciales del área de estudio y, a partir de los

cálculos realizados, se comprueba una importante ley de la Geografía, la similitud por cercanía. En mapas temporales permitirá ver procesos de difusión. Asimismo podrá evaluarse el aumento o disminución de la segregación-concentración espacial mediante los resultados en el valor del índice.

En síntesis, las metodologías presentadas se utilizan para evaluar una situación presente y considerar la dimensión temporal implica utilizar diferentes presentes con intervalos de tiempo según la disponibilidad de datos y los objetivos del trabajo. El futuro deseable puede evaluarse con cambios realizados en el modelo a modo de exploración hacia la búsqueda de resultados deseados. Estas metodologías analizan el presente y la incorporación de la dimensión espacial hace posible transitar un camino prospectivo en el cual la abstracción modelística sea una herramienta para la planificación.

PARTE 2:

APLICACIÓN

1. ANÁLISIS DE TENDENCIA CENTRAL: CASO DE APLICACIÓN A PARTIR DEL MAPA DE JOHN SNOW SOBRE LA EPIDEMIA DE CÓLERA

Analizar el mapa realizado por John Snow sobre la epidemia de cólera de 1854 en Londres, siempre reviste una gran importancia por tratarse de un hito en la historia de la ciencia en general y especialmente en disciplinas como la Epidemiología, Cartografía y la Geografía. Para esta última, fija un antecedente en la especialidad denominada Geografía de la Salud, así como en la aplicación de métodos de análisis espacial para el reconocimiento de patrones espaciales que posibilitan una aproximación a la verificación de hipótesis con un marcado componente geográfico (Buzai, 2020).

A mediados del siglo XIX, existía la creencia aceptada que el cólera se propagaba a través del miasma en el aire, teoría que afirmaba que las condiciones atmosféricas y los vientos favorecían el desarrollo de enfermedades (Dural, 2003). Esa teoría fue objetada por el médico John Snow, quien después de años de estudios y seguimiento de los brotes de cólera, llegó a plantear la hipótesis que la enfermedad se transmitía por el agua contaminada, aproximándose a su verificación mediante un enfoque espacial con el apoyo de un mapa para analizar la epidemia de cólera de 1854 en el centro de Londres. La validación empírica de su hipótesis se dio cuando las autoridades se convencieron de retirar la palanca de la bomba de agua de Broad Street, la cual suministraba agua del pozo señalado como contaminado, logrando así acción que el número de casos descendiera rápidamente.

A través de este ejercicio de aplicación es posible probar y desarrollar parte del trabajo llevado a cabo por Snow, y demostrar la aplicabilidad del análisis centrográfico para dar respuesta a un interrogante de tipo espacial, lo que a su vez permite introducir alguno de los conceptos y métodos del análisis espacial cuantitativo a partir de una distribución espacial de geometría puntual.

En este caso, el estudio seguirá una línea de desarrollo centrada en un enfoque deductivo, que consiste en derivar la concentración de ubicaciones de muertes por cólera a través de un análisis de tendencia central para luego inferir la asociación con la ubicación de la bomba de

agua de Broad Street (Shiode, Shiode, Rod-Thatcher, Rana y Vinten-Johansen, 2015).

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) ¿Dónde se ubica el centro medio de la distribución espacial de víctimas por la epidemia de cólera de 1854 en Londres? y ¿dónde se ubica el centro medio ponderado de la distribución de casos?
- b) ¿Cuál es el desvío estándar de la distribución de casos por cólera?
- c) ¿Cuál es la tendencia direccional (elipse de dispersión) de la distribución de casos?
- d) En base a los resultados anteriores y partiendo del supuesto hipotético de Snow sobre el origen de la epidemia por agua contaminada ¿qué asociación puede hacerse entre el análisis de tendencia central de la distribución de víctimas y la distribución espacial de las bombas de agua?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base de datos geográfica utilizada en la aplicación corresponde a una sistematización realizada en el marco del Grupo de Estudio sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG) con fines educativos y de investigación histórica (Montes Galbán, 2021b). Se partió del mapa publicado en Snow (1855), disponible en línea (Wikimedia Commons, 2021) en una versión digitalizada con alta resolución. A partir de la fuente citada se digitalizaron las capas¹ que se describen en la tabla 1.

¹Para acceder a la descripción de los procedimientos de sistematización de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile*, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR: https://www.researchgate.net/publication/354784162_Base_de_datos_geografica_Sistematizacion_digital_a_partir_del_mapa_de_John_Snow_sobre_la_epidemia_de_colera_de_1854



Tabla 1. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
Casos_cólera	Puntos - Shapefile	Cantidad de víctimas - Numérico	Montes Galbán (2021b) con base en
Bombas_de_agua	Puntos - Shapefile	Identificación de las bombas de agua (Pozos) – Texto	Snow (1855); Wikimedia Commons (2021)

Fuente: elaboración propia, 2021.

Para el desarrollo de la aplicación se utiliza la herramienta “Coordenada(s) medias(s)” que forma parte del núcleo de herramientas del programa SIG de escritorio *QGIS* (QGIS Development Team, 2020). Asimismo, se utiliza la herramienta “*Spatial Point Pattern Analysis*” (análisis espaciales de patrones de puntos) disponible en las herramientas geoestadísticas de *SAGA* (Conrad *et al.*, 2015) para el cálculo del desvío estándar. Por otro lado, para elaborar la Elipse de dispersión es necesario instalar en el programa *QGIS* el complemento “*Standard Deviation Ellipse (SDE)*” (Elipse de desviación estándar).

Procedimiento

Paso 1: Ingresar a *QGIS*

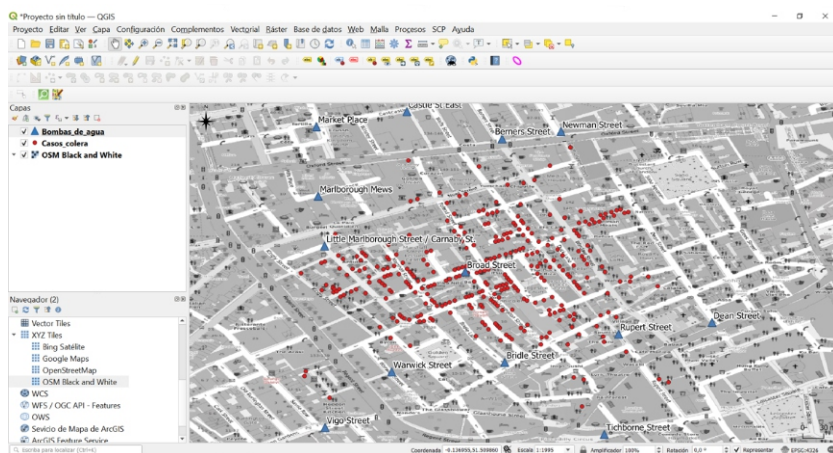
Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

Paso 2: Visualizar las capas con los datos de entrada

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial”  Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta ventana se puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar” , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “Casos_colera” debe seleccionar el archivo con extensión .shp. Finalmente, haga clic en “Abrir” y luego en “Añadir”. Repita el procedimiento para cargar la capa “Bombas_de_agua”. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

Para realizar un análisis de los datos puntuales dentro de su contexto geográfico, se sugiere que cargue el mapa base XYZ Tile “OpenStreetMap” desde el “Panel Navegador (2)” (desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”. Asimismo, para facilitar la interpretación visual de los datos puede cambiar la simbología de las capas (asigne colores diferenciadores) ingresando en las “Propiedades” a través de un clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre de la capa. A la capa “Bombas_de_agua” asígnele las etiquetas que identifican la locación de cada bomba, para lo cual debe ingresar nuevamente en las “Propiedades” de la capa haciendo clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre de la capa, luego seleccione la solapa “Etiquetas” y marque la opción  **Single Labels** en la opción “Valor” seleccione el campo denominado “nombres_ca” y finalmente haga clic en Aceptar.

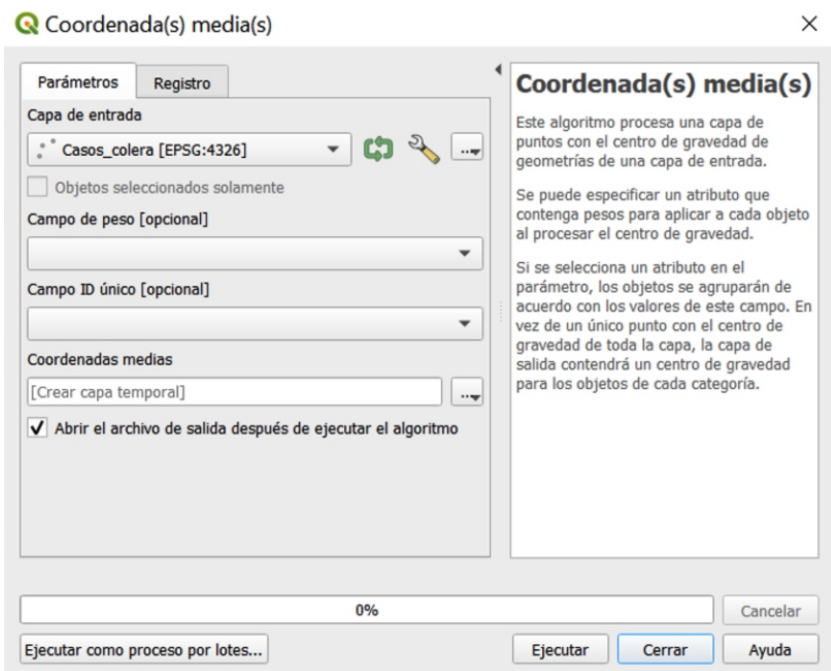
Figura 1.1. Visualización de las capas



Paso 3: Determinar el centro medio simple

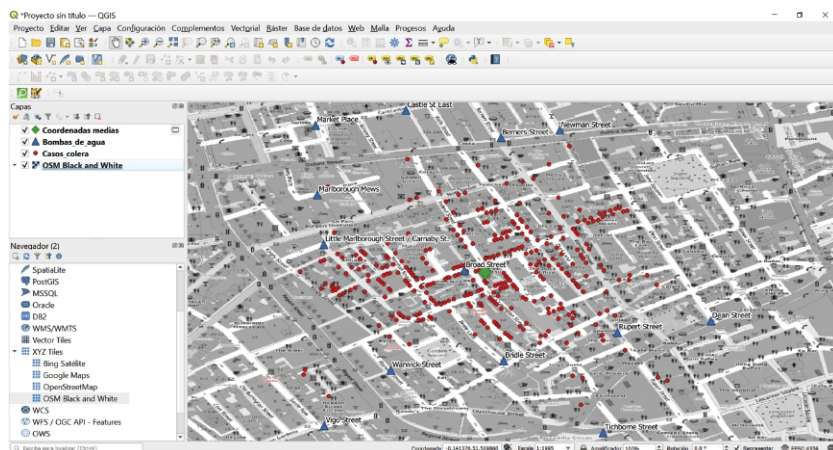
Para determinar el centro medio simple debe ingresar al menú “Vectorial / Herramientas de análisis / Coordenada(s) medias(s)” . Una vez abierta la ventana “Coordenada(s) medias(s)” ingresar en *Capa de entrada* “Casos_colera”, utilizar el resto de las opciones como están por defecto, finalmente haga clic en “Ejecutar” y “Cerrar”.

Figura 1.2. Configuración de parámetros para el cálculo del centro medio simple



El resultado del centro medio simple se muestra en una capa temporal de puntos que se carga de manera automática en el “Panel de capas”, el programa la nombrará por defecto “Coordenadas medias”. El nuevo punto indica la localización del centro (Centro de gravedad) de la distribución espacial de los puntos (Casos de cólera) de la capa de entrada.

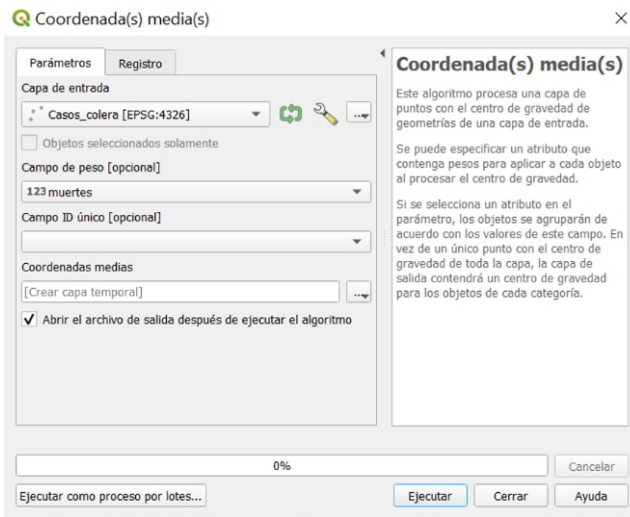
Figura 1.3. Resultado del centro medio simple



Paso 4: Determinar el centro medio ponderado

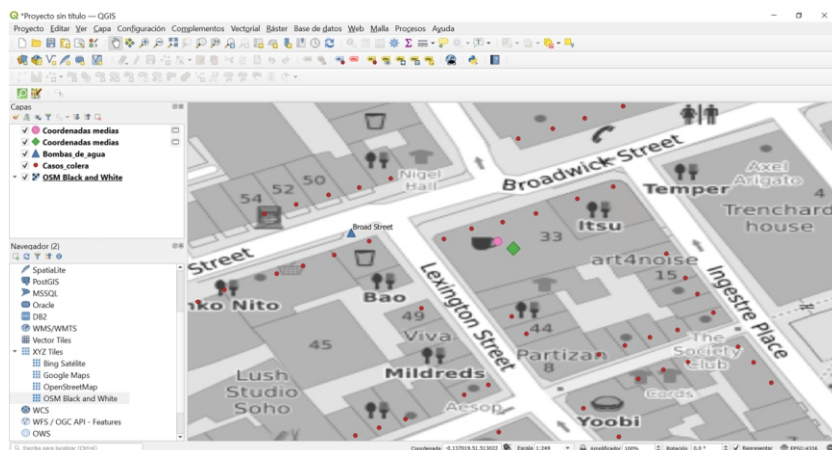
En el resultado anterior se considera que cada punto tiene un mismo peso, sin embargo, también es posible realizar el cálculo considerando pesos individuales diferentes para cada punto (Localización), el cual viene dado por algún atributo asociado a cada lugar, a este cálculo se le conoce como Centro Medio Ponderado. Para realizar su estimación ingrese a al menú “Vectorial / Herramientas de análisis / Coordenada(s) medias(s)” . Una vez abierta la ventana “Coordenada(s) medias(s)” ingresar en *Capa de entrada* “Casos_colera”, en la opción “Campo de peso” seleccione el campo “muertes”, dejar el resto de las opciones como están por defecto, finalmente haga clic en “Ejecutar” y “Cerrar”.

Figura 1.4. Configuración de parámetros para el cálculo del centro medio ponderado



El resultado del centro medio ponderado se muestra en una capa temporal de puntos que se carga de manera automática en el “Panel de capas”, el programa la nombrará por defecto “Coordenadas medias”, se sugiere cambiar la simbología para diferenciarlo del resultado anterior. El nuevo punto indica la localización del centro medio ponderado de la distribución espacial de los casos de cólera, en este caso teniendo en consideración la localización y el número de muertes ocurridos en cada locación. Al realizar un acercamiento con la herramienta de “Zoom” se observa que hay muy poca variación entre los puntos del centro medio simple y el centro medio ponderado.

Figura 1.5. Resultado del centro medio ponderado

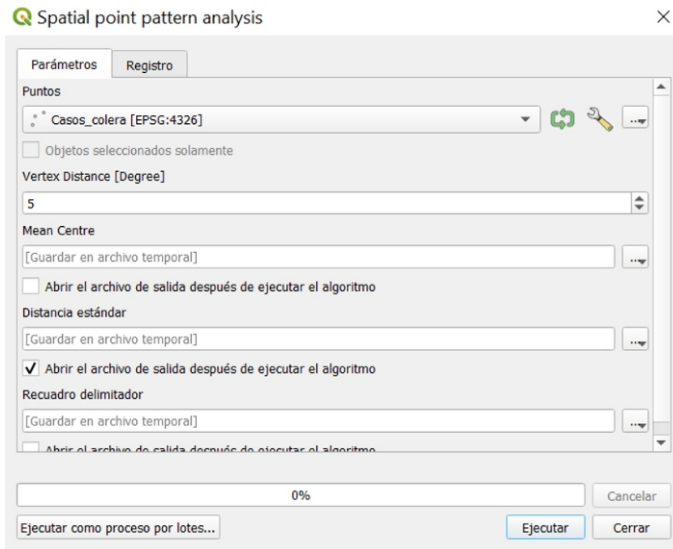


Paso 5: Cálculo del círculo de desvío estándar

Ingresar en el menú “Procesos / Caja de herramientas” se activará una ventana en el margen derecho de la ventana principal de *QGIS*, en la caja de texto debe escribir “*Spatial Point Pattern Analysis*”, aparecerá en la lista de herramientas el módulo buscado, ábralo haciendo doble clic.

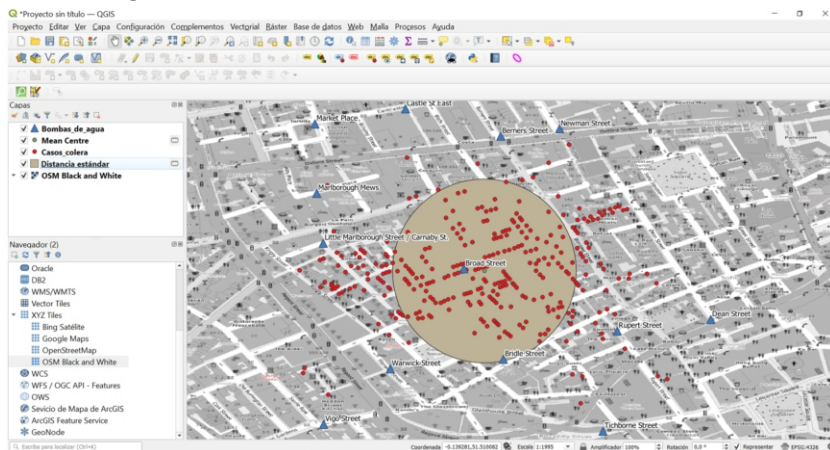
Una vez abierta la ventana de “*Spatial Point Pattern Analysis*” ingresar en “Puntos” la capa “Casos_colera”, en “Vertex Distance” dejar por defecto el valor 5, desmarque el resto de las opciones excepto la “Distancia estándar”, finalmente haga clic en “Ejecutar” y “Cerrar”.

Figura 1.6. Configuración de parámetros para el cálculo del círculo de desvío estándar



El resultado del círculo de desvío estándar se muestra en una capa temporal de polígonos que se carga de manera automática en el “Panel de capas”, el programa la nombrará por defecto “Distancia estándar”, se sugiere colocar la capa generada debajo de la capa “Casos_colera” con la finalidad de facilitar la visualización e interpretación de los resultados. El valor del radio del círculo generado, representa el desvío estándar de la distancia de cada punto (casos) al centro medio (Centro de gravedad). Para conocer el valor del desvío estándar en unidades del mapa, se utiliza la herramienta para “medir líneas” , en este caso se puede constatar que la distancia es de 209,7 metros aproximadamente (medidas cartesianas), este valor por sí solo no indica mucho, sin embargo cuando se está realizando un análisis comparativo entre dos o más casos de estudio o cuando se desea evaluar los cambios temporales de una variable en un área determinada, cobra relevancia este indicador.

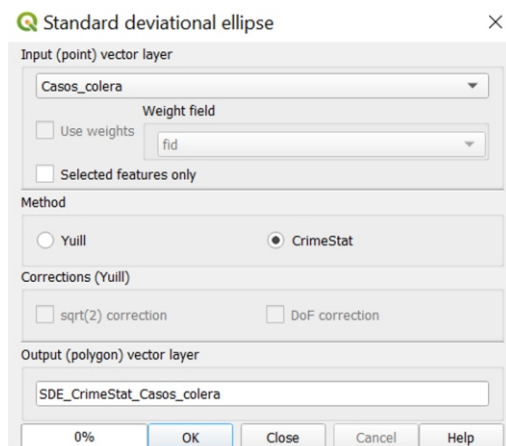
Figura 1.7. Resultado del cálculo del desvío estándar



Paso 6: Cálculo de la elipse de dispersión

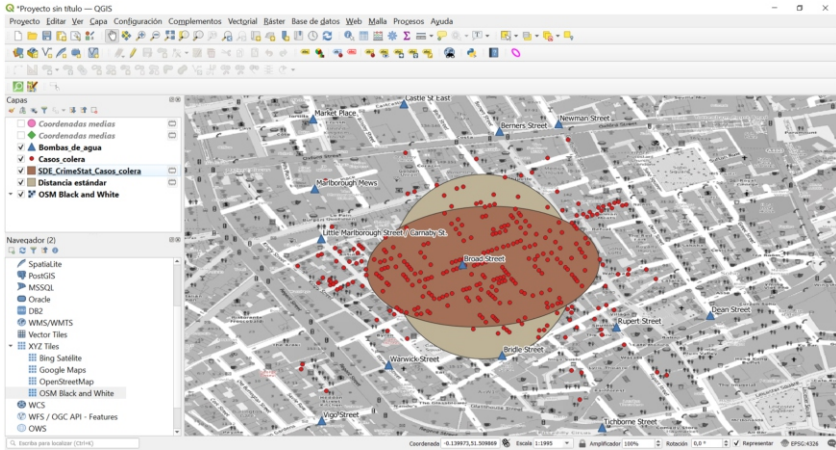
Para calcular la elipse de dispersión se debe ingresar en el menú “Vectorial / *Standard deviational ellipse*”  (recuerde que debe estar instalado el complemento). En la capa vectorial de entrada seleccione “Casos_colera”, en método seleccione la opción “CrimeStat”, dejar el resto de las opciones como están por defecto, finalmente hacer clic en “Ok” y “Close”.

Figura 1.8. Configuración de parámetros para el cálculo de la elipse de dispersión



El resultado obtenido corresponde a la elipse de dispersión, esta permite ver si la dispersión del conjunto de puntos tiene mayor amplitud en una dirección que en otra.

Figura 1.7. Resultado de la elipse de dispersión



Interpretación de los resultados

Los primeros cálculos corresponden al centro medio simple y al centro medio ponderado. Al observar la localización de ambos puntos es posible inferir la asociación con la ubicación de las bombas de agua, y es notoria la proximidad con la ubicación específica a la bomba Broad Street, si bien es cierto que la diferencia es poca entre ambas medidas, la proximidad es mayor en el resultado arrojado por el centro medio ponderado.

Para complementar la interpretación anterior, está el resultado que corresponde al análisis de la dispersión, especialmente aquel que se refiere a la elipse de dispersión, la cual muestra en este caso, que la dispersión espacial de las muertes por cólera tiene una disposición alargada, presentando una mayor amplitud en la dirección este-oeste, que a su vez tiene correspondencia con la orientación espacial de la calle “Broad Street”.

2-A. ANÁLISIS DE FORMA: APLICACIÓN A LA MANCHA DE LUMINOSIDAD URBANA DE LA MEGACIUDAD BUENOS AIRES 1992-2012

Las imágenes nocturnas de la Tierra provenientes de los satélites, constituyen un nuevo instrumento que permite realizar mediciones del objeto de estudio y posteriormente facilitan la aproximación a definiciones espaciales actualizadas, analizando aspectos del crecimiento urbano tradicional como la ciudad compacta y la ciudad difusa (Montes Galbán, 2020).

A través de esta fuente de información relativamente nueva, es posible analizar la extensión, morfología, intensidad y evolución de las coberturas/ usos urbanos del territorio. El objetivo de la presente aplicación consiste en analizar el cambio de la forma en la mancha de luminosidad urbana mediante la utilización de la fórmula [24] del índice de forma “S” descrito en el apartado de teoría (p. 32).

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) ¿Qué valor tiene el índice de forma “S” para la mancha de luminosidad urbana de la Megaciudad Buenos Aires en los años 1992 y 2002?
- b) ¿Cuál es la diferencia relativa del índice de forma en el periodo estudiado?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base de datos utilizada en la aplicación se desarrolló en estudios previos (Buzai y Montes Galbán, 2020b) referidos a la expansión y conurbación del área comprendida por la Megaciudad Buenos Aires, logrado mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales nocturnas. Las coberturas de luminosidad urbana² para los años analizados

² Como el objetivo de este tipo de investigaciones se centra en el conocimiento de la extensión de la superficie urbana a partir de la superficie iluminada y, como no todos los píxeles con valores mayores que cero corresponden a las áreas de cobertura urbana, se estimó un valor mínimo (intensidad lumínica) de referencia ligado a diversas construcciones materiales humanas (Checa y Nel.lo, 2018) que en el presente trabajo se denominan de manera amplia infraestructura gris. Para concretar este paso, era necesario contar con una capa de cobertura urbana que permitiera realizar una superposición sobre las imágenes nocturnas y poder aproximar un valor mínimo como umbral de luminosidad urbana (Buzai y Montes Galbán, 2020b).

se obtuvieron a partir del tratamiento de imágenes *DMSP-OLS*³ de la Tierra por la noche. En la tabla 2 se describen los datos requeridos para el desarrollo de la presente aplicación⁴.

Tabla 2. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
Luminosidad_urbana_BA_1992	Polígonos- Shapefile	Sin datos	Buzai y Montes
Luminosidad_urbana_BA_2012	Polígonos- Shapefile	Sin datos	Galbán (2020b)

Fuente: elaboración propia, 2021.

En este caso todos los cálculos se llevan a cabo con la herramienta “Calculadora de campos”  que forma parte del núcleo de herramientas de *QGIS*.

Procedimiento

Paso 1: Ingresar a *QGIS*

Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

Paso 2: Visualizar las capas con los datos de entrada

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial” . Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta

³Estas imágenes son una composición que se obtiene mediante los sensores denominados OLS (*Operational Linescan System* - Sistema Operacional en Línea) a bordo de la serie de satélites DMSP del Programa de Satélites Meteorológicos del Ministerio de Defensa de los Estados Unidos (*Defense Meteorological Satellite Program*).

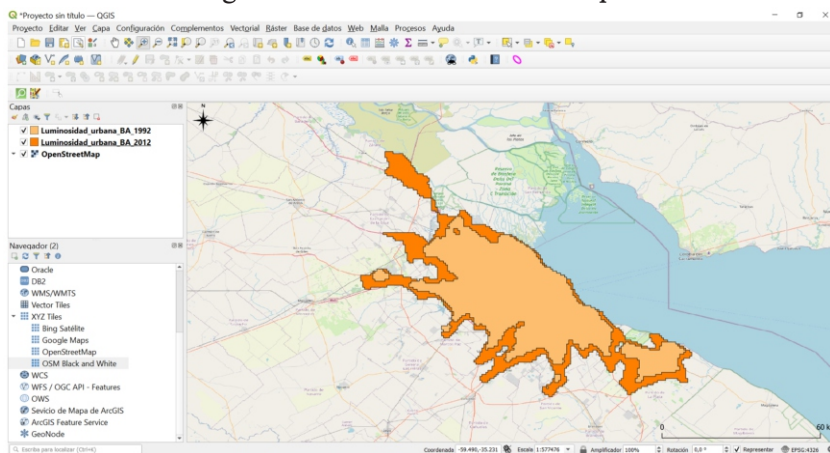
⁴Para acceder al artículo con la descripción de los procedimientos utilizados en la generación de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile*, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR:
https://www.researchgate.net/publication/354934561_Base_de_datos_Megaciudad_Buenos_Aires_cobertura_de_luminosidad_urbana_1992-2012



ventana puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar” , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “Luminosidad_urbana_BA_2012” debe seleccionar el archivo con extensión .shp. Finalmente, haga clic en “Abrir” y luego en “Añadir”. Repita el procedimiento para cargar la capa “Luminosidad_urbana_BA_1992”. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

Para realizar un análisis visual de los datos espaciales dentro de su contexto geográfico, se sugiere que cargue el mapa base *XYZ Tile “OpenStreetMap”* desde el “Panel Navegador (2)” (desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”.

Figura 2.1. Visualización de las capas

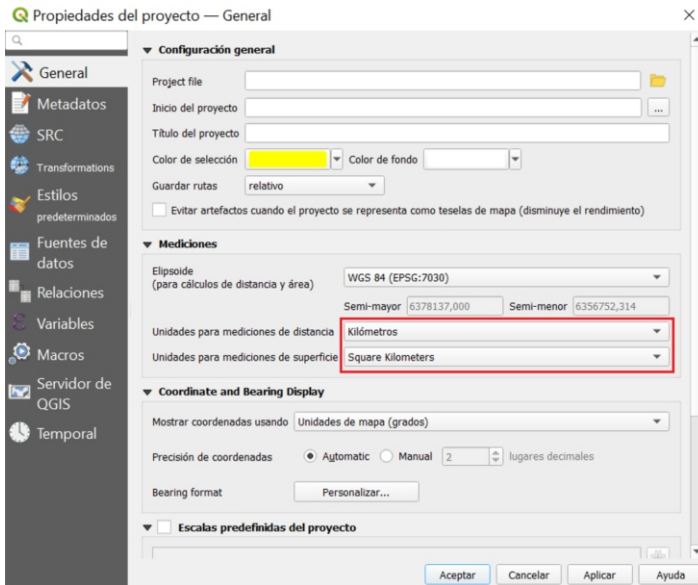


Paso 3: Configurar en el proyecto las unidades de medida (distancia y superficie).

Ingresar al menú “Proyecto / Propiedades...”. Se abrirá la ventana “Propiedades del proyecto”. En la opción “Mediciones” ajustar las unidades para medición de distancia a “Kilómetros” y las unidades para mediciones de superficie a “Kilómetros cuadrados”, esto permitirá que al momento de

realizar los cálculos los resultados se obtengan en el mismo sistema de unidades y en unidades de medida equivalentes. Finalmente haga clic en “Aceptar”.

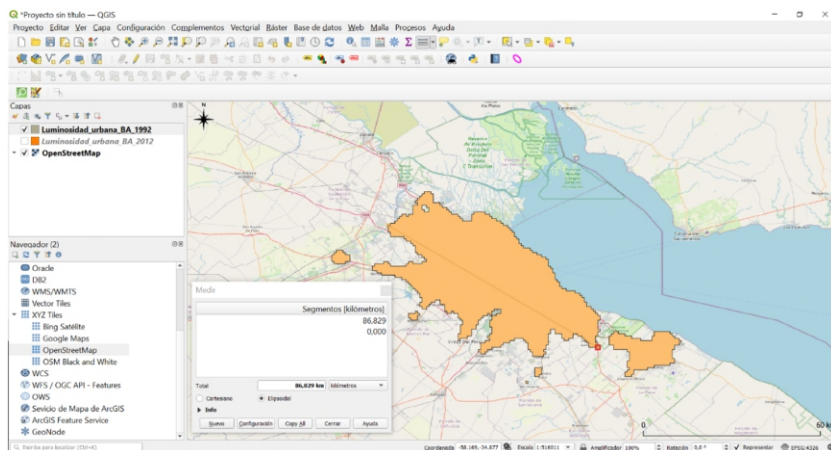
Figura 2.2. Configuración de las unidades de medida



Paso 4: Medir la longitud del eje mayor de la cobertura de luminosidad urbana 1992

En este caso el eje mayor viene dado por el segmento de recta que conecta los dos puntos del perímetro más distantes entre sí (Haggett, 1976), para obtener esta longitud en kilómetros se utiliza la herramienta “medir líneas” . Mida la distancia del polígono central (el de mayor dimensión) en la capa “Luminosidad_urbana_BA_1992”, haga clic en el punto al noroeste más distante, el cual se localiza en las inmediaciones de la localidad de “Pilar”, luego desplace la regla hasta el punto más distante al sureste, el cual se ubica en la localidad “Ingeniero Juan Allan”. Obtendrá una distancia aproximada de 86,83 kilómetros con dirección noroeste – sureste. Cuando realice el procedimiento se sugiere que desactive las otras capas para que no interfieran en la medición.

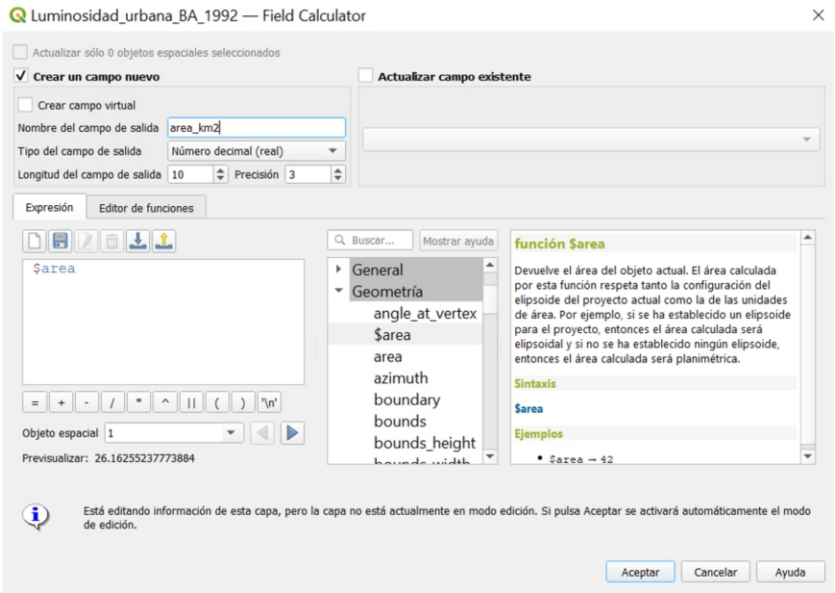
Figura 2.3. Medición en pantalla de la longitud del eje mayor



Paso 5: Cálculo de la superficie de luminosidad urbana de Buenos Aires 1992.

Seleccione la capa “Luminosidad_urbana_BA_1992”, para esto debe hacer clic sobre el nombre de la capa que aparece en el “Panel de capas” (a la izquierda de la ventana principal), la capa seleccionada se resaltará. Abra la “Tabla de atributos” haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos, haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos” . En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “área_km2”, en “tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en la “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego en el menú de funciones seleccione la opción “Geometría/ \$area” para esto debe hacer doble clic sobre “\$area” hasta que aparezca en el panel de “Expresión” que se encuentra a la izquierda. Para finalizar haga clic en “Aceptar”.

Figura 2.4. Ingresar datos en la calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla con los valores de superficie en kilómetros cuadrados para cada registro (filas) de la tabla. En este caso el valor que nos interesa es el de 2.439,323 Km² que se observa en el registro número 3, el cual corresponde al cálculo de superficie del polígono central (mancha lumínica de Buenos Aires).

Figura 2.5. Superficie de luminosidad urbana Buenos Aires 1992

DN	area_km2
1	26.163
2	9.169
3	2439.323
4	7.739
5	248.592
6	0.703

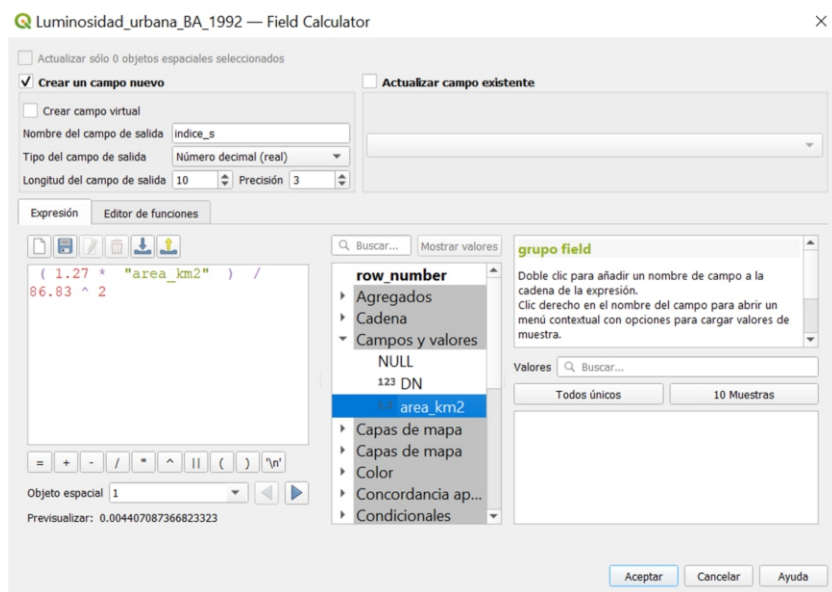
Paso 6: Cálculo del índice de forma “S” de Buenos Aires 1992.

Una vez obtenidos los valores de superficie y de longitud del eje mayor, es posible proceder al cálculo del índice de forma “S”. Haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos”  (esto lo puede realizar desde la barra de herramientas en la ventana principal o en la ventana de la tabla de atributos). En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “indice_s”, en “Tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, en longitud de campo de salida y precisión deje los valores que aparecen por defecto. Luego en la caja de “Expresiones” escriba la siguiente expresión:

$$1.27 * \text{area_km2} / 86.83^2$$

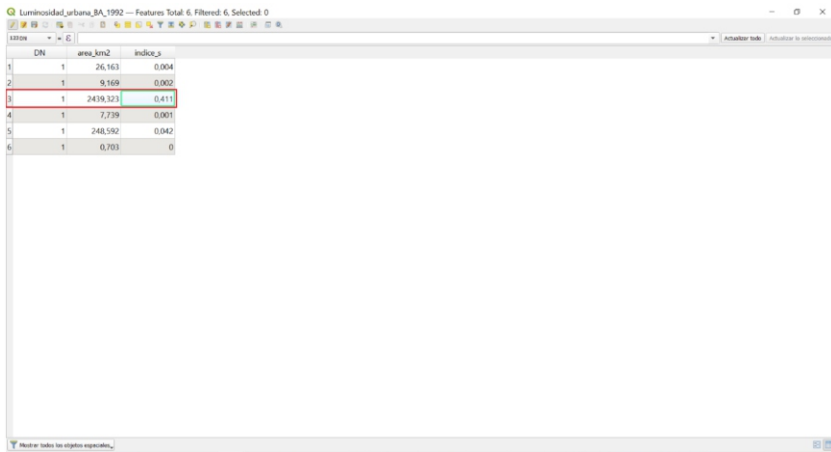
Para ingresar el campo que contiene los valores de superficie (area_km2) debe hacer doble clic sobre el nombre del campo, este se ubica en el menú “Campos y valores / área_km2”. Una vez ingresada toda la expresión, haga clic en “Aceptar” para ejecutar y finalizar el proceso.

Figura 2.6. Ingresar expresión en la calculadora de campos



En la tabla de atributos se obtendrá un nuevo campo (columna) con los valores del índice forma “S” para cada polígono de la capa, sin embargo, el valor que interesa en este caso es el que corresponde al registro (fila) número “3” que representa la mancha urbana central de la ciudad de Buenos Aires, el valor de $S=0,411$. Para finalizar el proceso guarde los cambios  y luego haga clic en “conmutar el modo edición” .

Figura 2.7. Resultado del índice de forma “S” para Buenos Aires 1992

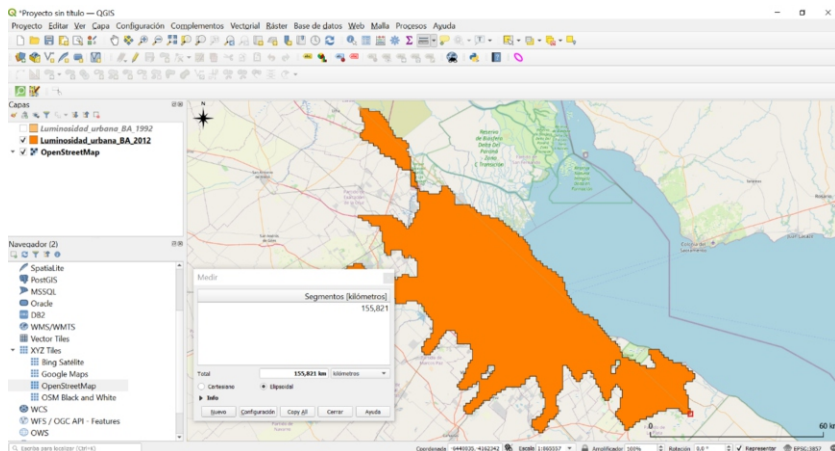


	DN	area_kmq	indice_s
1	1	26,163	0,004
2	1	9,169	0,002
3	1	2439,323	0,411
4	1	7,739	0,001
5	1	248,592	0,042
6	1	0,703	0

Paso 7: Medir la longitud del eje mayor de la cobertura de luminosidad urbana 2012.

Para obtener la longitud en kilómetros se utiliza nuevamente la herramienta “medir líneas” . Mida la distancia del polígono central (el de mayor dimensión) en la capa “Luminosidad_urbana_BA_2012”, haga clic en el punto al noroeste más distante, el cual se localiza al noroeste de la localidad de “Zárate”, luego desplace la regla hasta el punto más distante al sureste, el cual se ubica en la localidad de “Villa Parque Sicardi”. Obtendrá una distancia aproximada de 155,821 kilómetros con dirección noroeste – sureste. Cuando realice el procedimiento se sugiere que desactive las otras capas para que no interfieran en la medición.

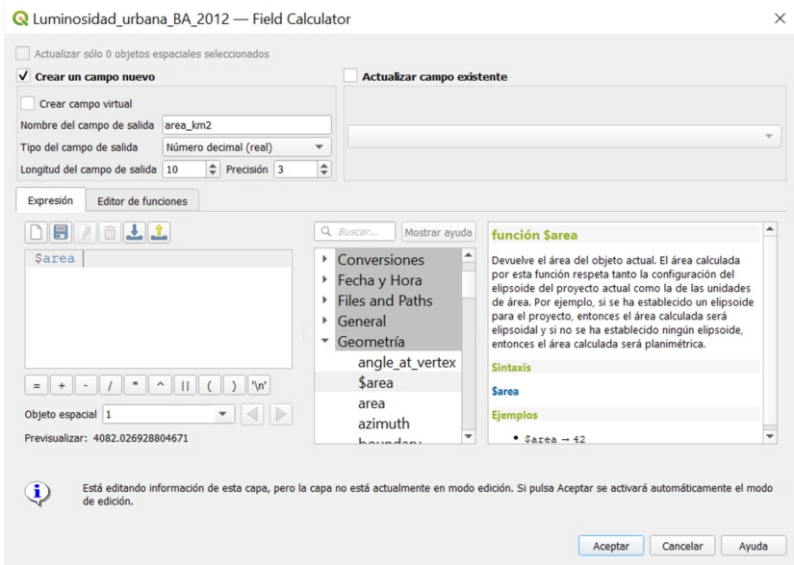
Figura 2.8. Medición en pantalla de la longitud del eje mayor



Paso 8: Cálculo de la superficie de luminosidad urbana de Buenos Aires 2012.

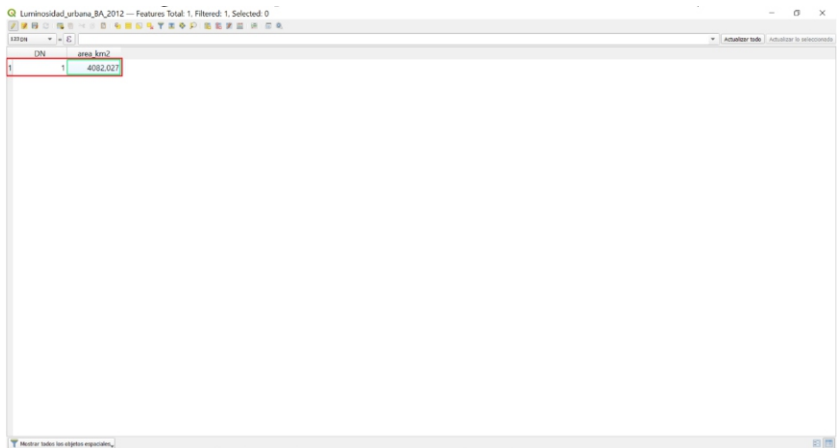
Seleccione la capa “Luminosidad_urbana_BA_2012”, para esto debe hacer clic sobre el nombre de la capa que aparece en el “Panel de capas” (a la izquierda de la ventana principal), la capa seleccionada se resaltará. Abra la “Tabla de atributos” haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos, haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos” . En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “área_km2”, en “Tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en la “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego en el menú de funciones seleccione la opción “Geometría/ \$area” para esto debe hacer doble clic sobre “\$area” hasta que aparezca en el panel de “Expresión” que se encuentra a la izquierda. Para finalizar haga clic en “Aceptar”.

Figura 2.9. Ingresar datos en la calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla con los valores de superficie en kilómetros cuadrados, en este caso solo hay un registro (fila) en la tabla, ya que existe un único polígono. Como se constata en la tabla, la superficie de la mancha lumínica de Buenos Aires para el año de referencia (2012) es de 4082,027 Km².

Figura 2.10. Superficie de luminosidad urbana Buenos Aires 2012



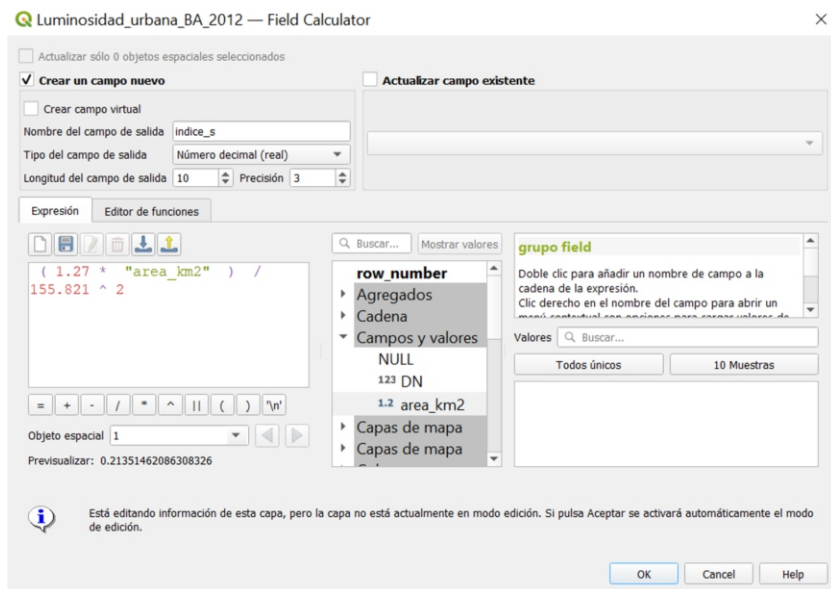
Paso 9: Cálculo del índice de forma “S” de Buenos Aires 2012

Una vez obtenidos los valores de superficie y de longitud del eje mayor, es posible proceder al cálculo del índice de forma “S”. Haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos”  (esto lo puede realizar desde la barra de herramientas en la ventana principal o en la ventana de la tabla de atributos). En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “índice_s”, en “Tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, en “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego en la caja de “Expresiones” escriba la siguiente expresión:

$$1.27 * \text{area_km2} / 155.821^2$$

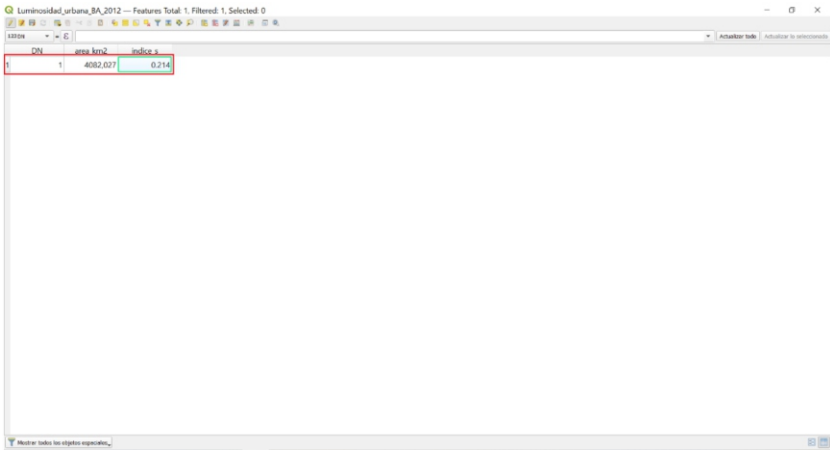
Para ingresar el campo que contiene los valores de superficie (area_km2) debe hacer doble clic sobre el nombre del campo, este se ubica en el menú “Campos y valores / área_km2”. Una vez ingresada toda la expresión, haga clic en “Ok” para ejecutar y finalizar el proceso.

Figura 2.11. Ingresar expresión en la calculadora de campos



En la tabla de atributos se obtendrá un nuevo campo (columna) con el valor del índice forma “S” para el polígono de la capa, en este caso el valor de $S=0,214$. Para finalizar el proceso guarde los cambios  y luego haga clic en “conmutar el modo edición” .

Figura 2.12. Resultado del índice de forma “S” para Buenos Aires 2012



Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos permiten constatar cómo la mancha lumínica urbana de Buenos Aires presenta una evolución espacial de mayor compacidad a menor compacidad, con una diferencia relativa en el índice de forma “S” de -48% en el periodo de veinte años 1992-2012. La ciudad compacta evolucionó hacia la ciudad difusa y al archipiélago urbano (Indovina, 2009) producto de la acelerada expansión urbana que se aleja del centro principal de la ciudad siguiendo las principales vías de comunicación (autopistas, rutas y vías ferroviarias).

2-B. ANÁLISIS DE FORMA: ESTUDIOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA ARGENTINA

El abordaje de las cuencas hidrográficas como unidades de investigación y gestión, contempla en la mayoría de los casos un diagnóstico inicial de su espacio físico-natural, esto resulta importante porque de ello depende que el uso de los recursos naturales reciba un tratamiento integral y coordinado, posibilitando alcanzar un mayor equilibrio entre los factores ambientales, económicos y sociales. En ese sentido, el conocimiento sistemático de los parámetros morfométricos de la cuenca es fundamental para comprender e interpretar el comportamiento morfodinámico e hidrológico (Méndez y Marcucci, 2006). En los análisis morfométricos de cuencas, uno de los indicadores básicos son los relacionados con la medición de su forma, ya que a partir de ello es posible inferir con qué facilidad una cuenca puede concentrar la escorrentía, determinando la intensidad a la cual el agua llega a la corriente principal, a medida que se mueve a lo largo de su curso (Bastidas Romero, 2007).

La presente aplicación tiene como objetivo determinar el grado de compacidad de tres cuencas localizadas en tres latitudes geográficas de Argentina, lo cual permite ejemplificar mediante la cuantificación de la forma tres situaciones contrastantes, derivando así un análisis morfométrico para cada caso. El índice seleccionado para expresar la forma de las cuencas es el conocido como índice de compacidad o coeficiente $I(c)$ de Gravelius descrito en el apartado metodológico mediante la ecuación [21].

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) ¿Qué valor tiene el índice de forma " $I(c)$ " en el caso de las cuencas analizadas?
- b) Según el $I(c)$ de Gravelius ¿qué tipo de forma se distingue en la cuenca?
- c) ¿Cómo influye la forma de las cuencas en la escorrentía?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base cartográfica trabajada en la aplicación está conformada por dos (2) capas en formato *Shapefile* (.SHP)⁵ correspondiente a tres cuencas y sus respectivas redes de drenaje para tres regiones de Argentina (Tabla 3). La capa temática con la representación de las cuencas se obtuvo a partir de información generada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2012) sobre cuencas hidrográficas de Sudamérica en un nivel de clasificación 3, llevado a cabo mediante la metodología *Pfajstetter*. La segunda capa, referida a la red de drenaje, se obtuvo a partir de la plataforma de datos abiertos del Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina (IGN, 2020).

Tabla 3. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
Cuencas	Polígonos - Shapefile	Sin datos	(UICN, 2012)
Ríos	Líneas - Shapefile	Sin datos	(IGN, 2020)

Fuente: elaboración propia, 2021.

Al igual que en la aplicación anterior, la resolución de la aplicación se lleva a cabo mediante la herramienta “Calculadora de campos”  del *software* QGIS.

Procedimiento

Paso 1: Ingresar a QGIS

Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

⁵Para acceder a la descripción de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile*, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR:
https://www.researchgate.net/publication/355195976_Base_de_datos_cuencas_y_red_de_drenaje_morfometriade_tres_cuencas_de_Argentina?channel=doi&linkId=6166e3228ad119749b1232bc&showFulltext=true

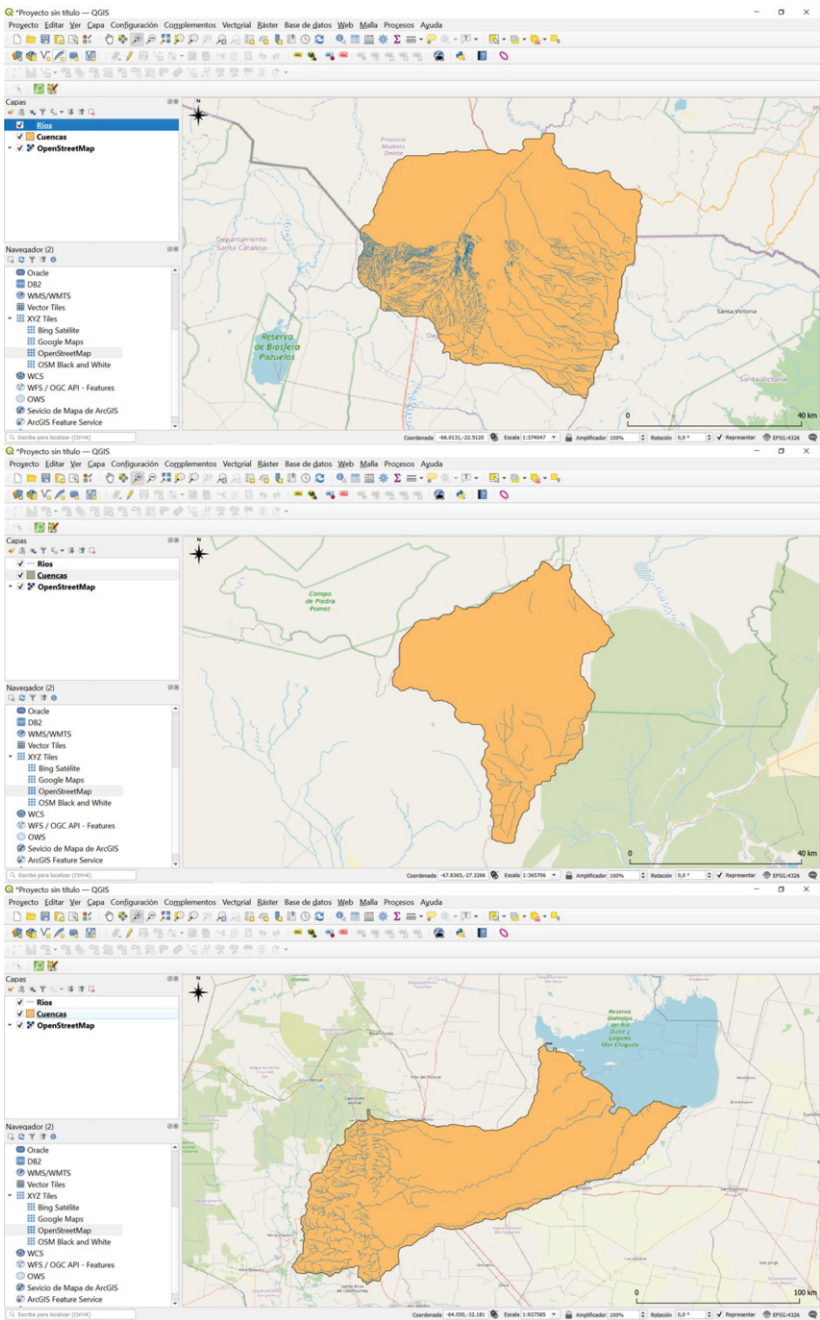


Paso 2: Visualizar las capas con los datos de entrada

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial” . Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta ventana puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar” , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “Cuencas” debe seleccionar el archivo con extensión .shp. Finalmente, haga clic en “Abrir” y luego en “Añadir”. Repita el procedimiento para cargar la capa “Rios”, la cual se utiliza solo con propósitos de interpretación visual del área de estudio, ya que no será requerida para los cálculos. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

Para realizar un análisis visual de los datos espaciales dentro de su contexto geográfico y poder identificar cada una de las cuencas estudiadas, se sugiere que cargue el mapa base *XYZTile* “*OpenStreetMap*” desde el “Panel Navegador (2)” (desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”.

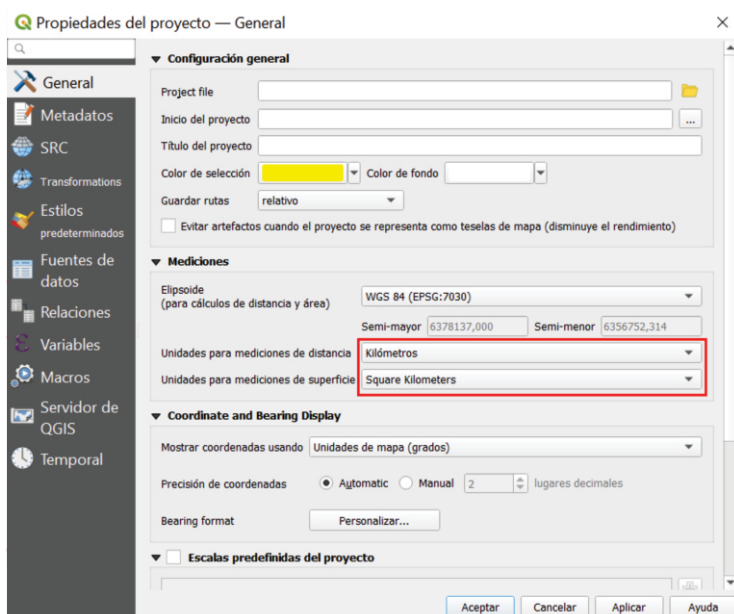
Figura 2.13. Visualización de las capas



Paso 3: Configurar en el proyecto las unidades de medida (distancia y superficie).

Ingresar al menú “Proyecto / Propiedades...”. Se abrirá la ventana “Propiedades del proyecto”. En la opción “Mediciones” ajustar las unidades para medición de distancia a “Kilómetros” y las unidades para mediciones de superficie a “Kilómetros cuadrados”, esto permitirá que, al momento de realizar los cálculos, los resultados se obtengan en el mismo sistema de unidades y en unidades de medida equivalentes. Finalmente haga clic en “Aceptar”.

Figura 2.14. Configuración de las unidades de medida

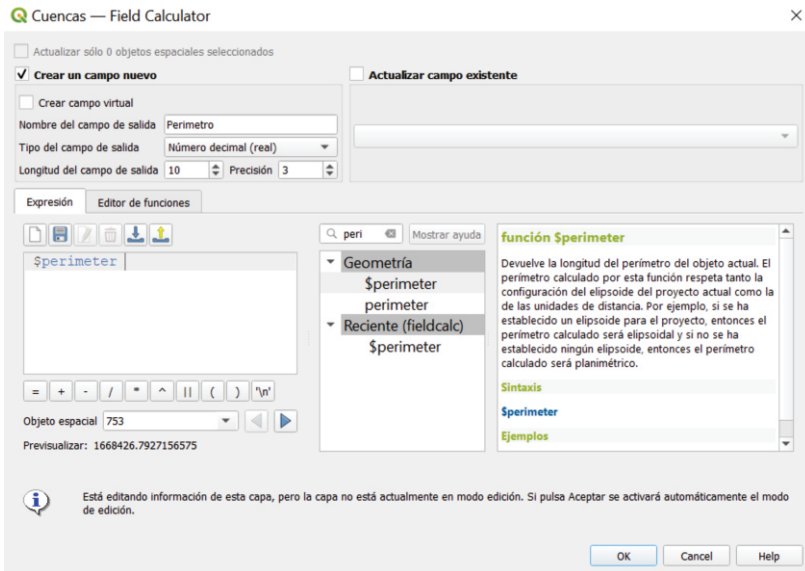


Paso 4: Calcular el perímetro de las cuencas

El primer parámetro necesario para aplicar la ecuación [21] es el perímetro, para obtenerlo, seleccione la capa “Cuencas”, haciendo clic sobre el nombre de la capa, la misma se resaltará. Abra la “Tabla de atributos” haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos, haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos”  .

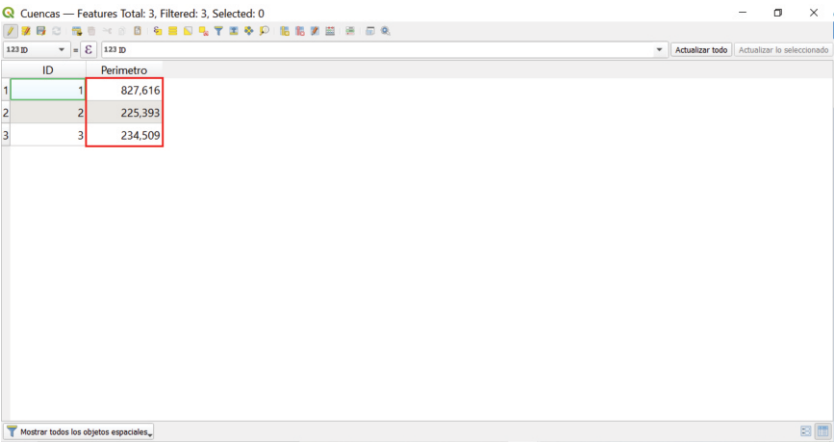
En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “Perímetro”, en “tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego en el menú de funciones seleccione la opción “Geometría/\$perimeter” para esto debe hacer doble clic sobre “\$perimeter” hasta que aparezca en el panel de “Expresión” que se encuentra a la izquierda. Para finalizar haga clic en “Ok”.

Figura 2.15. Ingresar datos en la calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla con la longitud del perímetro en kilómetros, en este caso solo hay dos registros (filas) en la tabla, ya que existen dos objetos espaciales (polígonos). Para finalizar el proceso guarde los cambios  y luego haga clic en “conmutar el modo edición”  .

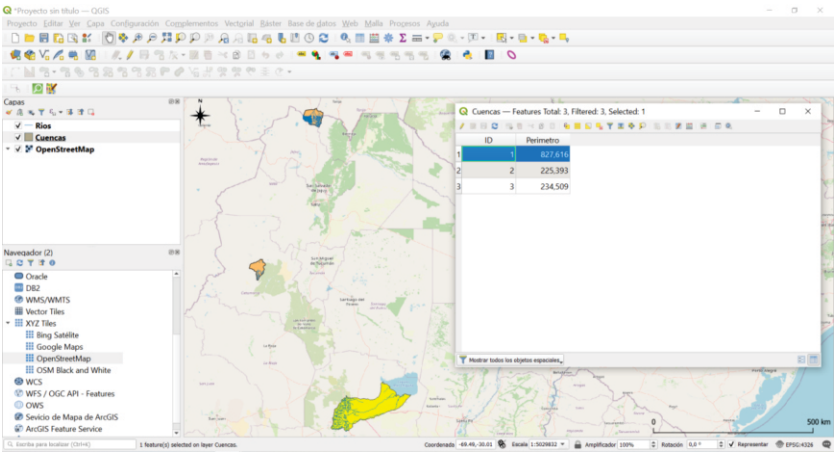
Figura 2.16. Resultado del perímetro de las cuencas



ID	Perímetro
1	827.616
2	225.393
3	234.509

Para constatar el resultado obtenido en cada cuenca, debe seleccionar el primer registro (fila uno) en la tabla de atributos y se resaltará en color amarillo el objeto espacial (cuenca) vinculado con el registro seleccionado previamente en la tabla.

Figura 2.17. Consultar resultado en cada cuenca

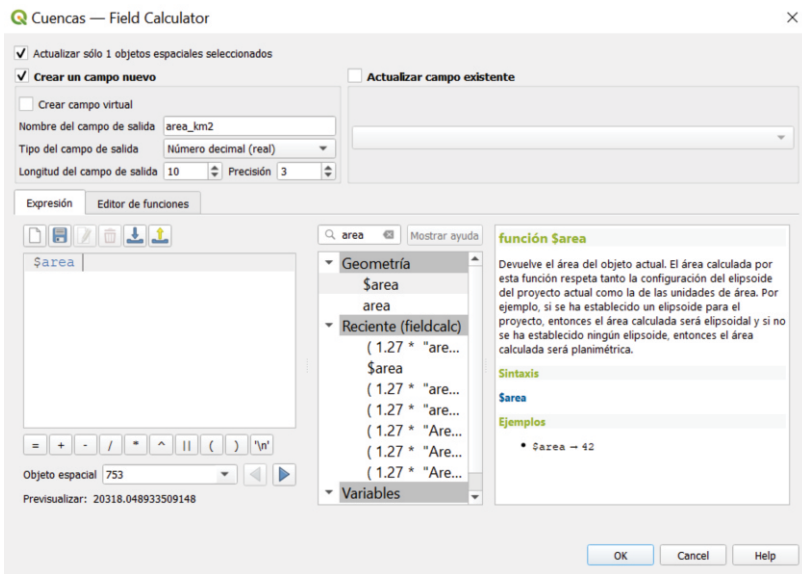


Paso 5: Calcular el área de las cuencas

El segundo parámetro necesario para el cálculo del I_c es el área de cada

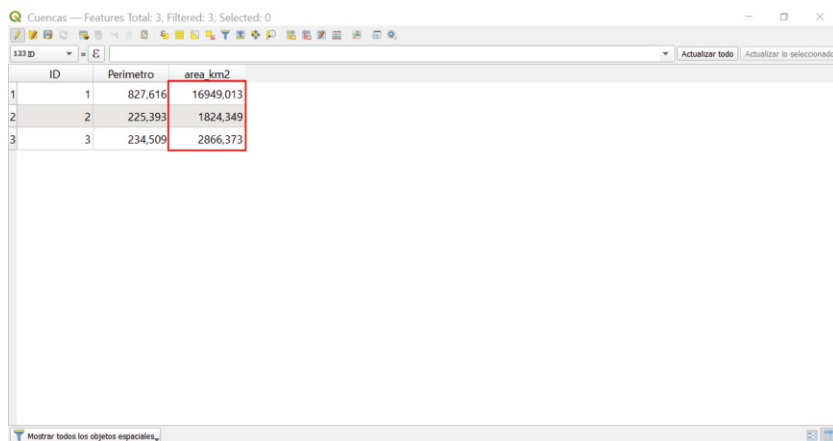
cuenca. Seleccione la capa “Cuenchas”, para esto debe hacer clic sobre el nombre de la capa que aparece en el “Panel de capas” (a la izquierda de la ventana principal), la capa seleccionada se resaltarán. Abra la “Tabla de atributos” haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos, haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos” . En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “area_km2”, en “tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en la “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego en el menú de funciones seleccione la opción “Geometría/\$area” para esto debe hacer doble clic sobre “\$area” hasta que aparezca en el panel de “Expresión” que se encuentra a la izquierda. Para finalizar haga clic en “Ok”.

Figura 2.18. Ingresar datos en la calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla de atributos con los valores de superficie en kilómetros cuadrados para cada registro (filas) de la tabla. Para finalizar el proceso guarde los  y luego haga clic en “conmutar el modo edición” .

Figura 2.19. Resultados del área en Km² en cada cuenca



ID	Perimetro	area_km2
1	827,616	16949,013
2	225,393	1824,349
3	234,509	2866,373

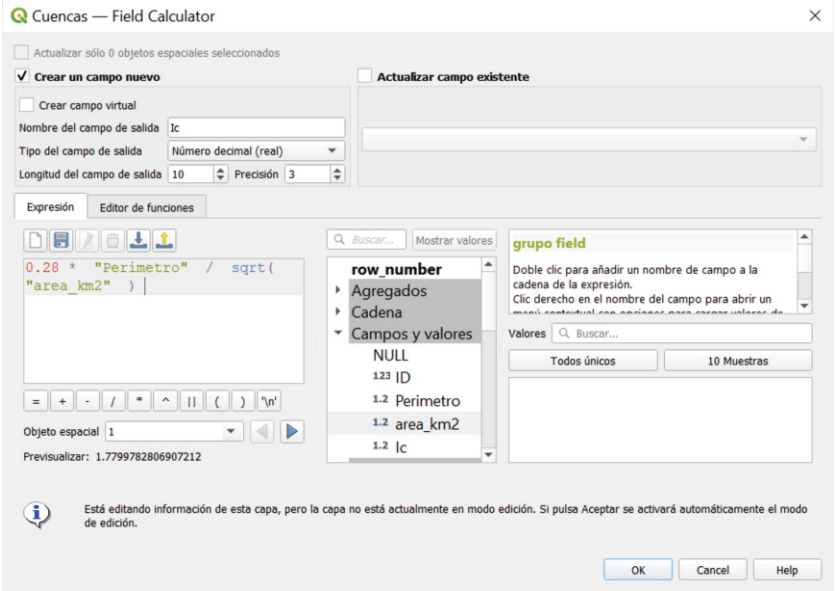
Paso 6: Cálculo del índice de compacidad I(c)

Una vez obtenidos los valores de longitud del perímetro y el área de la cuenca, es posible proceder al cálculo del índice de forma I(c). Haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos”  (esto lo puede realizar desde la barra de herramientas en la ventana principal o en la ventana de la tabla de atributos). En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida I(c), en “Tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, en longitud de campo de salida y precisión deje los valores que aparecen por defecto. Luego en la caja de “Expresiones” escriba la siguiente expresión:

$$0.28 * "Perimetro" / \text{sqrt} ("area_km2")$$

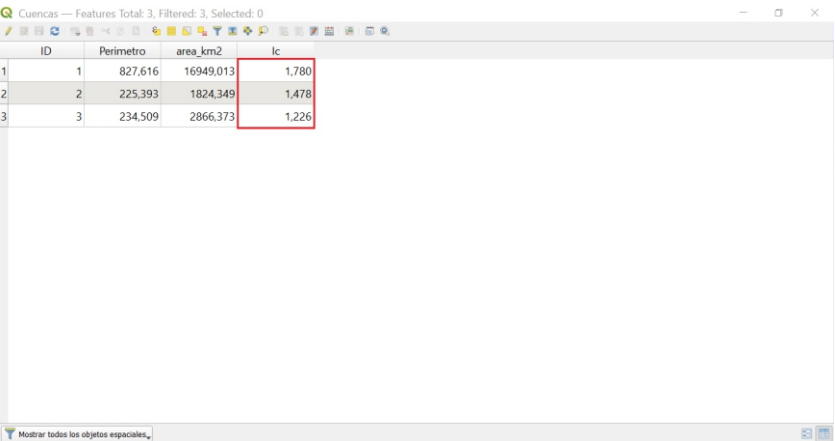
Para ingresar el campo que contiene los valores de los perímetros y las áreas debe hacer doble clic sobre el nombre del campo, este se ubica en el menú de funciones: “Campos y valores / Perimetro” y “Campos y valores / área_km2”. Recuerde cerrar la expresión con un paréntesis. Una vez ingresada toda la expresión, haga clic en “Ok” para ejecutar y finalizar el proceso.

Figura 2.20. Ingresar expresión en la calculadora de campos



En la tabla de atributos se obtendrá un nuevo campo (columna) con los valores del índice forma “Ic” para cada cuenca (polígonos). Para finalizar el proceso guarde los cambios  y luego haga clic en “conmutar el modo edición” .

Figura 2.21. Resultados del cálculo del índice de forma Ic



ID	Perimetro	area_km2	Ic
1	827.616	16949.013	1.780
2	225.393	1824.349	1.478
3	234.509	2866.373	1.226

Interpretación de los resultados

El índice de compacidad $I(c)$ de Gravelius es adimensional y permite establecer una relación entre el perímetro de la cuenca (longitud de la divisoria topográfica de una cuenca, Bastidas Romero, 2007) con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca. Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos se parte de los criterios de forma descritos en la tabla 4, en la que es posible distinguir una clasificación de los principales tipos de forma de las cuencas hidrográficas asociándolos a los valores obtenidos en el índice de compacidad de Gravelius.

Tabla 4. Índice de Gravelius y forma de la cuenca

Valores de $I(c)$	Tipos o clases de forma
Igual a 1,00	Representaría una cuenca redonda
Mayor a 1,00 - 1,25	De casi redonda a oval redonda
1,26 - 1,50	De oval redonda a oval oblonga
Mayor a 1,50	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: elaboración propia con base en Gámez Morales (2010); Gaspari *et al.* (2013).

El valor obtenido para la cuenca 3 es de un $I(c)=1,226$ lo que estaría indicando que esta cuenca presenta una tendencia de forma “de casi redonda a oval redonda”. Este tipo de sistemas se caracterizan por originar tiempos de concentración relativamente cortos, donde las crecidas efluentes suelen ser muy súbitas y violentas, con altos riesgos de inundaciones en el caso de presentarse tormentas extraordinarias (Ortiz Vera, 2016). Cabe señalar que el índice de compacidad está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración de la escorrentía, el cual se entiende como “el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. En este momento ocurre la máxima concentración de agua, puesto que están llegando las gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca” (Gaspari *et al.* 2013, p. 51).

Para el caso de la cuenca 2, con un valor de $I(c)=1,478$ evidencia una forma que va “de oval redonda a oval oblonga” según Ortiz Vera (2016), este tipo de cuencas tienen un comportamiento hidráulico muy similar a la forma oval redonda, solo que las respuestas van siendo cada vez menos intensas, a medida que el índice de Gravelius se aproxima al límite superior

del rango (1,50). De acuerdo con Cotler y Maas (2004), valores menores a 1,50 significarían una forma redondeada que sería susceptible a avenidas rápidas e intensas, lo que puede generar pérdidas de suelo en la parte alta y traer consecuencias en la morfología del terreno aguas abajo (Cruz Romero *et al.*, 2015).

Por último, la cuenca 1, con un valor de $I(c) = 1,780$ presenta una tendencia de forma “de oval oblonga a rectangular oblonga”, lo que indica que la forma dista en gran medida de la circularidad, con tiempos de concentración relativamente mayores en comparación con los casos anteriores, por lo que su probabilidad de experimentar crecidas frecuentes es baja. A diferencia de los dos tipos de geometría anterior, esta forma ofrece mayores ventajas para la recarga de acuíferos y menores pérdidas por escorrentía directa (Ortiz Vera, 2016). Es importante aclarar que estas afirmaciones son relativas, ya que van a depender del tamaño o extensión de la tormenta, así como de su duración e intensidad, por ejemplo, en el caso de las cuencas alargadas pueden presentar alta peligrosidad a las crecidas cuando la tormenta se mueve en la dirección aguas abajo (Bastidas Romero, 2007).

3-A. INTERPOLACIÓN CON POLÍGONOS DE VORONOI-THIESSEN: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PRECIPITACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN

La construcción de polígonos de Voronoi-Thiessen es el procedimiento mediante el cual una distribución de puntos se transforma en una malla poligonal de áreas de influencia para cada punto (Buzai y Baxendale, 2012). Se considera uno de los métodos más simples de interpolación espacial. Para establecer la función de interpolación, se parte del supuesto en el que se asume que cada punto no muestral se parece más que ningún otro al punto muestral más próximo (Bosque Sendra, 1997). El desarrollo de la presente aplicación se realiza en función de la fórmula [38] que se describe en el apartado metodológico.

En este caso, se parte de la hipótesis de que la precipitación registrada en una estación representa la precipitación media de una zona más extensa, próxima a ella (Fernández García, 1996), lo que permite alcanzar la distribución espacial de las precipitaciones para toda la cuenca.

Por otro lado, los polígonos Voronoi-Thiessen, se pueden implementar para analizar el área de cobertura espacial de cada estación de medición, determinando de este modo el área de representatividad de cada pluviómetro o pluviógrafo y evaluando si está dentro de los estándares mínimos establecidos para las redes pluviométricas. Asimismo, también es de utilidad para estimar la precipitación total de un área cuando la distribución de los instrumentos de medición no es uniforme (Bastidas Romero, 2007).

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) ¿Cómo es la distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca del río Luján?
- b) ¿Cuál es el área de cobertura espacial de cada estación dentro de la cuenca?
- c) ¿Cuál es el valor de la precipitación total, ponderada por el área de influencia de cada estación dentro de los límites de la cuenca?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base de datos geográfica está conformada por dos (2) capas en formato *Shapefile* (Tabla 5)⁶. La primera capa temática contiene los puntos de nueve estaciones pluviométricas y los registros acumulados de precipitación (en mm) durante el año 2020 (12 meses); la segunda capa contiene un polígono que corresponde a la representación cartográfica de la cuenca del río Luján.

Tabla 5. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
Precipitacion_acumulada_2020	Puntos - Shapefile	Registros de precipitación acumulada (mm) 2020 – numérico	Montes Galbán (2021e) con base en datos de la red pluviométrica de la cuenca del río Luján (UNLu, 2020)
cuenca_hidrografica	Polígono - Shapefile	Área – numérico	Buzai <i>et al.</i> (2019)

Fuente: elaboración propia, 2021.

La resolución de la aplicación se lleva a cabo mediante una serie de funciones que forman parte del núcleo de herramientas de *QGIS*: “Polígonos Voronoi...”; “Cortar” “Calculadora de campos” y “Mostrar resumen estadístico”.

⁶Para acceder a la descripción de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile*, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR:
https://www.researchgate.net/publication/355202779_Base_de_datos_geografica_Distribucion_espacial_puntos_de_las_precipitaciones_en_la_cuenca_del_rio_Lujan_-_ano_2020



Procedimiento

Paso 1: Ingresar a QGIS

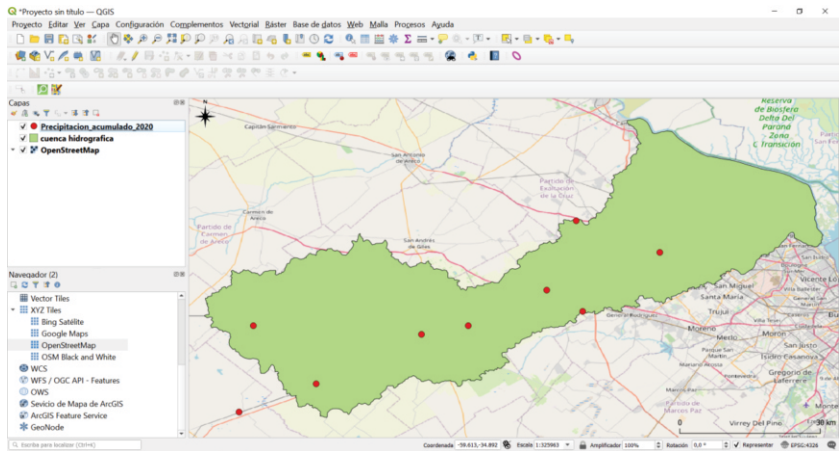
Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

Paso 2: Visualizar las capas con los datos de entrada

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial” . Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta ventana puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar”  , , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “cuenca_hidrografica”, debe seleccionar el archivo con extensión .shp. Finalmente, haga clic en “Abrir” y luego en “Añadir”. Repita el procedimiento para cargar la capa “Precipitacion_acumulado_2020”. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

Para realizar un análisis visual de los datos espaciales dentro de su contexto geográfico, se sugiere que cargue el mapa base XYZ Tile “OpenStreetMap” desde el “Panel Navegador (2)” (desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”.

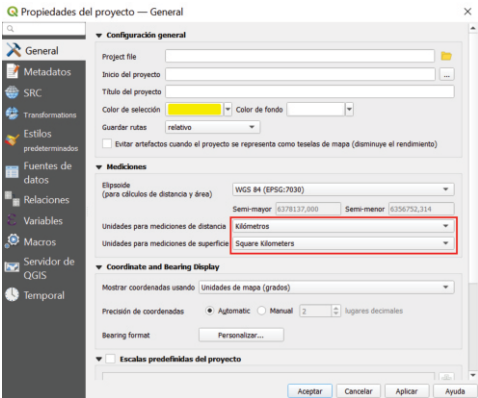
Figura 3.1. Visualización de las capas



Paso 3: Configurar en el proyecto las unidades de medida (distancia y superficie).

Ingresar al menú “Proyecto / Propiedades...”. Se abrirá la ventana “Propiedades del proyecto”. En la opción “Mediciones” ajustar las unidades para medición de distancia a “Kilómetros” y las unidades para mediciones de superficie a “Kilómetros cuadrados”, esto permitirá que al momento de realizar los cálculos los resultados se obtengan en el mismo sistema de unidades y en unidades de medida equivalentes. Finalmente haga clic en “Aceptar”.

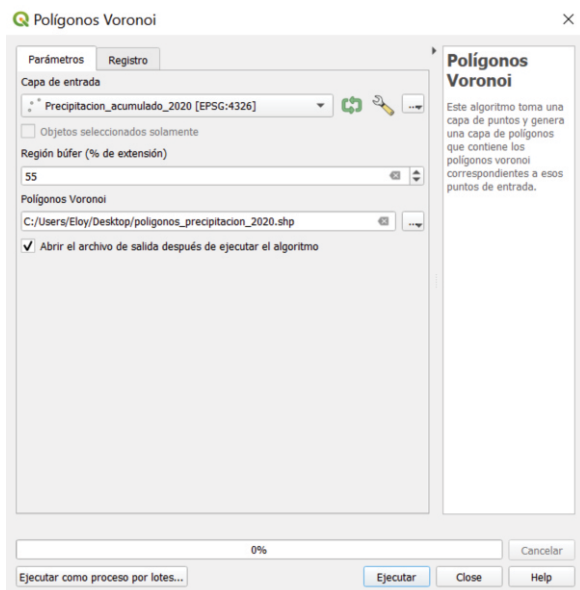
Figura 3.2. Configuración de las unidades de medida



Paso 4: Generar los polígonos de Voronoi-Thiessen

Ingresa al menú “Vectorial / Herramientas de Geometría / Polígonos Voronoi...” . Se abrirá la ventana con el mismo nombre. En la opción “Capa de entrada” ingrese la capa “Precipitacion_acumulado_2020”, en la opción “Región buffer (% de extensión)” ingrese el valor de 55, esto permitirá que la extensión de los polígonos generados contenga toda el área de la cuenca. En la opción “Polígonos Voronoi” guarde el archivo con el nombre “poligonos_precipitacion_2020”. Para finalizar haga clic en “Ejecutar” y “Cerrar”.

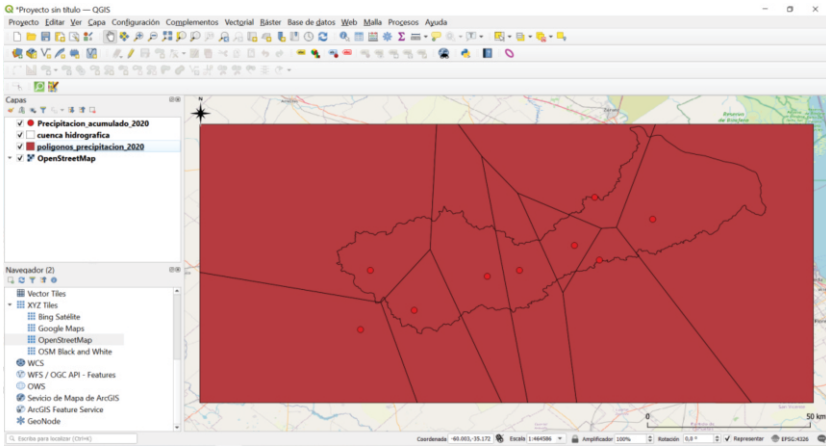
Figura 3.3. Configurar la ventana Polígonos Voronoi



Se obtendrá una capa con los polígonos generados para cada uno de los puntos de la capa de entrada. En el “Panel de capas” realice un clic sostenido sobre el nombre de la capa “poligonos_precipitacion_2020” y desplácela hasta el final de todas las capas vectoriales. Luego haga doble clic sobre el nombre de la capa “cuenca_hidrografica” y en la ventana “Propiedades de la capa” ingrese en la solapa “Simbología / Relleno simple / Estilo de relleno”, seleccione la opción “Sin relleno”, esto permitirá que

pueda visualizar el contenido debajo de la capa sin dejar de ver los límites de la cuenca. Para finalizar haga clic en “Ok”.

Figura 3.4. Resultado de los Polígonos de Voronoi



Paso 5: Ajustar el área de los polígonos al límite de la cuenca

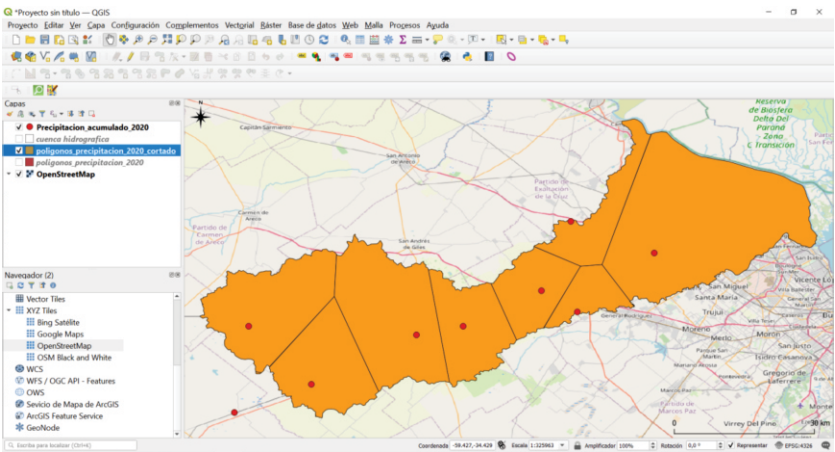
Como el objetivo es obtener la delimitación de las áreas pluviométricas dentro de los límites de la cuenca, se realizará un recorte de la capa “poligonos_precipitacion_2020” con la capa “cuenca_hidrografica”. Haga clic en el menú “Vectorial / Herramientas de geoprocetos / Cortar”, en la ventana “Cortar” ingrese como capa de entrada “poligonos_precipitacion_2020”, en la opción capa de superposición seleccione “cuenca_hidrografica”. En la opción “Cortado” guarde el archivo con el nombre “poligonos_precipitacion_2020_cortado”. Para finalizar haga clic en “Ejecutar” y “Cerrar”.

Figura 3.5. Cortar polígonos de Voronoi



Se obtendrá como resultado una capa con la delimitación de las áreas pluviométricas para la cuenca de río Luján.

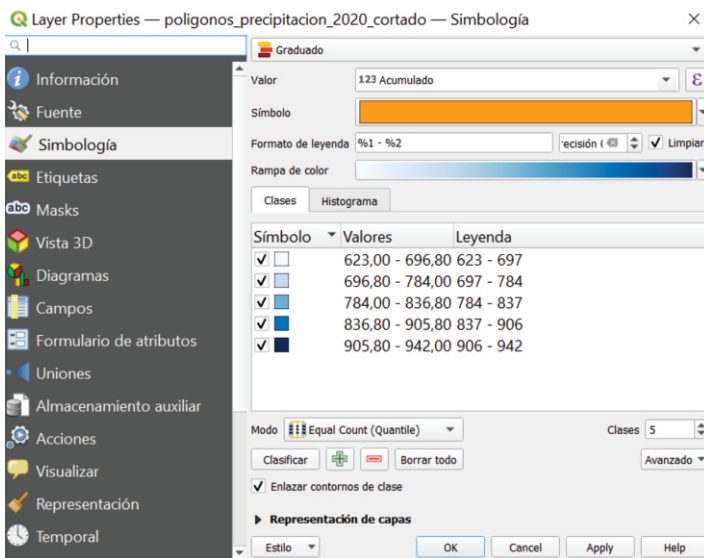
Figura 3.6. Delimitación de áreas pluviométricas para la cuenca de río Luján



Paso 6: Distribución espacial de las precipitaciones

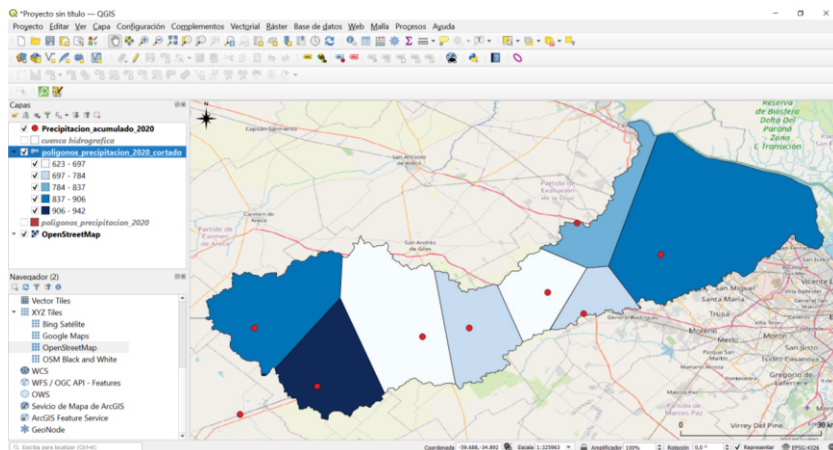
Para obtener un mapa temático con la distribución espacial de las precipitaciones ingrese a las propiedades de la capa “polígonos_precipitacion_2020_cortado”. Deje activado en el “Panel de capas” únicamente las capas “Precipitacion_acumulado_2020” y “polígonos_precipitacion_2020_cortado”. Haga doble clic sobre el nombre de la capa “polígonos_precipitacion_2020_cortado”, en la ventana “Propiedades de la capa” ingrese en la solapa “Simbología”, luego cambie la opción “Símbolo único” por “Graduado”, en la opción “Valor” seleccione el campo con el nombre “acumulado”, en la opción “Rampa de color” seleccione la opción “Blues”, en la opción “Modo” elija el método por “Quantile”. Para finalizar, haga clic en “Ok”.

Figura 3.7. Configurar la ventana propiedades de la capa



Se obtendrá un mapa temático con la distribución espacial de las precipitaciones para la cuenca del río Luján por el método de Polígonos de Voronoi-Thiessen.

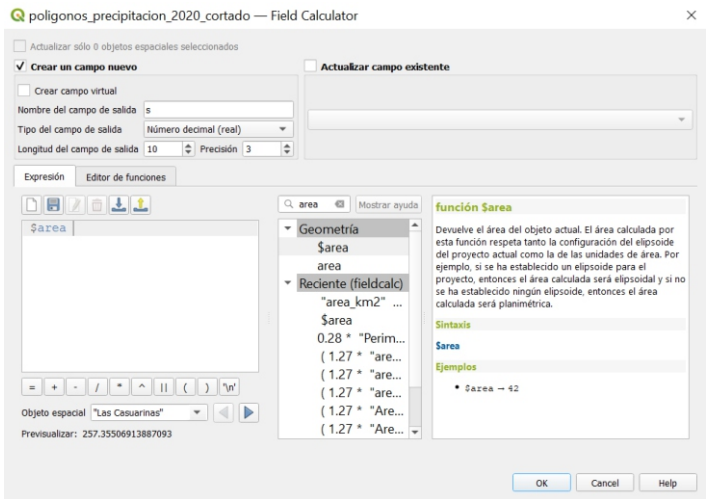
**Figura 3.8. Distribución espacial de las precipitaciones
método Polígonos Voronoi**



Paso 7: Calcular el área de los polígonos

El siguiente paso consiste en calcular el área de cobertura de cada estación dentro de la cuenca, para lo cual es necesario determinar la superficie en kilómetros cuadrados de cada uno de los polígonos generados en los pasos anteriores. Seleccione la capa “polígonos_precipitacion_2020_cortado”, para esto debe hacer clic sobre el nombre de la capa que aparece en el “Panel de capas” (a la izquierda de la ventana principal), la capa seleccionada se resaltará. Abra la “Tabla de atributos” haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos, haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos” . En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “s”, en “tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en la “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego en el menú de funciones seleccione la opción “Geometría/ \$area” para esto debe hacer doble clic sobre “\$area” hasta que aparezca en el panel de “Expresión” que se encuentra a la izquierda. Para finalizar haga clic en “Ok”.

Figura 3.9. Ingresar datos en la calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla de atributos con los valores de superficie en kilómetros cuadrados para cada registro (filas) de la tabla. Para finalizar el proceso guarde los cambios  y luego haga clic en “conmutar el modo edición” .

Figura 3.10. Resultados del área en Km² por polígonos

poligonos_precipitacion_2020_cortado — Features Total: 9, Filtered: 9, Selected: 0

ID	NOMBRE	Acumulado	s
1	36 Municipalida...	940	401.937
2	14 Estacion Exp...	777	334.006
3	1 Universidad ...	738	148.570
4	11 Gorostiaga	942	0.464
5	24 "Las Casuarin...	635	257.355
6	44 El Remanso	812	252.118
7	8 Estancia "La ...	843	524.356
8	31 Mercedes Ce...	623	636.906
9	34 Pilar centro	883	1204.955

Mostrar todos los objetos espaciales.

Paso 8: Cálculo de la precipitación total de la cuenca

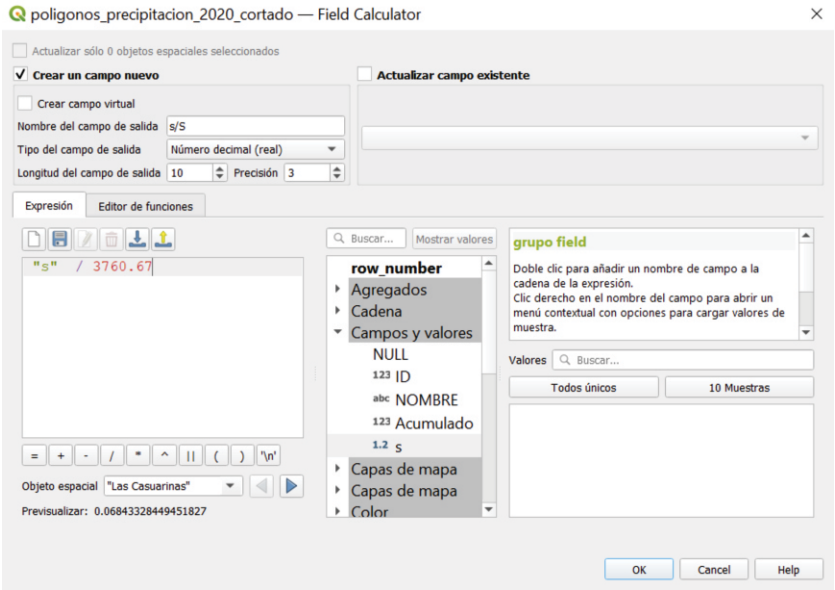
Para calcular la precipitación total de la cuenca se procede de acuerdo a la fórmula [39] del apartado metodológico. El primer parámetro necesario para el desarrollo de la fórmula es obtener la superficie de cada polígono (realizado en el paso anterior). El siguiente paso, consiste en expresar el valor de cada unidad superficial básica (polígonos) como fracción del área total (s/S). Para obtener el valor área total de todos los polígonos haga clic en el botón “Mostrar resumen estadístico”  que se encuentra en la barra de herramientas, se abrirá una nueva venta “Estadísticas” en la margen inferior izquierda, seleccione la capa “polígonos_precipitacion_2020_cortado”, luego para obtener las estadísticas descriptivas seleccione el campo “s”, observe en el reporte el resultado de la “Suma” que representa el área total (3.760,67 Km²).

El siguiente paso es dividir el campo “s” entre el valor de superficie total obtenido anteriormente, haga clic sobre el nombre de la capa “polígonos_precipitacion_2020_cortado” que aparece en el “Panel de capas” (a la izquierda de la venta principal), la capa seleccionada se resaltará. Abra la “Tabla de atributos” haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos, haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos” . En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “s/S”, en “tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en la “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego en la caja de “Expresiones” escriba la siguiente expresión:

$$"s"/3760.67$$

Para ingresar el campo que contiene los valores de superficie debe hacer doble clic sobre el nombre del campo, este se ubica en el menú de funciones: “Campos y valores / s”. Una vez ingresada toda la expresión, haga clic en “Ok” para ejecutar y finalizar el proceso.

Figura 3.11. Ingresar datos en la calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla de atributos con el área de cada polígono (filas de la tabla) expresado como fracción del área total.

Figura 3.12. Superficie de los polígonos expresada como fracción del área total

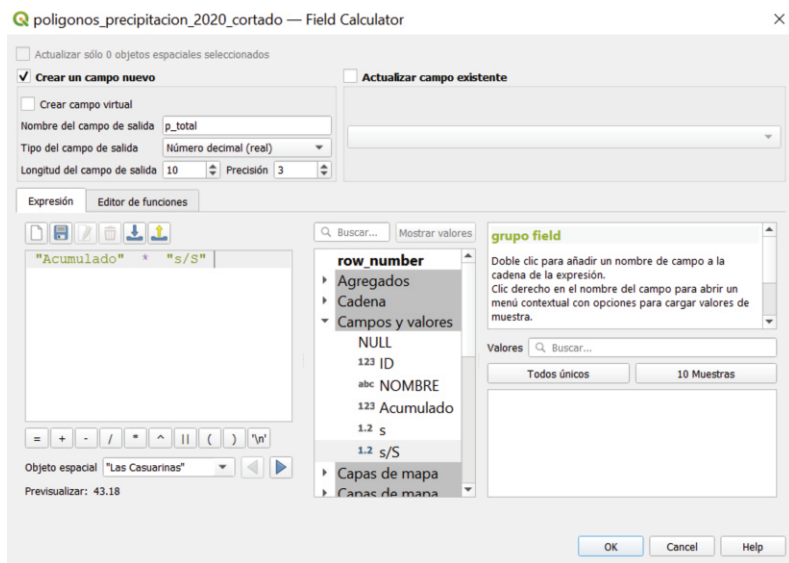
poligonos_precipitacion_2020_cortado — Features Total: 9, Filtered: 9, Selected: 0

ID	NOMBRE	Acumulado	s	s/S
1	36 Municipalida...	940	401.937	0.107
2	14 Estacion Exp...	777	334.006	0.089
3	1 Universidad ...	738	148.570	0.04
4	11 Gorostiaga	942	0.464	0
5	24 "Las Casuarin...	635	257.355	0.068
6	44 El Remanso	812	252.118	0.067
7	8 Estancia "La ...	843	524.356	0.139
8	31 Mercedes Ce...	623	636.906	0.169
9	34 Pilar centro	883	1204.955	0.32

Mostrar todos los objetos espaciales

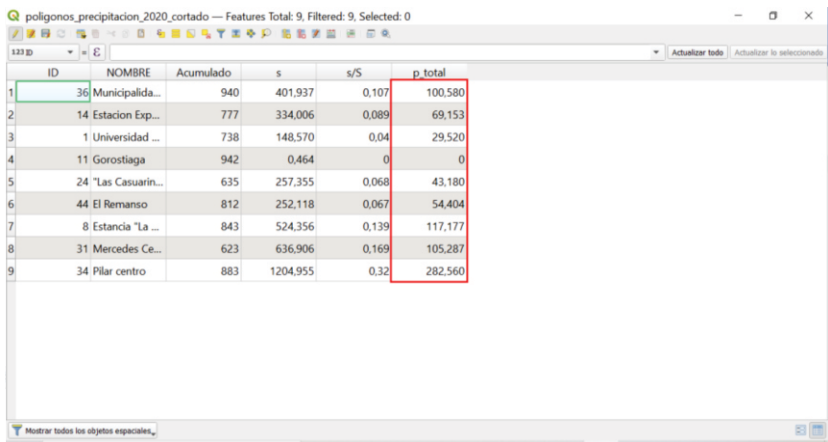
Para obtener el valor de la precipitación total ponderada por el área de influencia de cada estación dentro de los límites de la cuenca, se debe multiplicar el campo “Acumulado” con los valores de precipitación por el campo “s/S”. Haga clic nuevamente en el botón “Abrir calculadora de campos” . En la ventana de la calculadora de campos ingrese como nombre del campo de salida “p_total”, en “tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en la “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Luego ingrese el campo que contiene los valores de precipitación acumulados debe hacer doble clic sobre el nombre del campo, este se ubica en el menú de funciones: “Campos y valores / Acumulado”, haga clic en el símbolo multiplicar * y por último ingrese el campo “s/S”. Una vez ingresada toda la expresión, haga clic en “Ok” para ejecutar y finalizar el proceso. Para finalizar el proceso guarde los cambios  y luego haga clic en “conmutar el modo edición” .

Figura 3.13. Ingresar datos en la calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla de atributos con los valores de precipitación ponderados por el área de influencia de cada estación dentro de los límites de la cuenca.

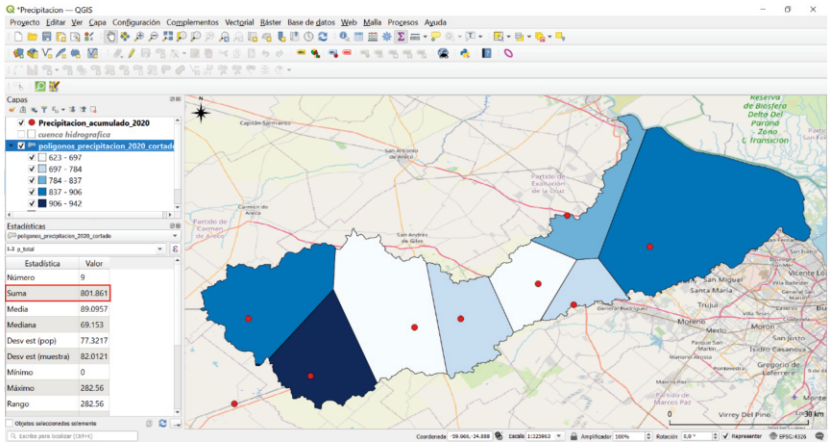
Figura 3.14. Valores de precipitación ponderados por el área



ID	NOMBRE	Acumulado	s	s/S	p_total
1	36 Municipalida...	940	401,937	0,107	100,580
2	14 Estacion Exp...	777	334,006	0,089	69,153
3	1 Universidad ...	738	148,570	0,04	29,520
4	11 Gorostiaga	942	0,464	0	0
5	24 "Las Casuarin...	635	257,355	0,068	43,180
6	44 El Remanso	812	252,118	0,067	54,404
7	8 Estancia "La ...	843	524,356	0,139	117,177
8	31 Mercedes Ce...	623	636,906	0,169	105,287
9	34 Pilar centro	883	1204,955	0,32	282,560

Para obtener el valor de la precipitación total de la cuenca, solo resta realizar la consulta de los estadísticos descriptivos y obtener la sumatoria de todos los registros (filas) que componen el campo “p_total”. Haga clic en el botón “Mostrar resumen estadístico”  que se encuentra en la barra de herramientas, se abrirá una nueva venta “Estadísticas” en la margen inferior izquierda, seleccione la capa “polígonos_precipitacion_2020_cortado”, luego para obtener las estadísticas descriptivas seleccione el campo “p_total”, observe en el reporte el resultado de la “Suma” que corresponde a la precipitación total de la cuenca (801,86 mm).

Figura 3.15. Resultado precipitación total de la cuenca



Interpretación de los resultados

El mapa temático obtenido en la figura 3.8 es el resultado que muestra la variabilidad espacial de las precipitaciones en la cuenca del río Luján durante el año 2020, al analizar la rampa de colores es notorio que las áreas que registran mayores valores de precipitación (906 – 942 mm) se localizan en el sector de la cuenca alta (Oeste), seguido por los registros (837 – 906 mm) en el sector de la cuenca baja (Este). Por otro lado, se producen los registros con los valores más bajos en los sectores de la cuenca media y alta.

Otro de los aspectos que se pueden analizar a partir de los resultados obtenidos, es lo relativo al área de representatividad de las estaciones (pluviómetros). Según la OMM (1994), las densidades mínimas recomendadas para las redes pluviométricas en regiones planas de zonas templadas, mediterráneas y tropicales, debe tener una cobertura entre 600 a 900 km² por estación. En este caso la red pluviométrica analizada, muestra una buena cobertura espacial, excepto en el sector de la cuenca baja, en el cual la densidad de estaciones es baja, y donde solo se localiza la estación “Pilar centro” para cubrir un área de más de 1.200 Km².

Por último, también se obtuvo el dato de la precipitación total para toda el área de la cuenca, esta información es fundamental y forma parte de los insumos necesarios para los cálculos referidos al balance hídrico de una cuenca, así como los inventarios de recursos hídricos en cuencas que sirven para abastecer de agua a las actividades humanas.

3-B. ANÁLISIS DE ÁREAS DE INFLUENCIA: DEFINICIÓN EN EL DEL MAPA DE JOHN SNOW SOBRE LA EPIDEMIA DE CÓLERA MEDIANTE LA GENERACIÓN DE POLÍGONOS DE VORONOI-THIESSEN

El presente análisis se enmarca en la misma línea temática desarrollada en la aplicación 1, partiendo del mapa realizado por John Snow sobre la epidemia de cólera de 1854 en Londres. En este caso, a diferencia de la aplicación anterior, se realiza un abordaje de tipo inductivo que consiste en confirmar la influencia de la bomba de agua de Broad Street en las ubicaciones de las víctimas.

Se realizan los polígonos de Voronoi-Thiessen de las bombas de agua y se contabiliza el número de muertes en cada polígono. Si bien este es un procedimiento de análisis espacial muy sencillo, que se basa en la distancia euclidiana en línea recta para derivar el análisis del vecino más cercano, lo que se trata de demostrar, es la importancia de la explicación geográfica y, como esta herramienta básica de análisis espacial sirve de apoyo para realizar un estudio con enfoque inductivo, en el cual se va de lo particular a lo general, es decir, de analizar la situación de cada área en torno a las bombas de agua, para luego establecer una generalización inductiva.

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) ¿Cómo queda zonificada el área de estudio en función de la localización de los puntos que representan las bombas de agua?
- b) ¿Qué cantidad de víctimas queda asignada en cada área de influencia generada?

Base de datos espacial, *software* y complementos

En este caso la base de datos geográfica corresponde a la utilizada en la aplicación 1 (Montes Galbán, 2021b). Para acceder a la descripción de los procedimientos de sistematización de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile* consulte la aplicación 1 página 2.

Para el desarrollo de la aplicación se utilizan las herramientas “Polígonos Voronoi...”  y “Contar puntos en un polígono...”  que forman parte del núcleo de herramientas de QGIS (QGIS Development Team, 2020).

Procedimiento

Paso 1: Ingresar a QGIS

Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

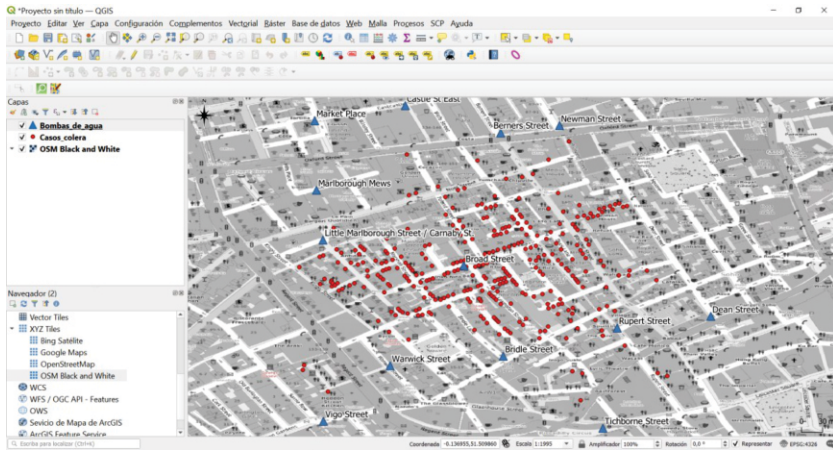
Paso 2: Visualizar las capas con los datos de entrada.

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial” . Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta ventana puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar” , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “Casos_colera” debe seleccionar el archivo con extensión .shp. Finalmente, haga clic en “Abrir” y luego en “Añadir”. Repita el procedimiento para cargar la capa “Bombas_de_agua”. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

Para realizar un análisis de los datos puntuales dentro de su contexto geográfico, se sugiere que cargue el mapa base XYZ Tile “OpenStreetMap” desde el “Panel Navegador (2)” (una vez abierto desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”. Asimismo, para facilitar la interpretación visual de los

datos puede cambiar la simbología de las capas (asigne colores diferenciadores) ingresando en las “Propiedades” a través de un clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre de la capa. A la capa “Bombas_de_agua” asígnele las etiquetas que identifican la locación de cada bomba, para lo cual debe ingresar nuevamente en las “Propiedades” de la capa haciendo clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre de la capa, luego seleccione la solapa “Etiquetas” y marque la opción  **Single Labels**, en la opción “Valor” seleccione el campo denominado “nombres_ca” y finalmente haga clic en Aceptar.

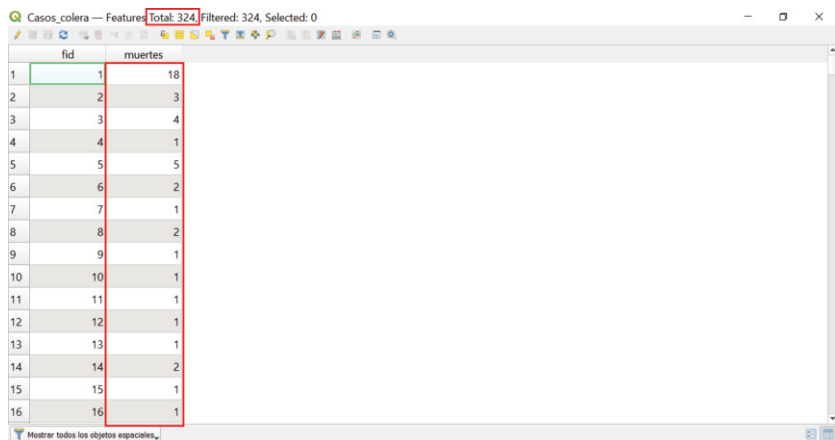
Figura 3.16. Visualización de las capas



Paso 3: Visualizar datos de la tabla de atributos

A diferencia de la aplicación 1, en este caso además de trabajar con la localización absoluta de los puntos, también se tomará en consideración los datos registrados en la tabla de atributos de la capa “Casos_colera”, la cual contiene el número de víctimas registrada en cada ubicación. Para visualizar el contenido de la tabla, seleccione la capa “Casos_colera” haciendo clic sobre el nombre de la misma, la capa se resaltará. Abra la tabla de atributos haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos observe que hay un total de 324 registros (puntos con las ubicaciones de las víctimas), y cada punto a su vez tiene asociado un número de muertes, que se pueden observar en el campo con el nombre “muertes”.

Figura 3.17. Visualización de la tabla de atributos

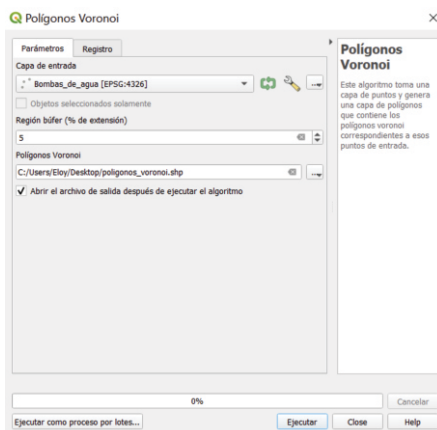


	fid	muertes
1	1	18
2	2	3
3	3	4
4	4	1
5	5	5
6	6	2
7	7	1
8	8	2
9	9	1
10	10	1
11	11	1
12	12	1
13	13	1
14	14	2
15	15	1
16	16	1

Paso 4: Generar los polígonos de Voronoi-Thiessen

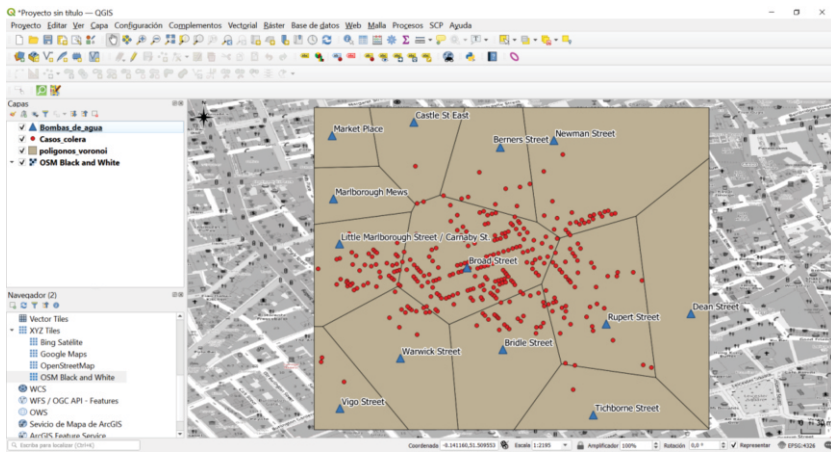
Ingresa al menú “Vectorial / Herramientas de Geometría / Polígonos Voronoi...” . Se abrirá la ventana con el mismo nombre. En la opción “Capa de entrada” ingrese la capa “Bombas_de_agua”, en la opción “Región buffer (% de extensión)” ingrese el valor de 5, esto permitirá que la extensión de los polígonos generados contenga todos los puntos (víctimas registradas) de la capa “Casos_colera”. En la opción “Polígonos Voronoi” guarde el archivo con el nombre “polígonos_voronoi”. Para finalizar haga clic en “Ejecutar” y “Cerrar”.

Figura 3.18. Configurar la ventana Polígonos Voronoi



Se obtendrá una capa con los polígonos generados para cada uno de los puntos de la capa de entrada. En el “Panel de capas” realice un clic sostenido sobre el nombre de la capa “polígonos_voronoi” y desplácela hasta el final de todas las capas vectoriales, esto permitirá que pueda visualizar el contenido de las capas de entrada (bombas de agua y casos) y como se localizan los puntos con respecto a los polígonos generados.

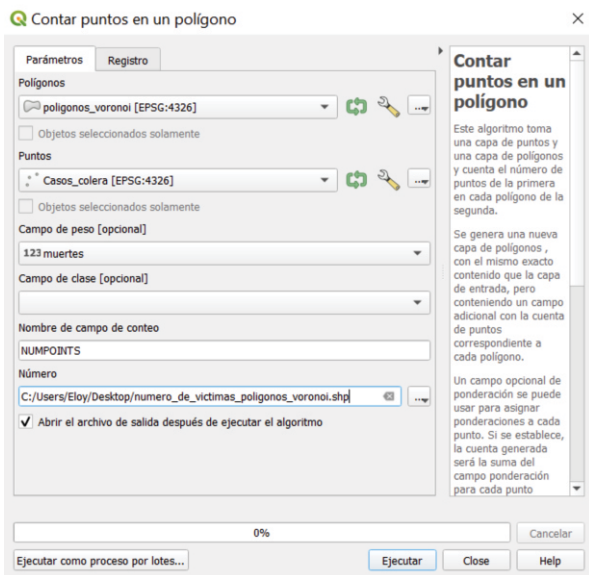
Figura 3.19. Resultado de los Polígonos de Voronoi



Paso 5: Recuento de puntos en polígono

Ingresa al menú “Vectorial / Herramientas de análisis / “Contar puntos en un polígono...” . En la ventana “Contar puntos en un polígono...” ingrese en la opción “Polígonos” la capa “polígonos_voronoi”, en la opción “Puntos” ingrese la capa “Casos_colera”, en la opción “campo de pesos” ingrese el campo “muertes”, esto permitirá contabilizar el número de víctimas que se encuentra asociada a cada ubicación en la capa “Casos_colera”. No realice cambios en las opciones “Campo de clases” y “Nombre de campo de conteo”, por último, en la opción “Número” guarde el archivo con el nombre de “numero_de_victimas_poligonos_voronoi”. Para finalizar haga clic en “Ejecutar” y “Cerrar”.

Figura 3.20. Configuración ventana contar puntos en un polígono



Se obtendrá una nueva capa con la incorporación de un nuevo campo en la tabla de atributos, la nueva columna contiene el recuento de puntos y, en este caso, la suma de las muertes registradas en el campo de peso que fue seleccionado. Para visualizar el contenido de la tabla, seleccione la capa “numero_de_victimas_poligonos_voronoi” haciendo clic sobre el nombre de la misma, la capa se resaltará. Para visualizar la tabla de atributos haga clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos observe que hay una columna con el nombre “NUMPOINTS” la cual contiene el recuento de víctimas dentro de cada polígono de Voronoi-Thiessen.

Figura 3.21. Resultado del recuento del número de muertes por polígono

	fid	nombres_ca	NUMPOINTS
1	12	Vigo Street	5,000,000,000...
2	9	Bridle Street	47,000,000,000...
3	13	Tichborne Str...	1,000,000,000...
4	10	Rupert Street	78,000,000,000...
5	8	Warwick Street	17,000,000,000...
6	6	Little Marlbo...	68,000,000,000...
7	7	Broad Street	306,000,000,000...
8	4	Newman Str...	39,000,000,000...
9	5	Marlboroug...	1,000,000,000...
10	2	Castle St East	4,000,000,000...
11	3	Berners Street	12,000,000,000...
12	11	Dean Street	0
13	1	Market Place	0

Interpretación de los resultados

En la figura 3.19 se puede observar la zonificación lograda con los polígonos de Voronoi-Thiessen, en la misma se destaca que las zonas que se encuentran al norte y sur de Broad Street tienen una alta densidad de bombas de agua, mientras que, la parte central de toda el área de estudio solo se observan un par de pozos de agua (Little Marlborough Street / Carnaby St. y Broad Street), esta situación quizá pudo haber condicionado el resultado final del brote de cólera de 1854.

La cuantificación obtenida del recuento de víctimas en cada polígono de Voronoi-Thiessen construido, permite realizar una rápida asociación entre el pozo de agua de Broad Street y la mayoría de las víctimas, al observar los resultados obtenidos en la figura 3.21, se concluye que del total de casos (578), 306 se ubican dentro del área de influencia de la bomba de Broad Street, llegando a representar el 52,94% de los casos cartografiados en el mapa de Snow.

3-C. INTERPOLACIÓN CON KRIGING: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂) EN LA MEGACIUDAD BUENOSAIRES

El incremento del consumo de combustibles fósiles en el ámbito mundial para suplir las necesidades de la sociedad actual, ha incidido en el aumento significativo de la contaminación atmosférica. Las evidencias son abundantes, una de las más notorias y conocidas es la acelerada intensificación en la concentración de CO₂. Sin embargo, existen otros contaminantes tan dañinos como este: el ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), amoníaco (NH₃), partículas suspendidas totales (PST) y partículas materiales (PM_{2,5} y PM₁₀).

En las grandes urbes la contaminación atmosférica proviene de diversas fuentes, entre las que destacan las emisiones de los vehículos automotores, zonas industriales, quema de basura, manipulación de materiales volátiles, etc. La contaminación en el aire ya genera secuelas tanto en la salud de los seres vivos, como daños en los materiales e infraestructuras urbanas, causando disconformidad en la población. En el caso de las zonas urbanas es frecuente que la población se encuentre expuesta durante largo tiempo a altos niveles de contaminación atmosférica (Montes Galbán y Hurinson Prettes, 2013) lo que está generando un efecto directo en la salud pública y ve reflejado en el incremento de los índices de enfermedades del aparato respiratorio (insuficiencia respiratoria obstructiva, bronquitis crónica aislada o acompañada de enfisemas puros, cáncer de pulmón, enfermedades cardiovasculares, etc.).

Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud para el 2016, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de defunciones prematuras (OMS, 2021).

No todas las grandes ciudades cuentan con redes de monitoreo con una densidad territorial adecuada para evaluar la calidad del aire, y como es sabido las limitaciones de recursos solo permiten monitorear y

determinar la concentración de algunos contaminantes en aire en una cantidad limitada de lugares (Mazzeo y Venegas, 2011). Es por ello, que la utilización y evaluación de métodos de interpolación espacial tanto de tipo determinísticos como probabilísticos en el estudio espacio-temporal de variables ambientales es cada vez mayor.

El método de interpolación espacial probabilístico denominado Kriging se ha probado de manera satisfactoria en el estudio de la contaminación del aire en áreas urbanas (Rangel Sotter, Sánchez Ipiá, Siabato Vaca y Cely Pulido, 2002; Romero, Montes Galbán y Franco, 2007; Cañada Torrecilla, Vidal Domínguez y Moreno Jiménez, 2010). En este caso, será utilizado con el objetivo de estimar la distribución espacial de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) en el área comprendida por la Megaciudad Buenos Aires, la cual es considerada como una de las regiones urbanas más grandes de América Latina superando en la actualidad los catorce millones de habitantes. Para lograr el objetivo propuesto, se fundamenta la aplicación en las fórmulas [44] y [45] descritas en el apartado metodológico, referidas al semivariograma experimental y al método Kriging Ordinario (OK, Ordinary Kriging).

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) A partir de la nube de puntos generada en el semivariograma experimental ¿Cuál es el modelo teórico con el mejor ajuste para lograr el modelamiento del semivariograma de la variable en estudio?
- b) ¿Qué distribución espacial continua presentan las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) mediante la estimación con el método Kriging Ordinario?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base de datos geográfica está conformada por dos (2) capas en formato *Shapefile* (Tabla 6)⁷. La capa temática “Puntos_muestreados NO_2 ”

⁷Para acceder a la descripción de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile* y otros, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR:

https://www.researchgate.net/publication/355470251_Base_de_datos_geografica_Muestreo_espacial_de_la_concentracion_de_dioxido_de_nitrogeno_NO2_Megaciudad_Buenos_Aires_19-10-2021?channel=doi&linkId=6171ad3e766c4a211c089681&showFulltext=true



contiene los puntos (132) con los valores muestreados de dióxido de nitrógeno en moles por metro cuadrado (mol/ m^2) para el periodo (2021-10-19-00_00 / 2021-10-19-23_59); la segunda capa contiene un polígono que corresponde a la representación cartográfica (2012) del área comprendida por la Megaciudad Buenos Aires ya utilizada en las aplicaciones anteriores.

Tabla 6. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
Puntos_muestreados_NO2	Puntos - Shapefile	“Z_Original” valores originales de dióxido de nitrógeno medidos en moles por metro cuadrado (mol/ m^2) – numérico. “Z” con los valores de dióxido de nitrógeno multiplicados por 1000 – numérico	Montes Galbán (2021d)
“Luminosidad_urbana_BA_2012_POSGAR-6”	Polígonos- Shapefile	Sin datos	Buzai y Montes Galbán (2020)

Fuente: elaboración propia, 2021.

Para la resolución de la aplicación será necesario la instalación del complemento *Smart-Map Plugin* (SMP)  de QGIS (Pereira, Magalhães Valente, Marcal de Queiroz, de Freitas Coelho y Carmelino Hurtado, 2021) a través de las herramientas que provee se generaran los semivariogramas experimental, teóricos e interpolaciones mediante el método Kriging Ordinario.

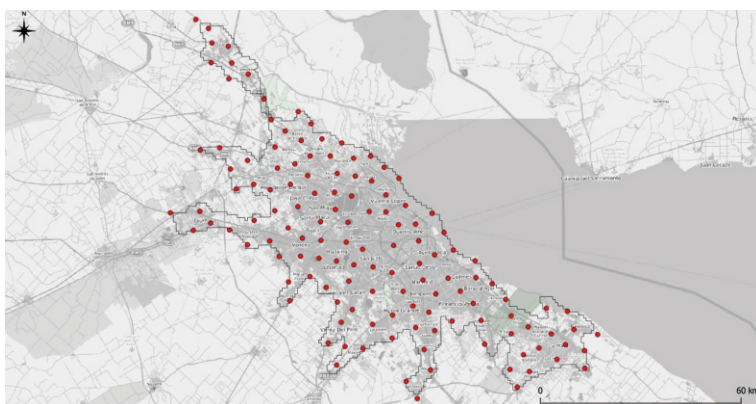
Procedimiento

El procedimiento para el análisis Geoestadístico a seguir se encuentra estructurado en una metodología compuesta por seis etapas: análisis preliminar, análisis exploratorio de datos, estimación del semivariograma experimental, modelación del semivariograma, validación del modelo, estimación con Kriging.

Paso 1: Análisis preliminar

Una vez seleccionada la variable a interpolar, la obtención de un resultado satisfactorio del análisis Geoestadístico depende en gran medida de tener una muestra representativa de la variable a estudiar, asimismo también es importante que el área a interpolar esté contenida dentro de la nube de puntos de muestreo, ya que estos métodos no funcionan de manera óptima en procesos de extrapolación. En la figura 3.22 se observa la nube de 132 puntos de muestreo utilizada en la presente aplicación.

Figura 3.22. Nube de puntos obtenida por método de muestreo aleatorio espacial



Paso 2: Análisis exploratorio de datos (AED)

Previo al análisis Geoestadístico como tal, en esta etapa se debe identificar localización, variabilidad, forma y observaciones extremas (Giraldo Henao, 2002). El primer aspecto que se debe estudiar es la

distribución que tienen los datos, esto es importante porque los métodos geoestadísticos funcionan de manera óptima si la variable sigue una distribución de probabilidad normal. Asimismo, se debe buscar si la muestra tiene alguna tendencia y valores atípicos, esto último permite decidir si deben incluirse o retirarse datos de la muestra. La caracterización estadística de la muestra se puede llevar a cabo en algunos casos directamente en los *Software* SIG o mediante la aplicación de un paquete de procesamiento de hoja de cálculo o paquete estadístico.

En el caso analizado se obtuvieron las estadísticas descriptivas a través de un paquete de hoja de cálculo (Tabla 7). Entre las medidas que permiten determinar numéricamente algunas características de la forma en que están distribuidos los datos están el coeficiente de asimetría (coeficiente de sesgo) y el coeficiente de curtosis, si los datos varían entre -3 y 3 están dentro de una distribución de probabilidad normal. En el caso evaluado se tiene un coeficiente de asimetría de 1,62 y un coeficiente de curtosis de 1,43 por lo que los datos se encuentran dentro de una distribución normal.

Tabla 7. Estadísticas descriptivas de la muestra

Media	0,20
Mediana	0,10
Moda	0,06
Desviación estándar	0,23
Curtosis	1,43
Coeficiente de asimetría	1,62
Rango	0,83
Mínimo	0,01
Máximo	0,84
Suma	26,83
Cuenta	132,00
Mayor (1)	0,84
Menor(1)	0,01

Fuente: elaboración propia, 2021.

Paso 3: Ingresar a QGIS

Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

Paso 4: Visualizar las capas con los datos de entrada y guardar proyecto.

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial” . Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta ventana puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar” , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “Luminosidad_urbana_BA_2012_POSGAR-6” debe seleccionar el archivo con extensión .shp, finalmente haga clic en “Abrir” y luego en “Añadir”. Repita el procedimiento para cargar la capa “Puntos_muestreados_NO2”. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

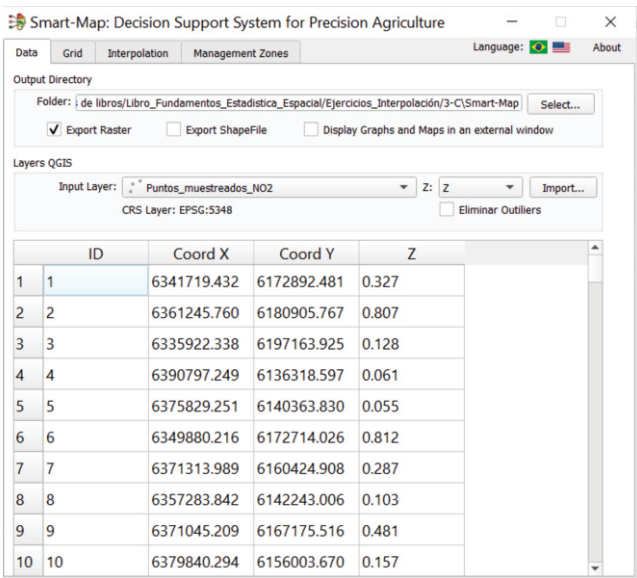
Para realizar un análisis de los datos puntuales dentro de su contexto geográfico, se sugiere que cargue el mapa base *XYZ Tile* “OpenStreetMap” desde el “Panel Navegador (2)” (una vez abierto desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”. Asimismo, para facilitar la interpretación visual de los datos puede cambiar la simbología de la capa “Luminosidad_urbana_BA_2012_POSGAR-6”, ingresando en las “Propiedades” a través de un clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre de la capa, luego seleccione la solapa “Simbología/Relleno simple/Estilo de relleno” y seleccione “sin relleno”, finalmente haga clic en Ok.

Para finalizar guarde el proyecto bajo el nombre “Aplicación3-C”, para esto haga clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas de la ventana principal, esto es necesario para luego poder ejecutar el complemento *Smart-Map Plugin* (SMP).

Paso 5: Abrir el complemento *Smart-Map* e importar datos de la capa.

Una vez instalado el complemento *Smart-Map* puede ingresar al mismo a través del menú “Complementos / *Smart-Map*” o utilizando el botón  que se encuentra en la barra de herramientas principal. En la solapa “Data” seleccione como Input Layer “Puntos_muestreados_NO2”, en la opción “Z” seleccione “Z” como campo que contiene los datos de la variable a interpolar, luego desmarque la opción “Eliminar Outliers” ya que se utilizaran todos los puntos de la muestra. Por último, presione “Import...”, se cargará una tabla con 132 puntos, conteniendo en el campo “Z” los valores de NO2. Es importante aclarar que los valores de dióxido de nitrógeno fueron multiplicados por 1000, esto se hizo para solucionar el problema que tienen algunos paquetes de software con los números muy pequeños en las unidades originales.

Figura 3.23. Complemento *Smart-Map*



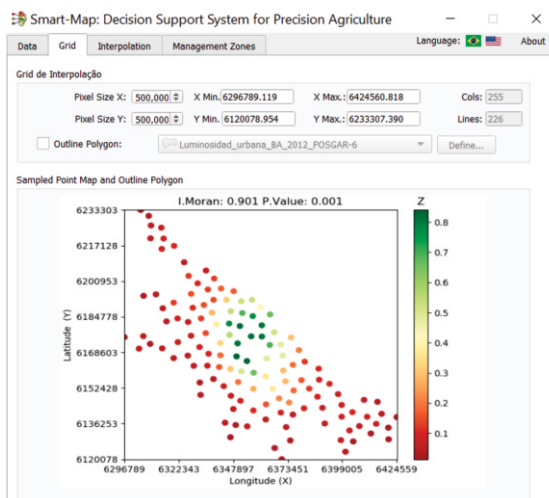
Paso 6: Configuración del Grid de interpolación

Haga clic en la solapa “Grid”, en esta ventana se configura el tamaño de la cuadrícula de interpolación, en este caso se ajustará la

resolución espacial de la capa de salida con un tamaño de píxel de 500x500 metros, ajuste las opciones Pixel Size X= 500 y Pixel Size Y= 500. Deje los valores de coordenadas máximo y mínimo como aparecen por defecto, ya que la aplicación los ajusta automáticamente a las coordenadas extremas de la capa de entrada. En la opción “Outline Polygon” no debe hacer ninguna selección, ya que se quiere utilizar todos los puntos de muestra, incluso los que están fuera del área de estudio, esto permitirá tener una mejor estimación en los límites del área de estudio.

En la parte inferior de la ventana se muestra el mapa de puntos muestreados con la información del Índice Global de Moran y su valor p, esta información es fundamental para el proceso de análisis exploratorio de datos, específicamente del “Análisis Exploratorio de Datos Espaciales – AEDE”, ya que permite corroborar la existencia de autocorrelación espacial de la variable en estudio, el Índice Global de Moran es una herramienta de gran ayuda para constatar la presencia o ausencia de autocorrelación espacial. En este caso, un I de Moran = 0,901 indica una alta autocorrelación espacial positiva, es decir que existe similitud entre el valor de la variable y los valores de las unidades espaciales vecinas. Por último, la barra de colores a la derecha del mapa muestra la información sobre los valores observados en los puntos muestreados para el atributo a interpolar.

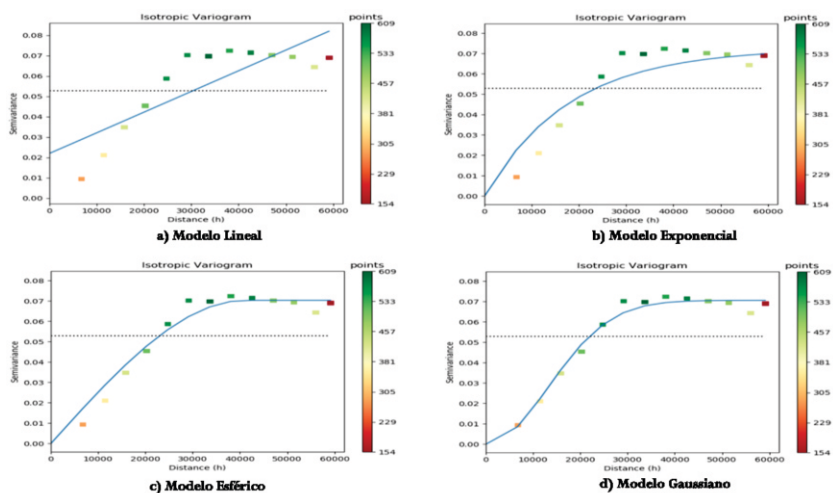
Figura 3.24. Configuración del Grid de interpolación



Paso 7: Estimación del semivariograma experimental y modelación del semivariograma.

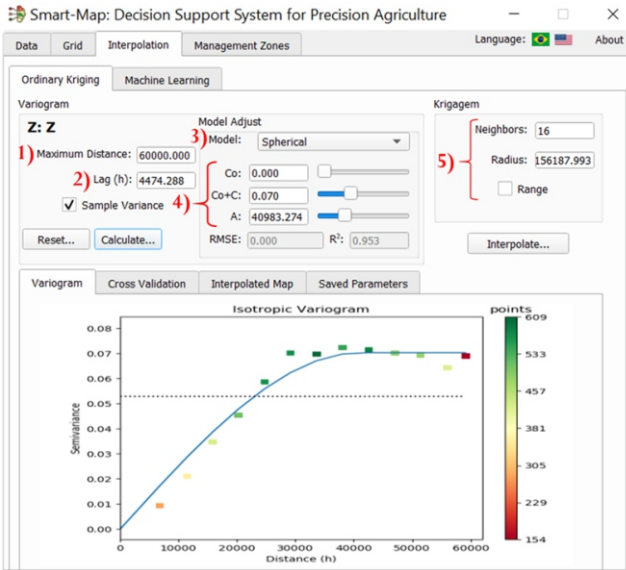
Haga clic en la solapa “Interpolation / Ordinary Kriging”, luego haga clic en el botón **Calculate...** para generar el semivariograma experimental y buscar el modelo teórico que mejor se ajuste (Lineal, Exponencial, Esférico y Gaussiano), en la figura 3.25, se pueden observar los resultados gráficos para diferentes modelos. En esta etapa es importante tener en cuenta que para obtener resultados óptimos se debe realizar un proceso iterativo en base a los parámetros estadísticos y al conocimiento sobre el comportamiento de la variable en el área estudio. En la práctica se repite el procedimiento tantas veces como sea necesario hasta conseguir el mejor modelo Geoestadístico para la variable tratada.

Figura 3.25. Semivariograma experimental y ajuste con varios modelos teóricos



Para obtener el modelamiento del semivariograma que se utiliza en la presente aplicación, debe ajustar los parámetros de acuerdo a lo establecido en la figura 3.26, una vez realizada la configuración haga, nuevamente clic en el botón **Calculate...** y observe el ajuste final entre la nube de puntos y el modelo teórico seleccionado.

Figura 3.26. Ajuste del semivariograma

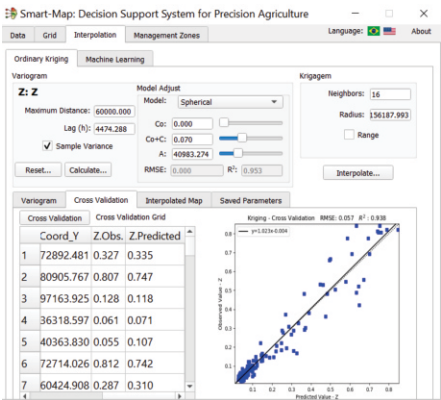


(1) Ajuste el valor de la distancia máxima en 60.000. Se llegó a este valor de manera iterativa tomando en cuenta el menor valor en el RMSE y los valores más cercanos a 1 en el R^2 . (2) El ajuste de los “Lag” debería ser similar al espaciado de los datos. Si los datos no están regularmente espaciados se debe elegir como distancia la menor separación entre los datos. En este caso el valor es 4.474,288. (3) Selección del modelo teórico que mejor se ajuste a la nube de puntos. Después de probar todas las opciones, para el caso en estudio seleccione el modelo “Spherical”. El modelo “esférico” es uno de los modelos más utilizados en la práctica, es indicativo de fenómenos continuos, en este caso fue seleccionado porque brinda un mejor resultado en la representación de la variable modelizada. (4) Para definir el semivariograma es posible realizar ajustes en los parámetros del efecto pepita (C_0), la meseta (C_0+C) y, el alcance (A). En este caso se dejaron los valores del ajuste inicial realizado automáticamente por la aplicación a través del método de mínimos cuadrados. (5) Ajustes para definir la vecindad de análisis. Si se quiere restringir el radio a la distancia de alcance (A) del semivariograma se debe seleccionar la opción “Range”. En este caso dejar la configuración que aparece por defecto.

Paso 8: Validación del modelo

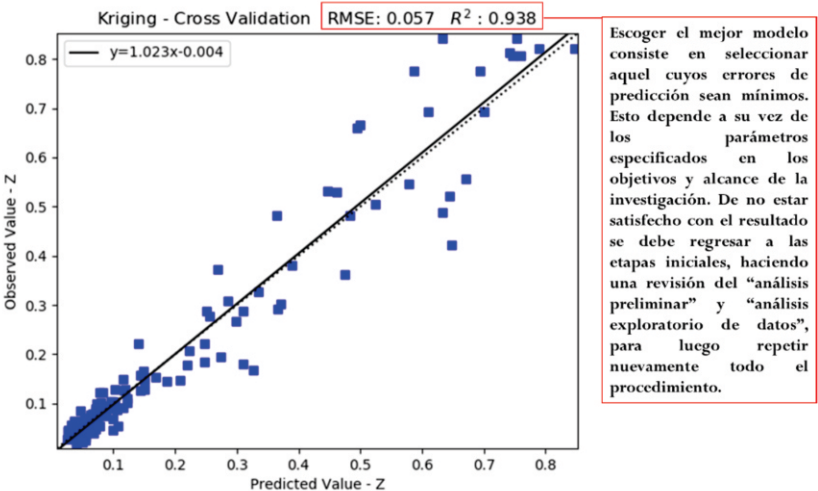
La verificación del error de predicción se hace a través del procedimiento denominado “Validación Cruzada”. Haga clic en la solapa “Cross Validation” y luego en el botón con el mismo nombre Cross Validation se obtendrán el gráfico de validación cruzada junto con los índices estadísticos del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés, *root mean squared error*) y el R^2 (coeficiente de determinación). Asimismo, se obtiene una tabla con una columna para los valores observados “Z.Obs.” y otra para los valores predichos “Z.Predicted”.

Figura 3.27. Ventana de la Validación Cruzada



El error cuadrático medio (RMSE) cuantifica cuán diferente son un conjunto de valores. Cuanto más pequeño es un valor de RMSE, más cercanos son los valores predichos y observados, es decir mejor es el modelo. El R^2 tiene una escala intuitiva, va de 0 a 1, indicando el 0 que el modelo propuesto no mejora la predicción sobre el modelo medio y 1 indicaría una predicción perfecta.

Figura 3.28. Resultado de la Validación Cruzada

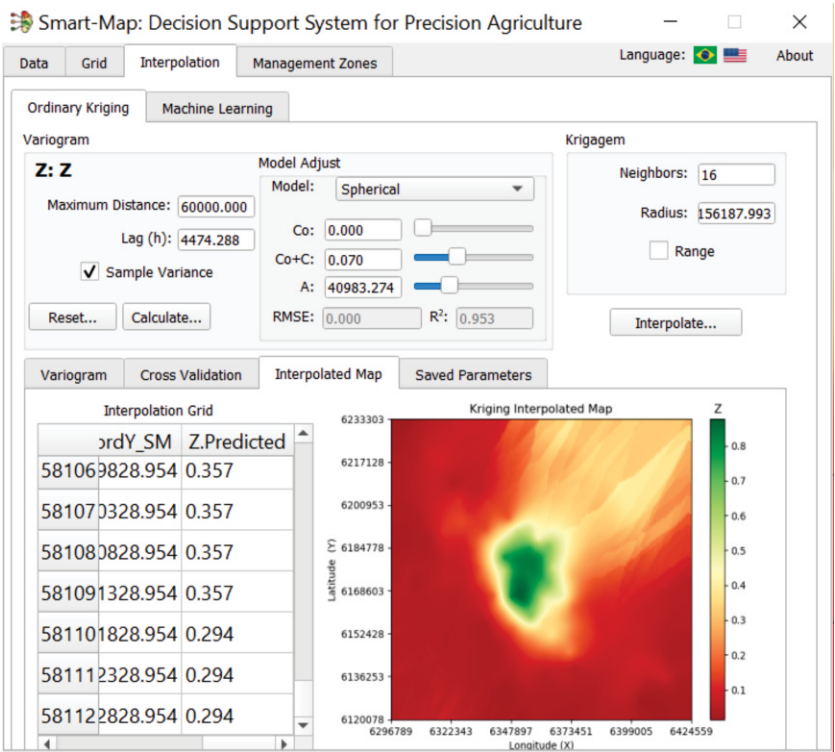


Paso 9: Estimación con Kriging Ordinario

Una vez detectada la estructura de autocorrelación espacial para la variable estudiada, la etapa final del análisis Geoestadístico consiste en generar la estimación de la variable en los puntos no muestrales. Haga clic en el botón **Interpolate...** observe que al finalizar el proceso aparecerá en la solapa “Interpolated Map” la imagen con la variable interpolada para toda el área de estudio, al mismo tiempo se cargará en la ventana de trabajo de QGIS.

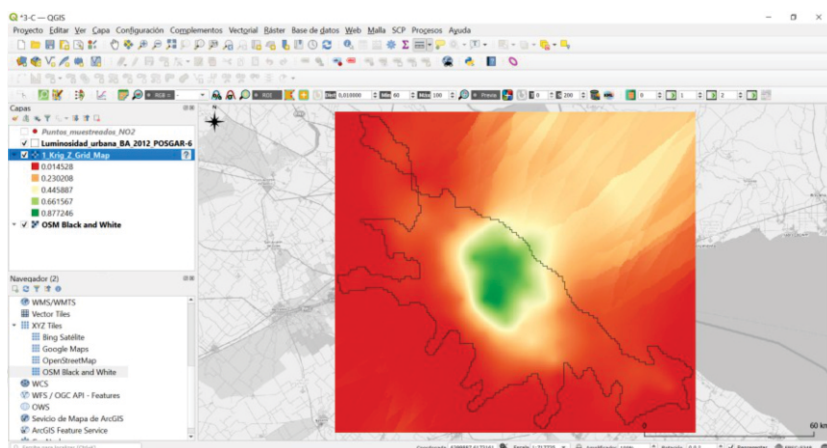
Tenga en cuenta que ingresando en la solapa “Saved Parameters” es posible guardar todos los parámetros de configuración utilizados en el proceso previo a la interpolación.

Figura 3.29. Ventana *Interpolated Map*



Al minimizar la ventana de trabajo del complemento Smart-Map” e ingresar nuevamente en la ventana principal de *QGIS*, observe que se cargó en el “Panel de capa” una nueva capa raster con el nombre “1Krig_Z_Grid_Map” con el resultado de la estimación generada en el procedimiento de interpolación. Al interpretar la imagen (Figura 3.30) como en la medida que se aleja del área con los puntos de muestra (observaciones) el resultado deja de ser satisfactorio, en estas áreas el error en la estimación es mayor, porque como ya se mencionó estos métodos no funcionan bien en procesos de extrapolación.

Figura 3.30. Visualización del resultado de la interpolación en *QGIS*



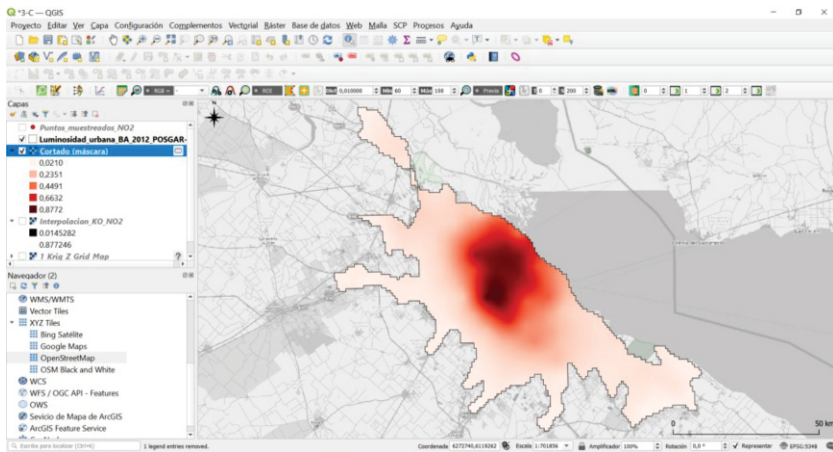
Paso 10: Ajuste de la interpolación a los límites del área de estudio

Por último, se recomienda ajustar la representación cartográfica final al área de interés. Para lograr esto se debe recortar la capa raster obtenida. Guarde la imagen “1Krig_Z_Grid_Map” haciendo clic derecho sobre el nombre de la capa, ingrese en “Exportar / Guardar como...”, guarde la imagen con el nombre “Interpolacion_KO_NO2”, en la opción SRC seleccione el “EPSG:5348 – POSGAR 2007 / Argentina 6”, deje el resto de las opciones con los valores que aparecen por defecto y haga clic en “Ok”. Para ajustar los límites proceda a cortar la capa, ingresando al menú “Raster / Extracción / Cortar raster por capa de máscara...”. En la

opción capa de entrada seleccione “Interpolacion_KO_NO2”, en la opción capa de máscara seleccione “Luminosidad_urbana_BA_2012_POSGAR-6”. Finalmente, haga clic en “OK” y “Clouse”.

Obtendrá una nueva capa con los datos interpolados únicamente para el área de estudio. Para visualizar la capa con otra rampa de colores haga clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre de la capa “Cortado (máscara)”, luego ingrese en la opción “Propiedades”. En la solapa “Simbología”, seleccionar en “Tipo de renderizador” la opción “Pseudocolor monobanda”, en la opción “Rampa de color / Todas las rampas de color” seleccionar la opción “Reds”, haga clic en el botón “Clasificar”. Luego ingrese en la solapa “Transparencia” y en la opción “Valores adicionales sin datos” coloque “0”. Para finalizar, haga clic en “Aplicar” y luego “Ok”.

Figura 3.31. Concentraciones de NO₂ - Megaciudad Buenos Aires (19-10-2021)



Interpretación de los resultados

El mapa final obtenido ilustra la distribución espacial estimada de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el área comprendida por la Megaciudad Buenos Aires (para tener una lectura del dióxido de nitrógeno en sus valores de registro originales, es necesario dividir la capa obtenida en el resultado final entre 1000). De acuerdo a los resultados obtenidos

aplicando el método Kriging Ordinario para la muestra del 19 de octubre de 2021 desde las 00:00 hasta las 23:59, la mayor concentración de NO₂ (representada por los tonos más oscuros) se encuentra en la parte noroeste de la Ciudad de Buenos Aires (ciudad central del área de estudio) y once municipios con contigüidad espacial que forman parte del Gran Buenos Aires (General San Martín, Hurlingham, Malvinas Argentinas, Morón, San Miguel, San Fernando, San Isidro, Tres de Febrero, Vicente López, norte de La Matanza y sur de Tigre). Las menores concentraciones se distribuyen de forma homogénea en el resto del área estudiada (representada por los tonos más claros).

El análisis Geoestadístico realizado permitió hacer un manejo detallado de los datos de entrada, teniendo el control del error de las predicciones desde la misma formulación del algoritmo de interpolación, asimismo, permite conocer el grado de autocorrelación entre los puntos muestreados para poder modelarla y dar como resultado la estimación (Rangel Sotter *et al.*, 2002). Es una de las herramientas más eficientes al momento de realizar estimaciones de variables ambientales con distribución continua en el espacio.

3-D. MODELADO KERNEL: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ROBOS EN LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES MEDIANTE MAPAS DE CALOR

El interés de la Geografía por el estudio de los delitos (Geografía del Delito o Geografía del Crimen) y su análisis en conjunto con otras variables sociales, económicas y políticas ha ido creciendo en las últimas décadas (Lahosa, 2002). Los enfoques geográficos de la (in)seguridad, cuyo concepto está vinculado a la mayoría de las líneas temáticas afines a la Geografía del Crimen (miedo, victimización, estigmatización, delitos, etc.) son de gran interés para la comunidad geográfica (Conte y Merlo, 2020). Aun cuando existe una diversidad de abordajes sobre el tema, el aporte desde una focalización espacial va cobrando cada vez mayor relevancia no solo para los geógrafos, sino también para especialistas de otras disciplinas (Ciencias Políticas, Criminología, Sociología, Antropología), interesados en la contribución que se brinda desde la Geografía con una perspectiva espacial.

Los problemas delictivos tienden a ser uno de los temas de mayor preocupación en las grandes ciudades, y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) no es la excepción. Si bien es cierto que se ha registrado una disminución de los robos (apoderamiento de una cosa con violencia hacia la persona o el objeto, SSCIC, 2021) y hurtos (apoderamiento de una cosa sin violencia sobre la persona o el objeto, SSCIC, 2021) para el periodo 2016 – 2020, según cifras de la Subsecretaría de Seguridad Comunal e Investigación Criminal (2021) en el año 2019 se registró un promedio mensual de 9.348 robos y hurtos consumados, mientras que para el 2020 la cifra alcanzó los 5.010.

La presente aplicación tiene como objetivo analizar la distribución espacial de los hechos delictivos (robos totales) en CABA acaecidos durante el mes de enero de 2020, asimismo se busca identificar los *hot spot* o zonas calientes.

Para el logro de los objetivos propuestos la aplicación se fundamenta en la formulación matemática descrita en el punto sobre “Modelado Kernel” del apartado metodológico, también conocido como

densidad Kernel. Dicha técnica cuantitativa permite la representación espacial de los *hot spot* (puntos de calor), que a nivel general permiten realizar mapas de calor, el término hace referencia al área (o áreas) geográfica donde existe alta concentración de un hecho o fenómeno, en este caso referido a la ocurrencia de los delitos tipificados como robos, estudios con antecedentes lejanos en el campo de la sociología (Shaw y Mckay, 2014 [1942]).

Los mapas de calor constituyen una técnica fundamental en el análisis espacial del delito, en la actualidad su construcción se facilita gracias al análisis espacial cuantitativo estandarizado en herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica.

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) ¿Cómo se distribuyen espacialmente los valores locales de delitos por robo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires?
- b) ¿Dónde se localizan los *hot spot* o puntos calientes de delitos por robo en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base de datos geográfica está conformada por una (1) capa en formato *Shapefile* (Tabla 8)⁸. La capa temática “CABA_robos_total_enero-2020” contiene 48 puntos (centroides) como los lugares espacialmente más representativos de los barrios de la CABA, el atributo asociado a cada centroide corresponde al conteo por barrio de la variable “Robo Total” denunciados durante el mes de enero de 2020.

⁸Para acceder a la descripción de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile*, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR: https://www.researchgate.net/publication/355008224_Base_de_datos_geografica_Distribucion_espacial_de_los_robos_por_barrio_centroides_en_la_Ciudad_Autonomade_Buenos_Aires_enero_de_2020



Tabla 8. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
CABA_robos_total_enero-2020	Puntos - Shapefile	“NUMPOINTS” conteo total de robos – numérico.	Montes Galbán (2021c)

Fuente: elaboración propia, 2021.

Para el desarrollo de la aplicación se utiliza la herramienta “Mapas de calor”  **Mapa de calor** disponible como una de las posibilidades de representación de variables en formato vectorial presentes en el *software* QGIS (QGIS Development Team, 2020).

Procedimiento

Paso 1: Ingresar a QGIS

Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

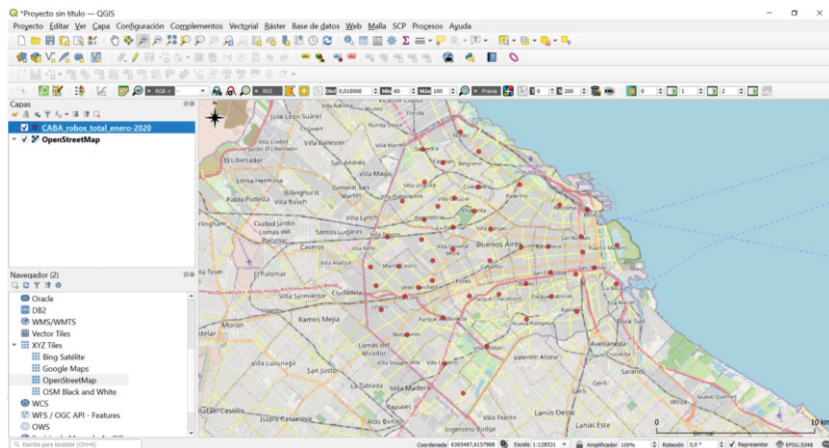
Paso 2: Visualizar las capas con los datos de entrada.

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial” . Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta ventana puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar” , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “CABA_robos_total_enero-2020” debe seleccionar el archivo con extensión .shp. Finalmente, seleccionar “Abrir” y luego “Añadir”. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

Para realizar un análisis de los datos puntuales dentro de su contexto geográfico, se sugiere que cargue el mapa base XYZ Tile “OpenStreetMap” desde el “Panel Navegador (2)” (una vez abierto desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”.

En la capa desplegada se visualizan 48 puntos que corresponden a los centroides de los barrios que conforman de la CABA.

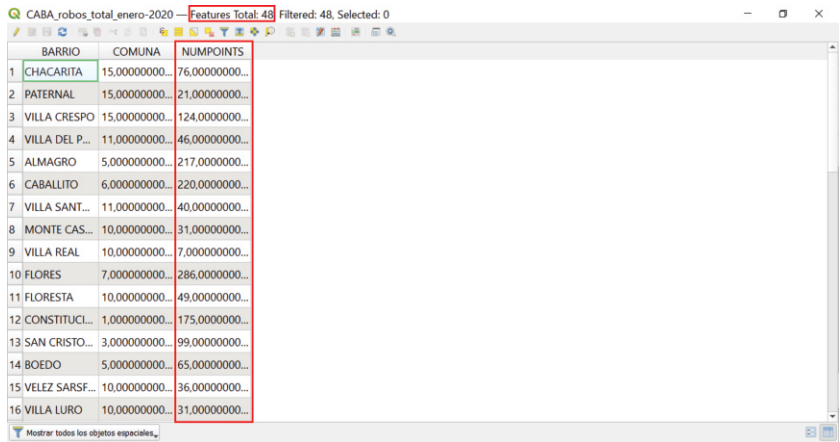
Figura 3.32. Visualización de las capas



Paso 3: Visualizar datos de la tabla de atributos

Para visualizar el contenido de la tabla de atributos, seleccione la capa “CABA_robos_total_enero-2020” haciendo clic sobre el nombre de la misma, la capa se resaltará. Abra la tabla de atributos haciendo clic en el botón  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos observe que hay un total de 48 registros (puntos - centroides), cada punto tiene asociado el número total de robos denunciados durante enero de 2020, esto se puede observar en el campo con el nombre “NUMPOINTS”.

Figura 3.33. Visualización de la tabla de atributos



	BARRIO	COMUNA	NUMPOINTS
1	CHACARITA	15.000000000...	76.000000000...
2	PATERNAL	15.000000000...	21.000000000...
3	VILLA CRESPO	15.000000000...	124.000000000...
4	VILLA DEL P...	11.000000000...	46.000000000...
5	ALMAGRO	5.000000000...	217.000000000...
6	CABALLITO	6.000000000...	220.000000000...
7	VILLA SANT...	11.000000000...	40.000000000...
8	MONTE CAS...	10.000000000...	31.000000000...
9	VILLA REAL	10.000000000...	7.000000000...
10	FLORES	7.000000000...	286.000000000...
11	FLORESTA	10.000000000...	49.000000000...
12	CONSTITUCI...	1.000000000...	175.000000000...
13	SAN CRISTO...	3.000000000...	99.000000000...
14	BOEDO	5.000000000...	65.000000000...
15	VELEZ SARSF...	10.000000000...	36.000000000...
16	VILLA LURO	10.000000000...	31.000000000...

Paso 4: Construcción del mapa de calor (Densidad Kernel)

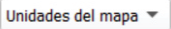
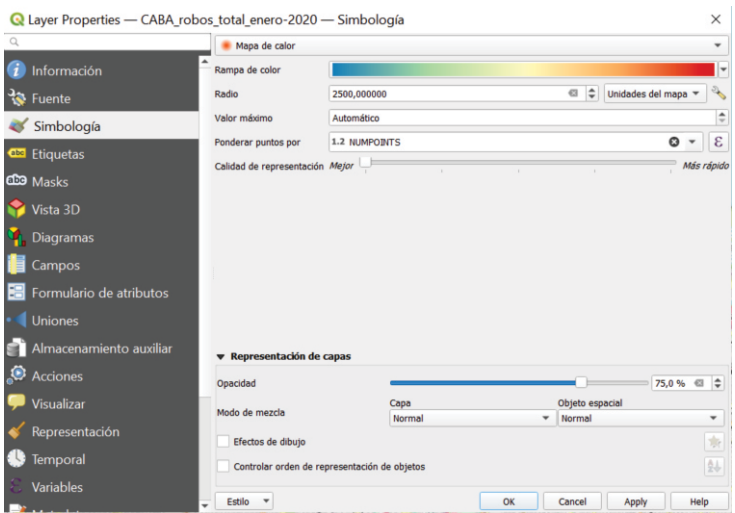
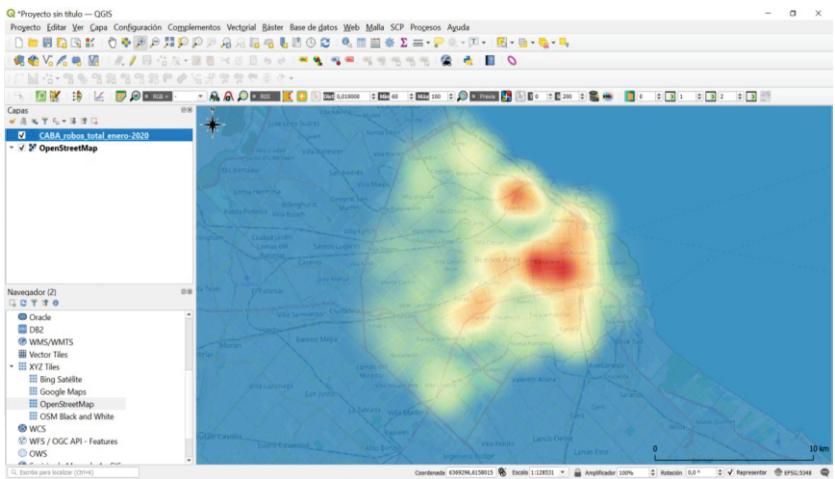
El siguiente paso permitirá obtener un mapa temático de densidad Kernel con la distribución espacial de los hechos delictivos (robos totales) en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Haga doble clic sobre el nombre de la capa “CABA_robos_total_enero-2020”, en la ventana “Propiedades de la capa” ingrese a la solapa “Simbología”, luego cambie la opción “Símbolo único” por “Mapa de calor”  **Mapa de calor** , en la opción “Rampa de color” seleccione la opción “Spectral”, luego haga clic en “invertir rampa de color”. Para configurar el radio de búsqueda debe establecer como unidades de medida la opción “Unidades del mapa”  esto permitirá trabajar los valores en metros, luego coloque como valor del “radio” de búsqueda o ancho de banda que representa el alcance máximo de influencia del punto, en 2.500 m. En la opción “Valor máximo” deje la opción que aparece por defecto “Automático”, en la opción “Ponderar puntos por” (considerar una influencia diferencial según un campo temático) seleccione el campo “NUMPOINTS”. En el control deslizante seleccione como compensación entre velocidad de renderización y calidad la opción “Mejor”. En la opción “Representación de capas” ajuste la “Opacidad” a un 75%. Para finalizar, haga clic en “Ok”.

Figura 3.34. Configurar los parámetros para generar el mapa de calor



En el mapa de calor obtenido a través del método de modelado Kernel es posible observar la distribución espacial de las densidades de la variable “robos totales” en el área de estudio, destacándose los puntos calientes. Aclaramos que es posible obtener un mapa en formato raster al definirlo en las opciones de “interpolación/mapa de calor (estimación de densidad de núcleo)”.

Figura 3.35. Resultado del modelado Kernel para la variable robos totales



Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos aplicando el método de modelado Kernel permiten observar las densidades que representan la tendencia en la pauta general de distribución de los “robos”, las mayores concentraciones de la ocurrencia de robos durante el mes de enero de 2020 se distribuyen de forma general en zonas al este y sur de la ciudad (representado por los colores cálidos). Las menores concentraciones están distribuidas principalmente hacia el oeste (representado por los colores fríos). Asimismo, se identifican tres zonas calientes, una gran área que tiene como epicentro los barrios de Almagro y Balvanera al centro-este de la ciudad, otra gran área al noreste centrada en el barrio de Palermo y una tercera zona de menor densidad en el barrio de Flores.

A partir de los resultados obtenidos y del análisis de la distribución espacial del delito, es posible avanzar en el análisis de los factores locales generadores de las actividades delictivas, así como determinar los grupos de la población más vulnerables. Por otro lado, la identificación de puntos calientes del delito permite focalizar la implementación y asignación de respuestas adecuadas tendientes a la reducción de los hechos delictivos.

4. ACCESIBILIDAD ESPACIAL: DEMANDA POTENCIAL EN LOS HOSPITALES PÚBLICOS DE LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN

El campo específico de la Geografía definido como Geografía de la Salud aporta en la actualidad propuestas de soluciones territoriales a una serie de problemáticas relacionadas con los temas sanitarios y epidemiológicos. Al respecto Santana Juárez y Montes Galbán (2019) definen esta área temática como la encargada de estudiar el comportamiento espacio-temporal de las enfermedades, sus factores condicionantes, así como también lo relacionado a los sistemas de salud. El tema presentado se enmarca dentro de este último aspecto, ya que la evaluación de los espacios con mayor y menor cantidad recursos sanitarios, accesibilidad espacial, temporal o económica a los servicios (equipamientos e instalaciones) permite identificar aquellas áreas que se encuentran en situación desfavorable o crítica, con la finalidad de privilegiar así la dotación de recursos físicos y humanos (Ramírez, 2007).

El creciente uso de la Geoinformática en el marco de la Geografía de la Salud ha aumentado la capacidad para formular y evaluar hipótesis sobre la distribución espacial de las condiciones ambientales y sociales (Buzai, 2015) convirtiéndose en una herramienta fundamental en los procesos de planificación y gestión territorial a diferentes escalas espaciales y temporales.

La presente aplicación tiene como objetivo evaluar la adecuación de las localizaciones de los hospitales públicos a la distribución espacial de la demanda potencial de este servicio. Para alcanzar el logro del objetivo es fundamental el concepto de accesibilidad espacial, que para los efectos se entiende “como una medida relativa de la mayor o menor facilidad de acceso que un punto del espacio tiene a algún tipo de hecho que está distribuido por la misma zona/red de modo irregular” (Oberg, 1976, citado en Bosque Sendra, 1997:221). En este caso el tratamiento del problema está enfocado hacia los costos que deben asumir los usuarios para acceder a los hospitales públicos, aunque las distancias y fricciones son factores que condicionan todo tipo de configuración territorial (Montes Galbán, Cerezo y Romero Méndez, 2020). Los costos de recorrido

pueden depender de muchos factores como, por ejemplo: las características de la red de transporte, del relieve, la disponibilidad de los medios de transporte, la distancia, etc. Este último, es uno de los indicadores de costo más utilizados y más fáciles de calcular. Por lo que, el costo en términos de distancia dependerá del trayecto recorrido entre cada punto de demanda y de oferta del servicio, siendo el costo en este caso, función de la distancia recorrida.

En este caso la demanda potencial del servicio público hospitalario está constituida por la población total de los municipios de la cuenca del río Luján (16 municipios: Campana, Carmen de Areco, Chacabuco, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, José C. Paz, Luján, Malvinas Argentinas, Mercedes, Moreno, Pilar, San Andrés de Giles, San Fernando, Suipacha y Tigre) que de acuerdo con los resultados del último Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010 (INDEC, 2015a) tiene una población de 2.570.689 habitantes, colocando a la región entre una de las más pobladas del país (Montes Galbán, 2019). Lo anteriormente expresado convierte al área de estudio en una zona de interés en cuanto a políticas de planificación y gestión de servicios públicos, especialmente en lo relativo a la planificación territorial sanitaria.

Interrogantes a responder mediante la aplicación

- a) Como función de la distancia; ¿cómo es la accesibilidad espacial de los puntos de demanda urbano-rurales a los centros de servicios de salud (oferta)?
- b) Como función de la distancia y la demanda; ¿cómo es la accesibilidad espacial de la población de demanda potencial del servicio de salud hospitalario en los municipios de la cuenca del río Luján?
- c) ¿Qué magnitud de demanda potencial atiende la oferta de hospitales públicos dentro de una distancia determinada a través de la red de calles?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base de datos geográfica está conformada por cuatro (4) capas en formato *Shapefile* (Tabla 9)⁹. La primera capa temática “hospitales_municipios_cuenca_Lujan” representa la oferta del servicio de salud hospitalario a través de la localización absoluta (coordenadas geográficas) de 39 hospitales públicos (puntos) dentro del área de estudio. La segunda capa “fracciones_censales_municipios_cuenca_Lujan”, contiene la información sobre la demanda potencial del servicio de salud, recogida en 251 unidades espaciales (polígonos) correspondientes a las fracciones censales, que en este caso constituyen las unidades de análisis mínimas en las que se desagrega el área de estudio y que según el INDEC (2015) “son unidades censales, que forman parte de la estructura de relevamiento censal, definidas por un espacio territorial con límites geográficos y una determinada cantidad de unidades de viviendas a relevar. Cada unidad político-administrativa se desagrega en fracciones y cada una de ellas se desagrega a su vez en radios. El tamaño de las fracciones y los radios en áreas urbanas se determina según la cantidad de viviendas. La fracción tiene un promedio de 5000 viviendas mientras que el radio un promedio de 300.”

La tabla de atributos asociada contiene tres campos con datos fundamentales para el desarrollo de los análisis, dos campos de texto, el primero denominado “departa” con la identificación de los municipios (partidos) de la cuenca; el segundo, denominado “Categorias”, con la clasificación de los espacios urbano-rurales; y un tercer campo numérico denominado “N_TOTAL” con los datos de población total. La capa denominada “Centroides_fracciones_censales_cuenca_Lujan” contiene los centroides de cada fracción censal (puntos) considerados como los

⁹Para acceder a la descripción de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato Shapefile, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR: https://www.researchgate.net/publication/355796760_Base_de_datos_geografica_sistematizacion_de_la_oferta_y_demanda_potencial_del_servicio_de_salud_hospitalario_en_los_municipios_de_la_cuenca_del_rio_Lujan



lugares más representativos de la distribución de la demanda. Por último, la capa denominada “red_vial_municipios_cuenca” representa la red vial contenida en área de estudio (cobertura de líneas o red vial representada por los centros de vía).

La resolución de la aplicación se lleva a cabo mediante una serie de funciones que forman parte del núcleo de herramientas de *QGIS*: “Distancia al eje más próximo (línea a eje)”;
 “Estadísticas por categorías”;
 “Área de servicio (desde capa)”
 ; “Extraer por ubicación” y “Mostrar resumen estadístico”
 .

Tabla 9. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
hospitales_municipios_cuenca_Lujan	Puntos Shapefile	– “fna” identificación de los hospitales – texto	Montes Galbán (2021f) con base en datos del IGN (2020)
fracciones_censales_municipios_cuenca_Lujan	Polígonos Shapefile	– “departa” identificación de los municipios – texto. “Categorías” clasificación espacios urbano y rurales – texto. “N_TOTAL” datos de población total – numérico.	Montes Galbán (2019); Montes Galbán y Márquez (2019)
Centroides_fracciones_censales_cuenca_Lujan	Puntos Shapefile	– “departa” identificación de los municipios – texto. “Categorías” clasificación espacios urbano y rurales – texto. “N_TOTAL” datos de población total – numérico.	Montes Galbán (2021f)
red_vial_municipios_cuenca	Línea Shapefile	–	Montes Galbán (2021a) con base en datos del IGN (2020)

Fuente: elaboración propia, 2021.

Procedimiento

Paso 1: Ingresar a QGIS

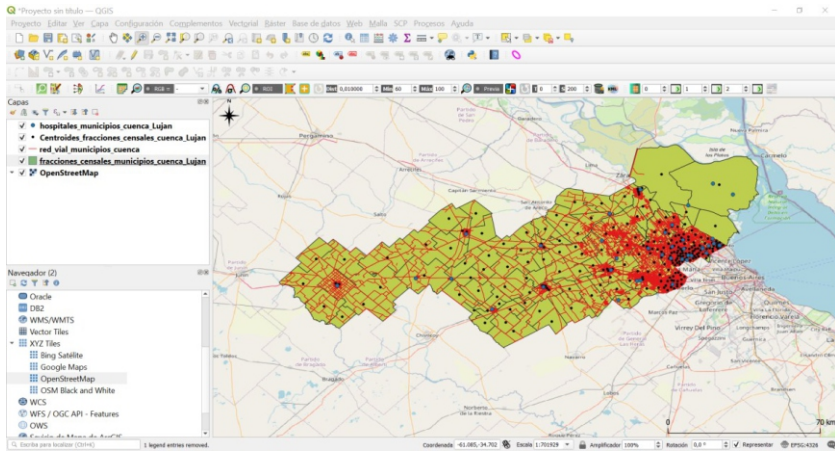
Se encontrará una ventana con el área de trabajo en blanco y el panel de capas sin ninguna capa cargada.

Paso 2: Visualizar las capas con los datos de entrada

Ir al menú “Capa / Añadir Capa / Añadir capa vectorial” . Se abrirá la ventana “Administrador de fuentes de datos”. A través de esta ventana puede realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica. En la opción “Tipo de fuente” dejar la opción que aparece por defecto “Archivo”, y en “Fuente” seleccionar “Explorar” , esto le permitirá buscar en el disco local de su computadora el archivo “fracciones_censales_municipios_cuenca_Lujan” debe seleccionar el archivo con extensión .shp. Finalmente, haga clic en “Abrir” y luego en “Añadir”. Repita el procedimiento para cargar las capas: “red_vial_municipios_cuenca”, “Centroides_fracciones_censales_cuenca_Lujan” y, “hospitales_municipios_cuenca_Lujan”. Por último, cierre la ventana del “Administrador de fuentes de datos” para visualizar las capas en el área de trabajo.

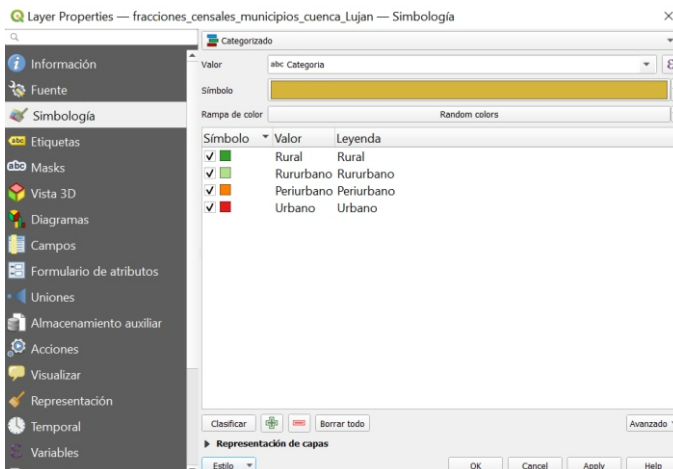
Para realizar un análisis visual de los datos espaciales dentro de su contexto geográfico se sugiere que cargue el mapa base *XYZ Tile “OpenStreetMap”* desde el “Panel Navegador (2)” (desplácelo al final de todas las capas). Si el “Panel Navegador (2)” no se encuentra activado, es posible hacerlo a través del menú “Ver / Paneles”.

Figura 4.1. Visualización de las capas



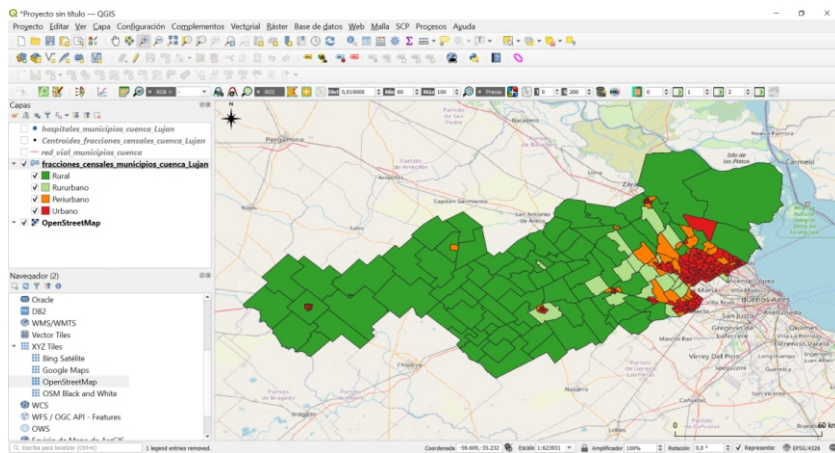
Para visualizar los contextos urbano-rurales del área de estudio, desactive todas las capas en el panel de “Capas” excepto la capa “fracciones_censales_municipios_cuenca_Lujan” ingrese a las propiedades de la capa haciendo doble clic, en la ventana “Propiedades de la capa” ingrese en la solapa “Simbología”, haga clic en la opción “Estilo” cargar estilo/ Archivo busque en el disco local de su computadora el archivo de estilo “categorías_urbano-rural” selecciónelo y haga clic en “Abrir”, luego en la opción “cargar estilo”. Para finalizar, haga clic en “Ok”.

Figura 4.2. Configuración de la ventana propiedades de la capa



Se obtendrá un mapa temático que clasifica las fracciones censales en cuatro categorías que forman un gradiente entre urbanización y ruralidad, criterio que será utilizado en los pasos subsiguientes.

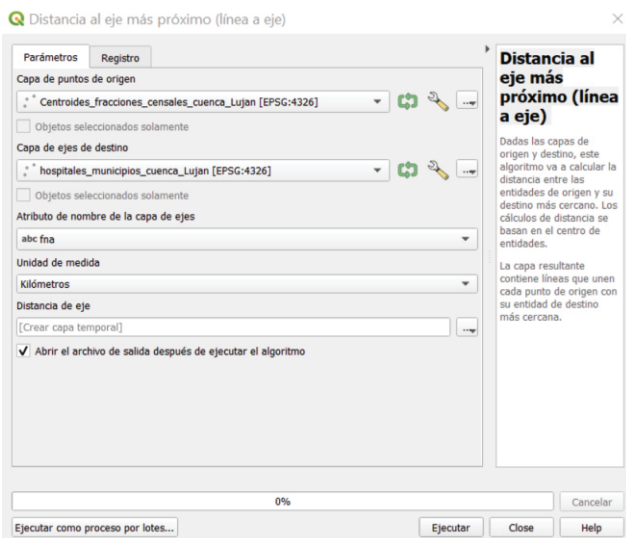
Figura 4.3. Distribución de los contextos urbano-rurales



Paso 3: Cálculo de la distancia que separa a los puntos de demanda del punto de oferta más próximo

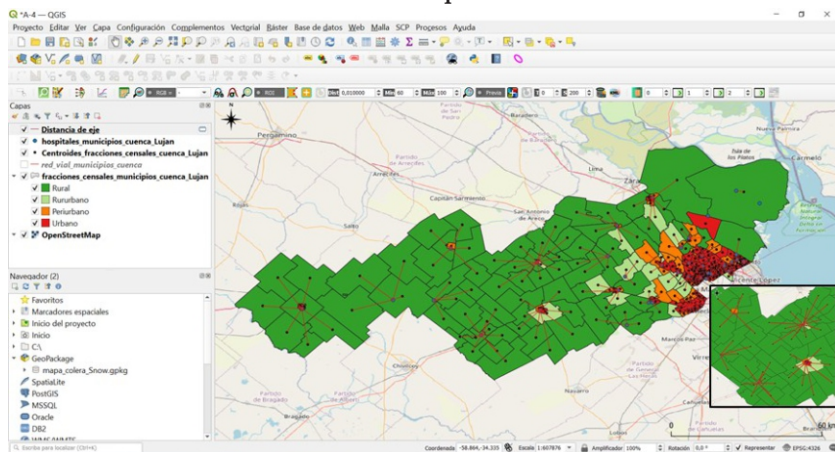
Ingresa en el menú “Procesos / Caja de herramientas”, se activará un panel en la margen derecha de la ventana principal de QGIS, en la caja de texto escriba “Distancia al eje más próximo (línea a eje)”, aparecerá en la lista de herramientas el módulo, luego haga doble clic para abrirlo. En la ventana de “Distancia al eje más próximo (línea a eje)” haga clic en la opción “Capa de puntos de origen” ingrese la capa “Centroides_fracciones_censales_cuenca_Lujan” que en este caso representa la demanda del servicio hospitalario, en la opción “Capa de ejes de destino” ingrese la capa “hospitales_municipios_cuenca_Lujan” la cual representa los puntos de oferta (hospitales), en la opción “Atributo de nombre...” seleccione el campo “fna” el cual contiene la identificación de los hospitales, esto permitirá conocer que hospital fue asignado a cada punto de demanda. En la opción “Unidad de medidas” seleccione “kilómetros”. Finalmente, haga clic en “Ejecutar” y “Close”.

Figura 4.4. Configuración de la ventana distancia al eje más próximo



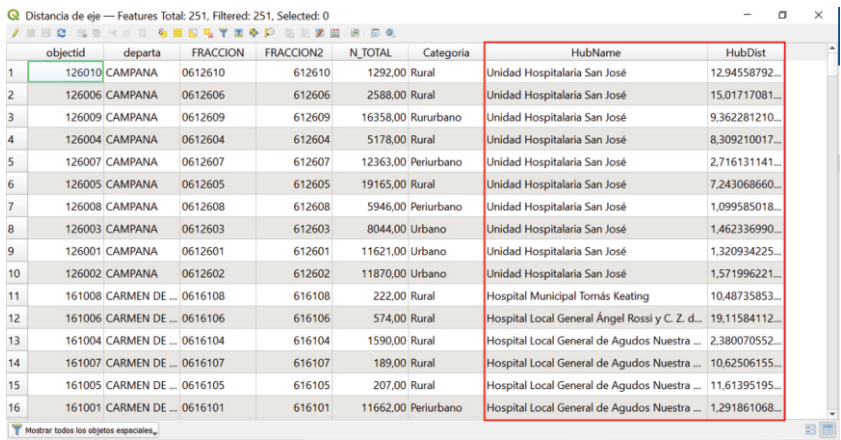
Se obtendrá una capa vectorial que se carga automáticamente en el panel de capas bajo la denominación “Distancia de eje”, si activa las capas que representan la oferta (hospitales_municipios_cuenca_Lujan) y demanda del servicio de salud (fracciones_censales_municipios_cuenca_Lujan) obtendrá en la representación de lo que se llama un Mapa araña (también llamado de deseo, *desire map*), el cual relaciona gráficamente la oferta y demanda.

Figura 4.5. Mapa araña que relaciona la oferta y demanda del servicio hospitalario



Para conocer la distancia calculada desde cada punto de demanda (centroides fracciones censales) hasta cada punto de oferta (hospitales) debe ingresar en la tabla de atributos de la capa “Distancia de eje”, observe que se generaron dos campos (columna) nuevos, uno bajo el nombre “HubName” que estaría indicando el nombre del hospital que fue asignado a cada fracción censal y, el segundo con el nombre “HubDist”, el cual contiene la distancia, en este caso euclidiana, que separa la oferta de la demanda en kilómetros.

Figura 4.6. Tabla de atributos con los cálculos de distancia



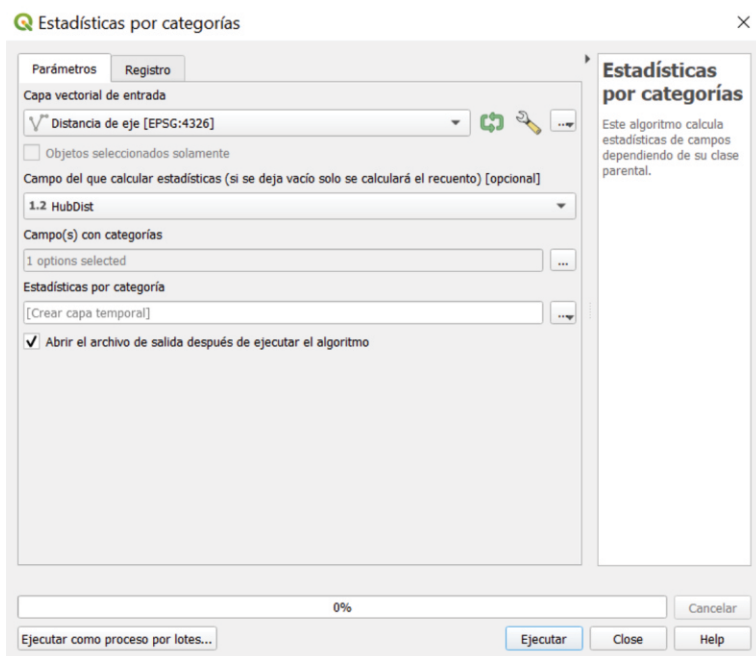
objectid	departa	FRACCION	FRACCION2	N_TOTAL	Categoria	HubName	HubDist
1	126010	CAMPANA	0612610	612610	1292.00 Rural	Unidad Hospitalaria San José	12.94558792...
2	126006	CAMPANA	0612606	612606	2588.00 Rural	Unidad Hospitalaria San José	15.01717081...
3	126009	CAMPANA	0612609	612609	16358.00 Runurbano	Unidad Hospitalaria San José	9.362281210...
4	126004	CAMPANA	0612604	612604	5178.00 Rural	Unidad Hospitalaria San José	8.309210017...
5	126007	CAMPANA	0612607	612607	12363.00 Periurbano	Unidad Hospitalaria San José	2.716131141...
6	126005	CAMPANA	0612605	612605	19165.00 Rural	Unidad Hospitalaria San José	7.243068660...
7	126008	CAMPANA	0612608	612608	5946.00 Periurbano	Unidad Hospitalaria San José	1.099585018...
8	126003	CAMPANA	0612603	612603	8044.00 Urbano	Unidad Hospitalaria San José	1.462336990...
9	126001	CAMPANA	0612601	612601	11621.00 Urbano	Unidad Hospitalaria San José	1.320934225...
10	126002	CAMPANA	0612602	612602	11870.00 Urbano	Unidad Hospitalaria San José	1.571996221...
11	161008	CARMEN DE ...	0616108	616108	222.00 Rural	Hospital Municipal Tomás Keating	10.48735853...
12	161006	CARMEN DE ...	0616106	616106	574.00 Rural	Hospital Local General Ángel Rossi y C. Z. d...	19.11584112...
13	161004	CARMEN DE ...	0616104	616104	1590.00 Rural	Hospital Local General de Agudos Nuestra ...	2.380070552...
14	161007	CARMEN DE ...	0616107	616107	189.00 Rural	Hospital Local General de Agudos Nuestra ...	10.62506155...
15	161005	CARMEN DE ...	0616105	616105	207.00 Rural	Hospital Local General de Agudos Nuestra ...	11.61395195...
16	161001	CARMEN DE ...	0616101	616101	11662.00 Periurbano	Hospital Local General de Agudos Nuestra ...	1.291861068...

Paso 4: Medir la accesibilidad espacial de los espacios urbano-rurales al servicio de salud hospitalario

Como el objetivo en este caso es medir la accesibilidad (distancia) en cada una de las cuatro categorías que definen el gradiente entre urbanización y ruralidad, se generará un reporte numérico con las estadísticas descriptivas por categoría. Haga clic en el menú “Procesos / Caja de herramientas”, se activará un panel en la margen derecha de la ventana principal de QGIS, en la caja de texto escriba “Estadísticas por categorías”, aparecerá en la lista de herramientas el módulo, luego haga doble clic para abrirlo. En la ventana de “Estadísticas por categorías” haga clic en la opción “Capa vectorial de entrada” y seleccione la capa “Distancia de eje”, en la opción “Campo del que calcular estadísticas” seleccione

“HubDist”, en la opción “Campo con categoría” seleccione el campo denominado “Categoría”. Finalmente, haga clic en “Ejecutar” y “Close”.

Figura 4.7. Configuración de la ventana estadísticas por categorías



Se obtendrá una tabla de atributos que se carga automáticamente en el panel de capas bajo la denominación “Estadísticas por categorías”. Para abrir la tabla selecciónela haciendo clic sobre el nombre, luego haga clic en el botón “Abrir tabla de atributos”  que se encuentra en la barra de herramientas.

Figura 4.8. Tabla de atributos con las estadísticas por categorías

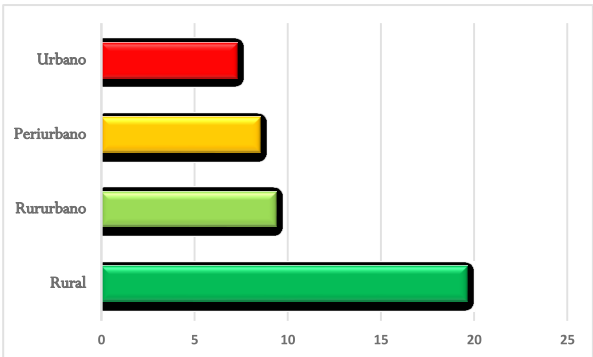
Estadísticas por categoría — Features Total: 4, Filtered: 4, Selected: 0

Categoría	count	unique	min	max	range	sum	mean	median	stddev	minority
1 Rural	77	77	0.651386916...	19.59101643...	18.93962951...	803.3329051...	10.43289487...	9.823864134...	4.874402104...	0.65138691
2 Runurbano	18	18	1.386866482...	9.362281210...	7.975414727...	94.46044902...	5.247802723...	5.362146427...	2.351355722...	1.38686648
3 Periurbano	28	28	0.469073588...	8.501500665...	8.032427076...	105.7246060...	3.775878786...	3.901345621...	2.152798833...	0.46907358
4 Urbano	128	128	0.198642539...	7.244509448...	7.045866908...	268.4761690...	2.097470070...	1.814271070...	1.343138535...	0.19864253

Mostrar todos los objetos espaciales

Se obtendrá una tabla con las estadísticas descriptivas de las distancias entre oferta y demanda correspondiente a cada categoría de los espacios urbano-rurales. Estos resultados es posible representarlos en forma de gráficos en un procesador de hoja de cálculo, para esto debe hacer clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre de la tabla e ingresar en el menú “Exportar / Guardar objetos como...” y seleccionar en la opción “Formato” el tipo de formato “XLSX” que será compatible con los procesadores de hojas de cálculo. En el gráfico de barras (Figura 4.9) se representa las estadísticas correspondientes a la distancia total recorrida (medida en kilómetros) en cada categoría urbano-rural (columna “sum” de la tabla).

Figura 4.9. Distancia máxima recorrida (kilómetros) en cada categoría urbano-rural

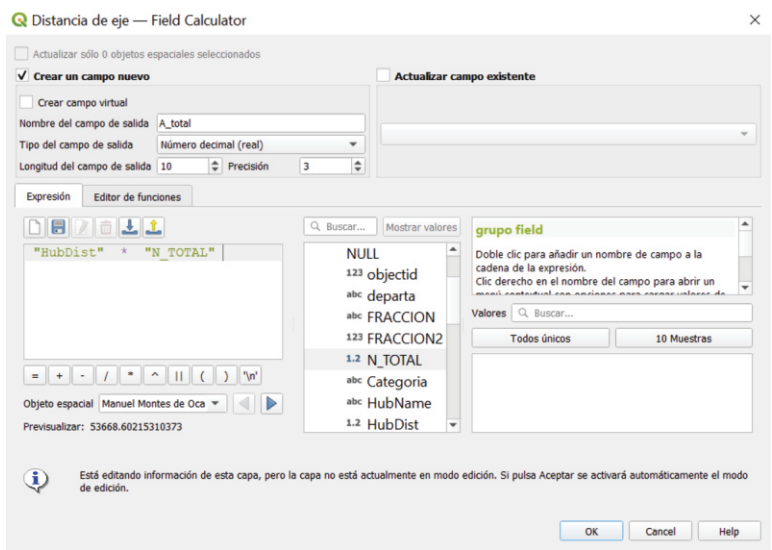


Paso 5: Medir la accesibilidad espacial de la población potencialmente demandante del servicio de salud hospitalario

En este caso el objetivo consiste en medir la accesibilidad espacial de la población potencialmente demandante del servicio de salud hospitalario en los municipios de la cuenca del río Luján. El procedimiento consta de dos etapas. Primero, se debe determinar la accesibilidad considerando la distancia a recorrer y la demanda que potencialmente empleará el servicio (población total de cada fracción censal), una medida conocida como “Global o total” a través de datos agrupados del total de movimiento de la demanda a todos los puntos de oferta. En segundo lugar, se deben estimar los valores de accesibilidad para cada municipio.

El primer procedimiento parte del resultado obtenido en la capa “Distancia de eje”, consiste en multiplicar el campo con las distancias por el campo de población total correspondiente a fracción censal. Para abrir la capa selecciónela haciendo clic sobre el nombre, luego haga clic en el botón “Abrir tabla de atributos”  que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana con la tabla de atributos, haga clic en el botón “Abrir calculadora de campos” . Luego ingrese como nombre del campo de salida “A_total”, en “Tipo de campo de salida” seleccione la opción “Número decimal (real)”, y en “longitud de campo de salida y precisión” deje los valores que aparecen por defecto. Para añadir los campos que contienen los valores de entrada debe hacer doble clic sobre el nombre. Ingrese en el menú “Campos y valores” y seleccione “HubName”, luego ingrese el símbolo de multiplicación (*) y por último el campo “N_TOTAL”. Una vez ingresada toda la expresión, haga clic en “Ok”. Para finalizar el proceso guarde los cambios  y luego haga clic en “conmutar el modo edición”  .

Figura 4.10. Configuración de la ventana calculadora de campos



Se obtendrá un nuevo campo (columna) en la tabla de atributos con el cálculo de la distancia total.

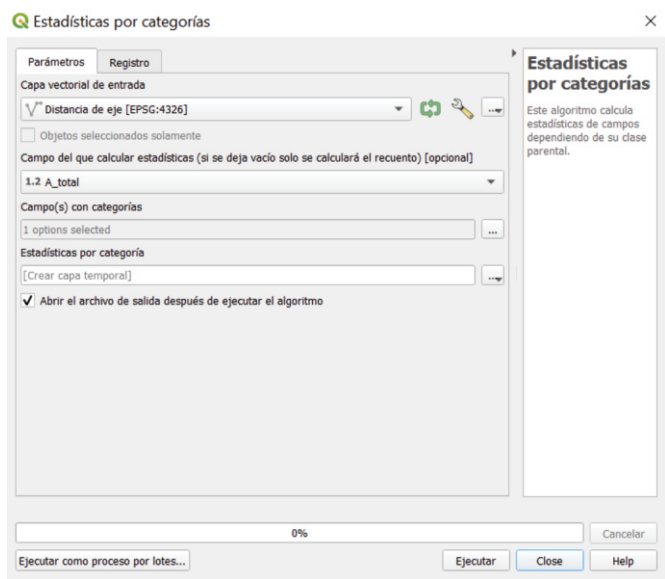
Figura 4.11. Resultado del cálculo de la distancia total

id	jectid	departa	FRACCION	FRACCION2	N_TOTAL	Categoria	HubName	HubDist	A_total
1	56006	Moreno	0656006	656006	27905.00	Urbano	Hospital Mariano y Luciano de la Vega	7,001294386...	195371.120
2	56004	Moreno	0656004	656004	23901.00	Urbano	Hospital Mariano y Luciano de la Vega	7,244509448...	173151.020
3	56002	Moreno	0656002	656002	27449.00	Rururbano	Hospital Unidad de Diagnóstico Prego de ...	6,297597894...	172862.765
4	56003	Moreno	0656003	656003	23271.00	Periurbano	Hospital Mariano y Luciano de la Vega	6,588359593...	153317.716
5	126009	CAMPANA	0612609	612609	16358.00	Rururbano	Unidad Hospitalaria San José	9,362281210...	153148.196
6	560017	Moreno	0656017	656017	19083.00	Periurbano	Hospital Mariano y Luciano de la Vega	7,973553313...	152159.318
7	126005	CAMPANA	0612605	612605	19165.00	Rural	Unidad Hospitalaria San José	7,243068660...	138813.411
8	805023	TIGRE	0680523	680523	25063.00	Urbano	Hospital Zonal General de Agudos Magdal...	5,023535701...	125904.875
9	560019	Moreno	0656019	656019	18207.00	Rururbano	Hospital Mariano y Luciano de la Vega	6,689513989...	121795.981
10	364008	Gral. Rodrigu...	0636408	636408	17951.00	Periurbano	Hospital Interzonal General de Agudos Vice...	6,190101807...	111118.518
11	560007	Moreno	0656007	656007	20924.00	Urbano	Hospital Mariano y Luciano de la Vega	5,087742334...	106455.921
12	497008	Lujan	0649708	649708	12300.00	Rururbano	Hospital Zonal Municipal Nuestra Señora d...	8,572447020...	105441.098
13	266007	Exaltacion de...	0626607	626607	10488.00	Rural	Hospital Municipal San José	9,931738087...	104164.069
14	252009	ESCOBAR	0625209	625209	24317.00	Periurbano	Hospital Municipal Oftalmológico Doctor H...	4,174290434...	101506.221
15	638001	PILAR	0663801	663801	20960.00	Periurbano	Hospital de Rehabilitación y Kinesiología D...	4,833033279...	101300.378

En una segunda etapa, se determinará la accesibilidad total para el área de cada municipio. Haga clic en el menú “Procesos / Caja de herramientas”, se activará un panel en la margen derecha de la ventana

principal de *QGIS*, en la caja de texto escriba “Estadísticas por categorías”, aparecerá en la lista de herramientas el módulo, luego haga doble clic para abrirlo. En la ventana de “Estadísticas por categorías” haga clic en la opción “Capa vectorial de entrada” y seleccione la capa “Distancia de eje”, en la opción “Campo del que calcular estadísticas” seleccione “A_total”, en la opción “Campo con categoría” seleccione el campo denominado “departa”. Finalmente, haga clic en “Ejecutar” y “Close”.

Figura 4.12. Configuración de la ventana estadísticas por categorías



Se obtendrá una tabla con las estadísticas descriptivas, en este caso el campo que contiene la distancia total por municipio es el denominado “sum”. Estos resultados es posible filtrarlos quedándose únicamente con los más representativos para realizar el análisis del área de estudio (Tabla 10).

Figura 4.13. Resultado del cálculo de las estadísticas descriptivas por municipio

Estadísticas por categoría — Features Total: 16, Filtered: 16, Selected: 0

	departa	count	unique	min	max	range	sum	mean	median	stddev	minor
1	CAMPANA	10	10	6538,133	153148,196	146610,063	476467,7069...	47646,77069...	26119,562	50552,20967...	653
2	CARMEN DE ...	8	8	1016,995	15065,684	14048,68899...	38921,751	4865,218875	2366,141	4878,475584...	101
3	CHACABUCO	13	13	814,105	21707,641	20893,536	97377,367	7490,566692...	3585,156	6746,832273...	81
4	Exaltacion de...	7	7	3560,269	104164,069	100603,8	186554,7139...	26650,67342...	13139,804	33169,46636...	356
5	San A. de Giles	16	16	785,909	26121,428	25335,519	93526,765	5845,4228125	1985,7525	7721,378867...	78
6	JOSE C. PAZ	19	19	9037,325	65044,115	56006,78999...	658897,322	34678,80642...	32179,403	15813,23569...	903
7	Lujan	14	14	1464,263	105441,098	103976,8349...	454479,2300...	32462,80214...	24608,29	28068,71351...	146
8	MERCEDES	15	15	1594,22	31434,019	29839,799	134565,636	8971,0424	6669,241	8585,393439...	15
9	Moreno	25	25	6819,391	195371,12	188551,729	2065592,639...	82623,70556	78845,083	52583,86580...	681
10	PILAR	24	24	6367,494	101300,378	94932,88399...	877168,639	36548,69329...	32950,271	23590,63077...	63
11	Gral. Rodrigu...	8	8	1326,481	111118,518	109792,037	339708,969	42462,61125	37908,04700...	33389,74204...	132
12	SAN FERNA...	15	15	814,674	73589,548	72774,874	283765,6009...	18917,70673...	11540,037	20483,51000...	81
13	SUIPACHA	12	12	116,284	20854,584	20738,3	35611,864	2967,655333...	860,6545000...	5568,950014...	11
14	TIGRE	28	28	3044,18	125904,875	122860,695	1034227,042...	36936,68007...	37042,86650...	24583,56752...	30
15	ESCOBAR	16	16	1913,571	101506,221	99592,65000...	607324,641	37957,79006...	32509,31949...	26175,62060...	191
16	MALVINAS D...	21	21	11199,383	53545,479	42346,096	602067,391	28669,87576...	26684,086	11245,64277...	111

Mostrar todos los objetos espaciales

Tabla 10. Distancia recorrida por demanda en cada municipio

Municipios	Distancia total	Distancia mínima	Distancia máxima
Campana	476467,707	6538,133	153148,196
Carmen de Areco	38921,751	1016,995	15065,684
Chacabuco	97377,367	814,105	21707,641
Exaltación de la Cruz	186554,714	3560,269	104164,069
San Andrés de Giles	93526,765	785,909	26121,428
José C. Paz	658897,322	9037,325	65044,115
Luján	454479,23	1464,263	105441,098
Mercedes	134565,636	1594,22	31434,019
Moreno	2065592,639	6819,391	195371,12
Pilar	877168,639	6367,494	101300,378
General Rodríguez	339708,969	1326,481	111118,518
San Fernando	283765,601	814,674	73589,548
Suipacha	35611,864	116,284	20854,584
Tigre	1034227,042	3044,18	125904,875
Escobar	607324,641	1913,571	101506,221
Malvinas Argentinas	602067,391	11199,383	53545,479

Paso 6: Cálculo de la población servida dentro de una distancia determinada

El objetivo en esta etapa consiste en determinar la magnitud de demanda potencial atendida por los hospitales públicos dentro de una distancia determinada calculada a través de la red de calles. Los valores de distancia utilizados en el análisis son los presentados en la tabla 11.

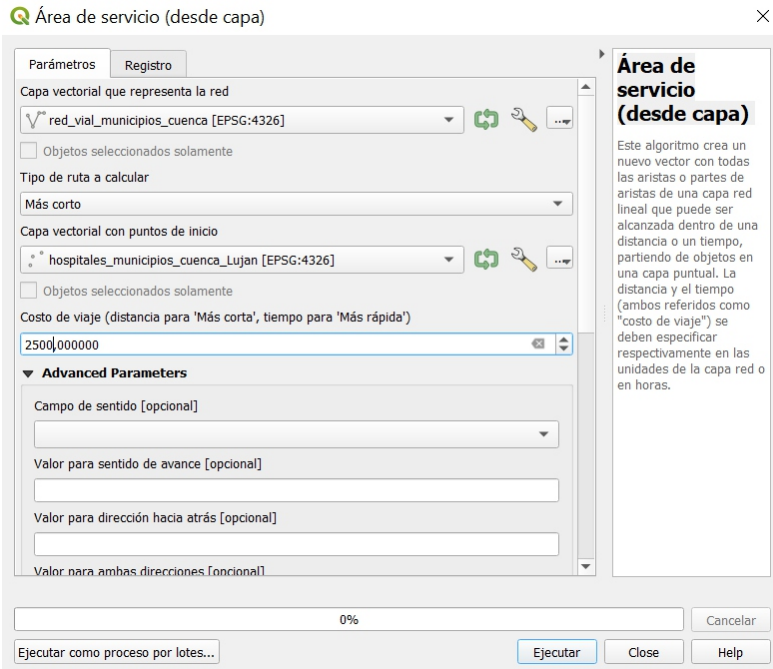
Tabla 11. Distancias de áreas de servicio por la red

Nº	Distancia (metros)
1	2.500
2	5.000
3	10.000
4	> 10.000

Como primer paso desactive todas las capas y tablas que aparecen en el panel de capas, dejando activada únicamente las siguientes capas: `hospitales_municipios_cuenca_Lujan`, `fracciones_censales_municipios_cuenca_Lujan` y `red_vial_municipios_cuenca`, estas serán requeridas para la resolución de esta etapa de la aplicación (recuerde ordenarlas correctamente para poderlas visualizar todas).

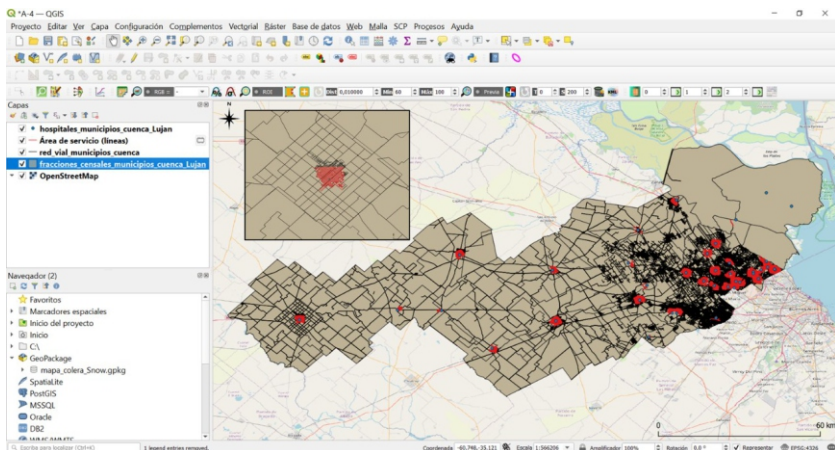
Haga clic en el menú “Procesos / Caja de herramientas”, se activará un panel en la margen derecha de la ventana principal de *QGIS*, en la caja de texto escriba “Área de servicio (desde capa)”, aparecerá en la lista de herramientas el módulo, luego haga doble clic para abrirlo. En la ventana de “Área de servicio (desde capa)” haga clic en la opción “Capa vectorial que representa la red” y seleccione la capa “`red_vial_municipios_cuenca`”, en la opción “Tipo de ruta a calcular” seleccione “Más corto”, en la opción “Capa vectorial con puntos de inicio” seleccione la capa “`hospitales_municipios_cuenca_Lujan`” y como “Costo de viaje” ingrese el valor de la primera distancia (2.500). Finalmente, haga clic en “Ejecutar” y al finalizar el procesamiento del algoritmo haga clic en “Close”.

Figura 4.14. Configuración de la ventana área de servicio



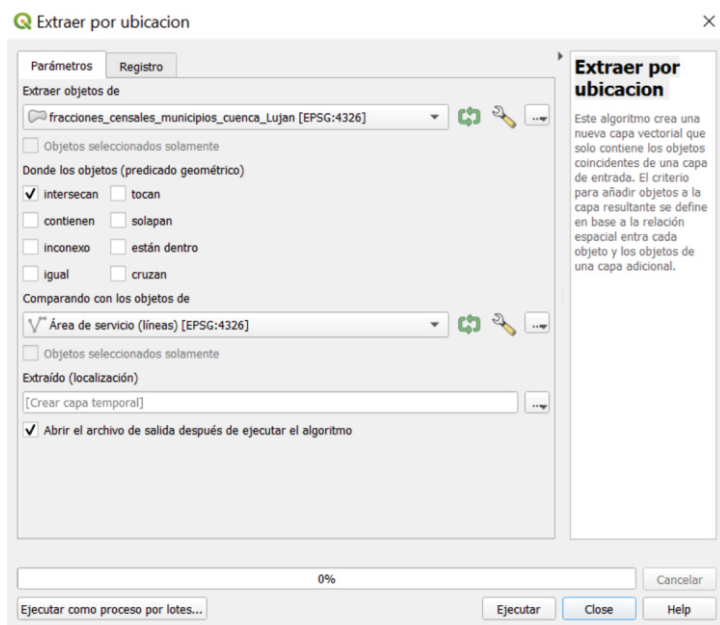
Obtendrá una capa vectorial denominada “Área de servicio (líneas)” con la red de calles contenida dentro de la distancia más corta recorrida desde cada punto de oferta (Hospitales) hasta los 2.500 metros.

Figura 4.15. Cálculo de las áreas de servicio por la red hasta 2.500 metros



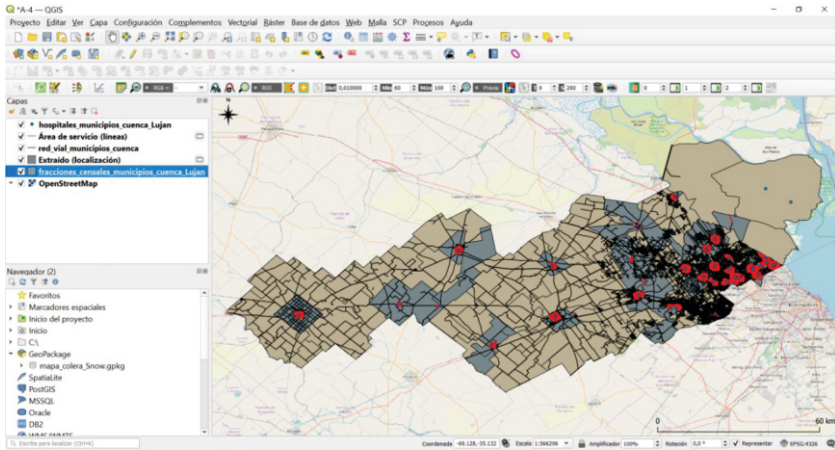
El siguiente paso consiste en determinar la cantidad de población que se encuentra en las áreas de servicio de 2.500 metros, para esto haga clic en el menú “Procesos / Caja de herramientas”, se activará un panel en la margen derecha de la ventana principal de QGIS, en la caja de texto escriba “Extraer por ubicación”, aparecerá en la lista de herramientas el módulo, luego haga doble clic para abrirlo. En la ventana de “Extraer por ubicación” haga clic en la opción “Extraer objetos de” y seleccione la capa “fracciones_censales_municipios_cuenca_Lujan”, en la opción “Donde los objetos (predicado geométrico)” seleccione “intersecan” (Devuelve 1 (verdadero) si las geometrías se intersecan espacialmente o se tocan y 0 si no lo hacen, QGIS Development Team, 2020)., en la opción “Comparando con los objetos de” seleccione la capa “Área de servicio (líneas)”. Finalmente, haga clic en “Ejecutar” y al finalizar el procesamiento del algoritmo haga clic en “Close”.

Figura 4.16. Configuración de la ventana extraer por ubicación



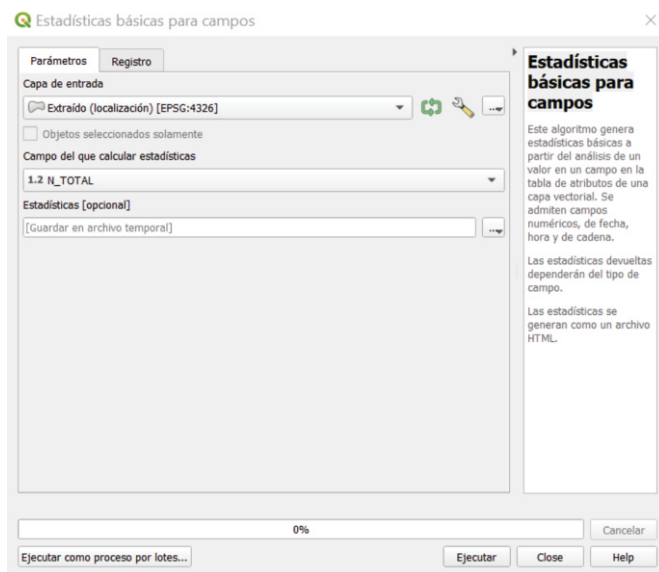
Se obtendrá una capa vectorial denominada “Extraído (localización)” que contiene aquellas fracciones censales que estarían tocadas por las áreas servidas de 2.500.

Figura 4.17. Fracciones censales intersectadas con las áreas servidas de 2.500 metros



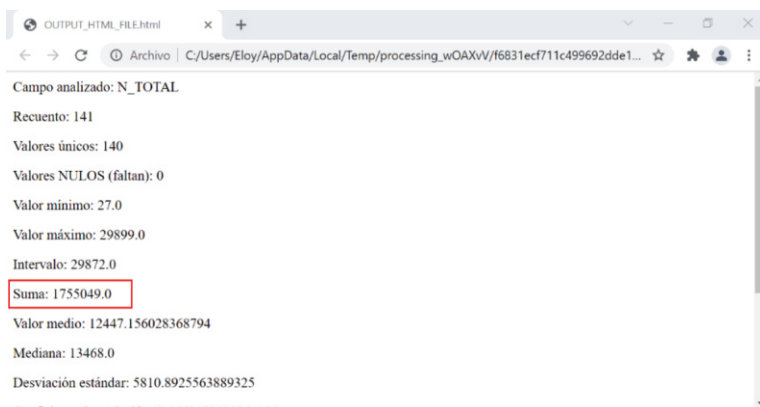
Por último, para conocer la cantidad de población servida dentro de la distancia de 2.500 metros se debe utilizar la herramienta “Estadísticas básicas para campos”. Haga clic en el menú “Procesos / Caja de herramientas”, se activará un panel en la margen derecha de la ventana principal de *QGIS*, en la caja de texto escriba “Estadísticas básicas para campos”, aparecerá en la lista de herramientas el módulo, luego haga doble clic para abrirlo. En la ventana de “Estadísticas básicas para campos” haga clic en la opción “Capa de entrada” y seleccione la capa “Extraído (localización)”, en la opción “Campo del que calcular estadísticas” seleccione el campo “N_Total” el cual contiene los valores de población total. Finalmente, haga clic en “Ejecutar” y luego en “Close”.

Figura 4.18. Configuración de la ventana estadísticas básicas para campos



Para visualizar el resultado obtenido debe hacer clic en el enlace que se ha cargado en la parte inferior derecha de la ventana principal de trabajo, se abrirá una ventana externa con las estadísticas descriptivas del campo seleccionado, en este caso el valor que interesa es la “Suma”, indicando que una población de 1.755.049 está dentro del área servida de 2.500 metros medidos por la red desde los puntos de oferta del servicio hospitalario.

Figura 4.19. Población servida dentro de la distancia de 2.500 metros



Para determinar la demanda potencial atendida por los hospitales públicos en cada una de las distancias que figuran en la tabla 11, se debe repetir el procedimiento descrito en el paso 6 hasta completar la columna con la demanda potencial (Tabla 12).

Tabla 12. Demanda potencial por cada área de servicio

Nº	Distancia (metros)	Demanda potencial
1	2.500	1.755.049
2	5.000	2.229.893
3	10.000	2.394.631
4	> 10.000	2.570.689*

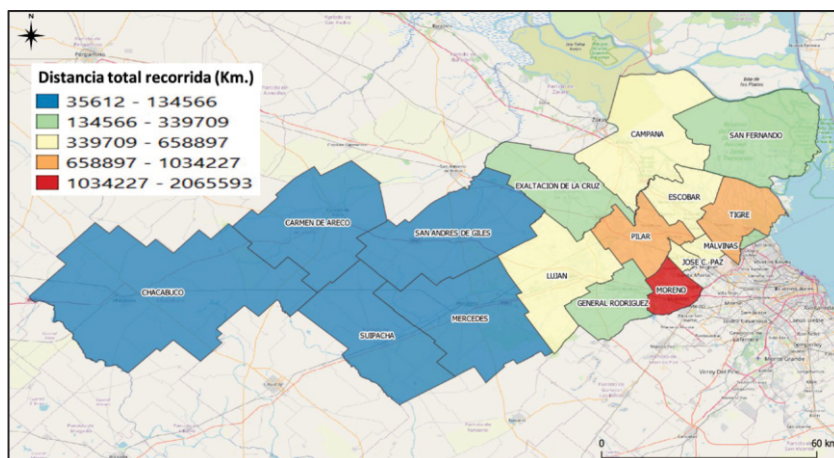
*El valor corresponde a la suma de la demanda total del área de estudio partiendo del supuesto de que todas las unidades de análisis mínimas (fracciones censales) cuenten con vías de comunicación que las conecten con la oferta del servicio

Partiendo del resultado anterior también sería posible derivar una segunda tabla con la demanda potencial por intervalos de distancia.

Resultados cartográficos complementarios

A partir de los resultados primarios generados, es posible derivar cartografía síntesis, por ejemplo, utilizando los datos que se muestran en la primera columna de la tabla 10, referidos a la distancia total recorrida y a la demanda implicada medida en kilómetros, se obtuvo un mapa síntesis que clasifica las magnitudes de accesibilidad espacial en cinco categorías (Figura 4.20), para lo cual se empleó el método de cortes naturales. Este procedimiento es posible llevarlo a cabo para cada una de las columnas de la tabla.

Figura 4.20. Accesibilidad espacial por municipio. Calculada en base a la distancia total recorrida y a la demanda implicada



Interpretación de los resultados

El primer resultado que contempla únicamente la distancia como medida de accesibilidad a los hospitales públicos permite concluir que, de todas las categorías urbano-rurales evaluadas las que se encuentran en una situación más crítica por tener los mayores valores de distancia total (mayores a 800 kilómetros) y de distancia máxima (mayores a 19 kilómetros) son los espacios clasificados en la categoría “Rural”. Por otra parte, entre los contextos urbano-rurales con mejores condiciones de accesibilidad, tomado como criterio de evaluación los menores valores de distancia total (menores a 95 kilómetros) estaría la categoría “Rururbano” y, en el caso de las menores distancias máxima (menores a 8 kilómetros) estaría la categoría “Urbana”.

El segundo conjunto de resultados (Figura 4.13 y Tabla 10) que corresponde al análisis de la accesibilidad espacial como producto entre la distancia a recorrer y la demanda que potencialmente empleará el servicio es muy similar al anterior, sin embargo, mucho más completo, porque como expresa Ramírez (2009:88) “...aquí se conjugan la distancia entre los puntos de demanda y los de oferta, la extensión de las áreas, el reparto de los hospitales y la cantidad y distribución—concentrada o dispersa—de la demanda”.

Por último, se obtuvo un resultado que determina las áreas de servicio y su relación espacial respecto a las instalaciones hospitalarias. En la tabla 12, se recoge la información de la población servida por la actual distribución espacial del servicio hospitalario dentro de un rango de distancia máxima calculado por la red de calles, este resultado se obtuvo para cuatro situaciones.

5. ESTRUCTURAS ESPACIALES: ANÁLISIS DE AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN CON NIVEL EDUCATIVO UNIVERSITARIO EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA

Los análisis de Autocorrelación Espacial (AE) están considerados muchas veces en la bibliografía especializada dentro de los denominados Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) por la importancia que revisten al momento de describir y visualizar las distribuciones espaciales con el objetivo de identificar la asociación espacial, los agrupamientos (*clusters*) o puntos calientes (*hot spots*) y las estructuras espaciales. Santana Castañeda y Aguilar (2019:112) definen la AE como “la relación entre lo que ocurre en un punto determinado del espacio y lo que sucede en lugares cercanos o vecinos al mismo, lo que significa que una variable estará espacialmente autocorrelacionada cuando los valores observados en un punto o región dependan de los valores observados en regiones vecinas, de forma que se produzca una cierta continuidad geográfica en la distribución de esta variable”.

La presente aplicación tiene como objetivo obtener una medida cuantitativa del grado de autocorrelación espacial entre áreas contiguas. Este aspecto se encuentra fundamentado en la Ley de la Geografía que expresa que *en el espacio geográfico todo está relacionado con todo, pero las áreas más cercanas están más relacionadas entre sí que las más alejadas* (Ley de Tobler). La fundamentación matemática de la aplicación es la descrita en el apartado metodológico.

La temática abordada se encuentra enmarcada en dos líneas de trabajo, la primera de ellas en torno al estudio de las estructuras socioespaciales (*mapas sociales*) (Buzai, 2014), la segunda en torno a la Geografía de la Educación (Montes Galbán y Romero Méndez, 2015; Montes Galbán, 2017, 2019) la cual tiene como propósito el abordaje de los problemas del ámbito socioeducativo en todos sus niveles en la búsqueda de sus manifestaciones espaciales, como también sus posibles correlaciones con otras variables a diferentes escalas dentro de la dimensión espacial.

En este caso el área de estudio corresponde a la ciudad de Córdoba, la cual se encuentra comprendida por la envolvente de los

límites político-administrativos del municipio y división departamental censal 2010, ambos del mismo nombre. Es la segunda ciudad de mayor tamaño poblacional de la República Argentina con 1.329.604 habitantes (INDEC, 2015a) y es la capital de la Provincia de Córdoba. Como unidad de análisis mínima para el estudio de la variable en cuestión se consideró trabajar con el nivel de desagregación espacial de radios censales. Cabe mencionar que de acuerdo al INDEC (2015b) los radios censales urbanos son agrupaciones de manzanas pertenecientes a la localidad.

Interrogantes a responder mediante la aplicación

Las interrogantes de la aplicación se derivan de la siguiente afirmación: los patrones de asociación espacial de la población que cursa o cursó nivel educativo universitario en la ciudad de Córdoba tienden a estar agrupados en espacios urbanos semejantes y próximos entre sí.

- a) ¿Existe autocorrelación espacial en la distribución de la población que cursa o cursó nivel educativo universitario en la ciudad de Córdoba? y de haber una respuesta afirmativa ¿cuál es el grado y sentido de la autocorrelación espacial?
- b) ¿Puede mantenerse la hipótesis con un nivel de significancia de 0,05?
- c) ¿Cómo se agrupan las unidades espaciales (radios censales) en función del grado de significancia que presenta el Indicador Local de Asociación Espacial (LISA)?

Base de datos espacial, *software* y complementos

La base de datos geográfica está conformada por una (1) capa en formato *Shapefile* (Tabla 13)¹⁰. La sistematización de los datos fue lograda

¹⁰Para acceder a la descripción de la base de datos geográfica, fuentes de datos primarios y descarga del conjunto de datos en formato *Shapefile*, ingrese al siguiente enlace o escanee el código QR: https://www.researchgate.net/publication/354932434_Base_de_datos_geografica_poblacion_con_nivel_educativo_universitario_en_la_ciudad_de_Cordoba_-_Argentina_2010



en trabajos anteriores referentes a la modelización del mapa social de la ciudad de Córdoba (Buzai y Montes Galbán, 2020). La variable asociada a los objetos espaciales (radios censales) corresponde al "porcentaje de población que cursa o cursó nivel educativo universitario" y se encuentra estandarizada mediante el cálculo del puntaje omega (Ω) a partir del cual se transforman los datos originales hacia un rango de 0 a 100 como valores extremos.

La resolución de la aplicación se lleva a cabo mediante una serie de funciones que forman parte del núcleo de herramientas del *software GeoDa* versión 1.18.0 (Center for Spatial Data Science, 2020): “Gestor de pesos”  ; “Diagrama de dispersión de Moran”  y “Mapas de Clusters”  .

Tabla 13. Datos de entrada

Nombre de la capa	Geometría / Formato	Atributo / Tipo de campo	Fuente
Cordoba_capital_nivel_universitario_2010	Polígonos – Shapefile	“N_Edu_Un_O” valores estandarizados del porcentaje de población – numérico.	Buzai y Montes Galbán (2020a)

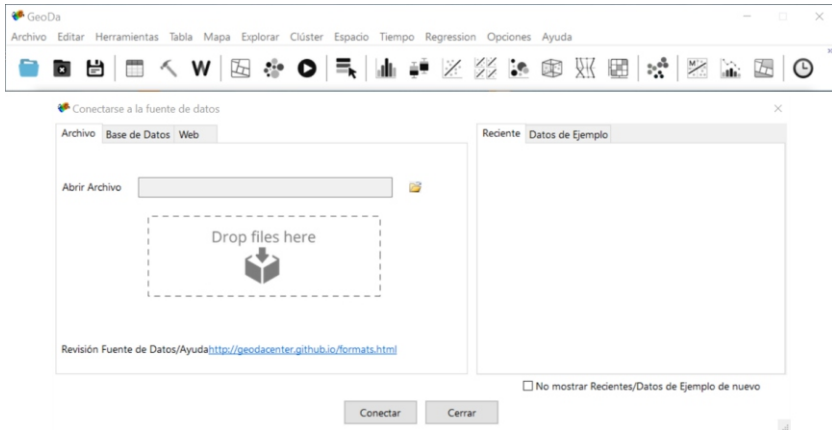
Fuente: elaboración propia, 2021.

Procedimiento

Paso 1: Ingresar a *GeoDa*

Se encontrará con dos ventanas, la primera contiene la barra de herramientas principal, y la segunda permite realizar la búsqueda y carga de datos.

Figura 5.1. Interfaz principal programa *GeoDa*

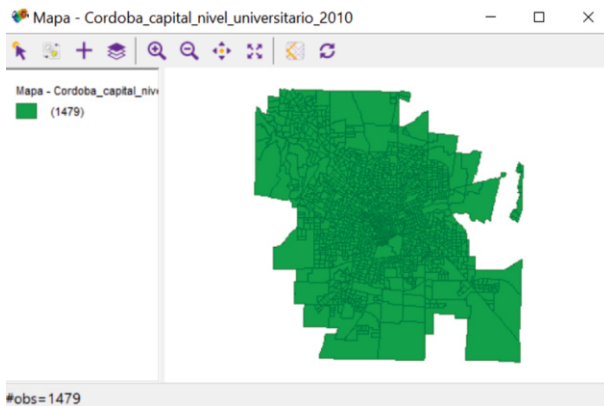


Paso 2: Visualizar la capa con los datos de entrada

Ir a la ventana “Conectarse a la fuente de datos” y hacer clic en la opción “Abrir archivo/ ESRI Shapefile (*.shp)” . Se abrirá una ventana que le permitirá realizar la búsqueda de los archivos requeridos para la práctica en el disco local de su computadora. Busque y abra la capa “Cordoba_capital_nivel_universitario_2010”, debe seleccionar el archivo con extensión .shp.

Se desplegará la capa con las unidades espaciales de análisis (polígonos) en una nueva ventana (Mapa).

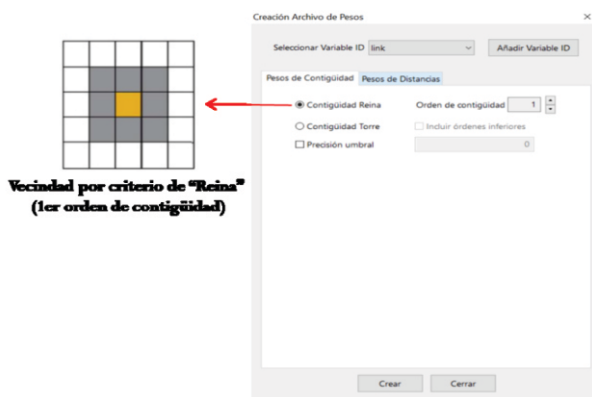
Figura 5.2. Visualización de la capa con las unidades espaciales



Paso 3: Generar la matriz de pesos espaciales

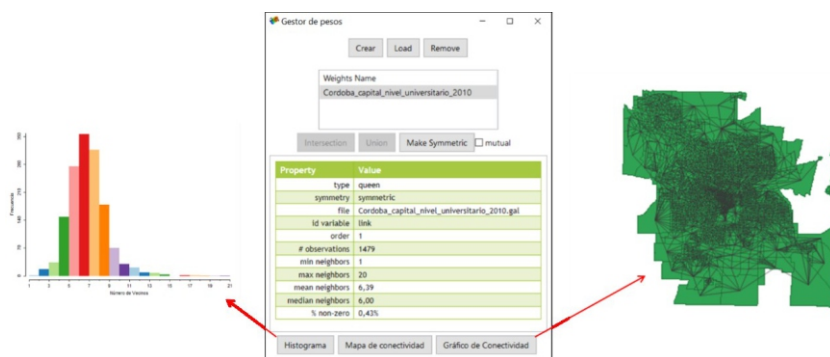
La matriz de pesos espaciales también conocida como matriz de contigüidad o matriz de conectividad, es una matriz cuadrada que por convención se denomina W (La matriz de contigüidad toma valores 1 o 3 según sean unidades espaciales limítrofes y no limítrofes respectivamente). A través de la matriz de contigüidad se define la vecindad que se utiliza con los polígonos que conforman las unidades territoriales, permitiendo crear un ponderador espacial que será aplicado posteriormente en el cálculo del I. de Moran y otras medidas de autocorrelación espacial. Haga clic en el botón “Gestor de pesos” **W** que se encuentra en la barra de herramientas. En la ventana “Gestor de pesos” haga clic en la opción “Crear”. Se abrirá una nueva ventana denominada “Creación archivo de pesos”, en la opción “Seleccionar Variable ID” seleccione el campo “link”, en la solapa “Pesos de Contigüidad” deje la opción que aparece por defecto “Contigüidad Reina” (unidades espaciales que comparten contigüidad en un lado o vértice), en la opción “Orden de contigüidad” deje el valor que aparece por defecto 1. Haga clic en “Crear” y nombre el archivo como “Cordoba_capital_nivel_universitario_2010”, haga clic en “Guardar”. Saldrá un aviso (Éxito) indicando que fue generado un archivo con extensión GAL (*.gal), el cual será requerido para realizar los cálculos correspondientes a las medidas de autocorrelación espacial. Para finalizar el proceso haga clic en “Aceptar” y cierre la ventana de “Creación Archivo de Pesos”.

Figura 5.3. Crear archivo de pesos



En la ventana “Gestor de pesos” se obtendrá un resumen con las estadísticas descriptivas del archivo generado, después de evaluarlo, cierre la ventana.

Figura 5.4. Estadísticos descriptivos y gráficos de la matriz de conectividad



Paso 4: Medir el grado de autocorrelación espacial mediante el I de Moran

Para la verificación de una hipótesis de autocorrelación espacial significativa, se deben seguir una serie de pasos metodológicos conocidos en estadística como “Prueba de hipótesis”. Este procedimiento puede ser descrito en cinco etapas:

1) Planteamiento de hipótesis

En este paso se definen dos tipos de hipótesis:

- H_0 : Hipótesis nula (No existe autocorrelación espacial)
- H_1 : Hipótesis alternativa (Existe autocorrelación espacial, de la cual se sospecha pudiera ser cierta).

Para el caso estudiado las hipótesis quedarían redactadas de la siguiente manera:

- H_0 : la configuración espacial de la población que cursa o cursó nivel educativo universitario en la ciudad de Córdoba se produce de manera aleatoria.
- H_1 : la configuración espacial de la población que cursa o cursó nivel educativo universitario en la ciudad de Córdoba NO se produce de manera aleatoria.

2) Elegir el nivel de significancia

Esta etapa consiste en definir el máximo nivel de error tolerado. Dependiendo del tipo de significación que se da al estudio, existen tres grados (Tabla 14).

Tabla 14. Niveles de significancia

Significancia	10%	5%	1%
Valor α	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
Confianza	90%	95%	99%

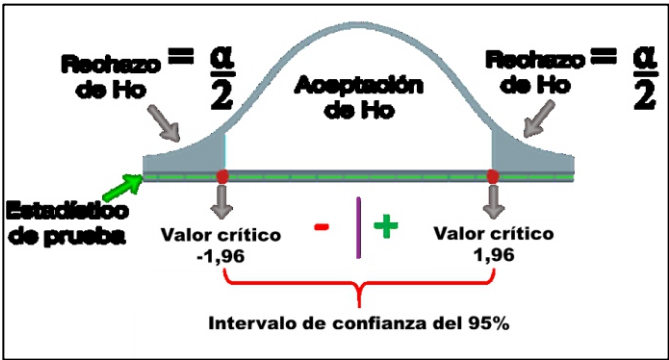
En este caso se eligió trabajar con un nivel de significancia = 5%

3) Determinación de la región de aceptación y rechazo de la Ho

Para el caso del Índice de Moran se trata de una prueba de dos colas del tipo $H1: \neq$, pues se espera que la autocorrelación sea distinta de cero, y la H_0 supone que la autocorrelación espacial es igual a cero.

En este caso si los valores de Z-score son superiores a 1,96 o menores que -1,96 indicarían la presencia de autocorrelación espacial (Figura 5.5).

Figura 5.5. Gráfico de prueba de dos colas del tipo $H1: \neq$, para el caso de una significancia del 5% (0.05) y confianza del 95%



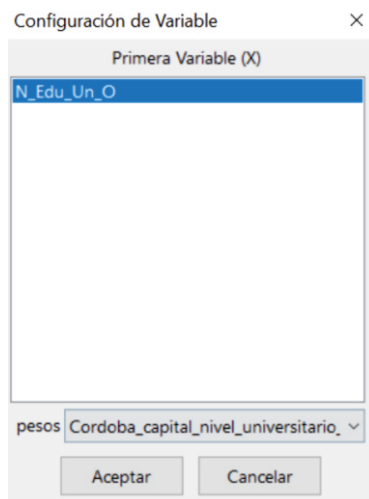
Fuente: Wikiversidad, 2021 (modificado).

4) Estadístico de prueba calculado

A partir del estadístico de prueba calculado, se debe rechazar la H_0 si el estadístico de prueba está en la región crítica, en el caso contrario no rechace la H_0 . En el caso del Índice de Moran, para un valor de z positivo, los datos se encuentran espacialmente agrupados de algún modo; mientras que, para un valor de z negativo, los datos se agrupan de un modo competitivo, es decir, los valores altos pueden repeler a otros valores altos y los valores negativos repelen a otros valores negativos.

Para calcular el Índice de Moran haga clic en el botón “Diagrama de dispersión de Moran”  que se encuentra en la barra de herramientas y elija la opción “I de Moran Univariante”, seleccione como campo que contiene la variable (X) “N_Edu_Un_O”, y como archivo de pesos “Cordoba_capital_nivel_universitario_2010”, finalmente haga clic en “Aceptar”.

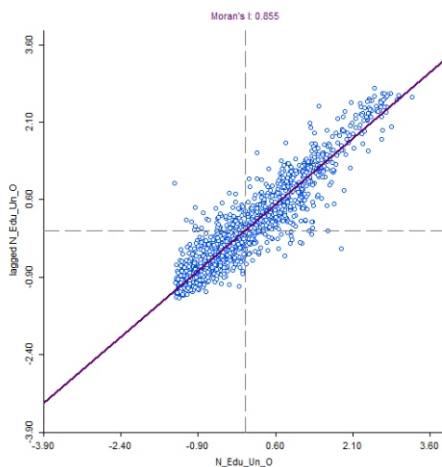
Figura 5.6. Configuración de variable



Se obtendrá un gráfico que muestra un ajuste lineal a través de la nube de puntos, en el cual la pendiente de esta línea corresponde al I. de Moran que para este caso es de 0,855 indicando una autocorrelación espacial positiva,

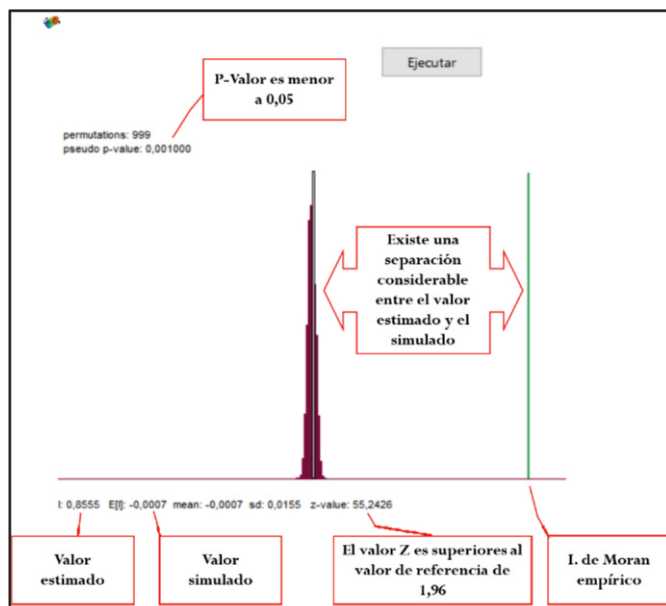
lo cual confirma la existencia de similitud y que los valores de las unidades espaciales vecinas son próximos.

Figura 5.7. Gráfico del Índice de Moran



Para generar el estadístico de prueba haga clic con el botón derecho del mouse sobre el gráfico de Moran y seleccione la opción del menú “Aleatorización / 999 permutaciones”, el gráfico desplegado es el resultado de 999 permutaciones (Las permutaciones se utilizan para determinar la probabilidad de encontrar la distribución espacial real de los valores que se están analizando mediante la comparación de los valores con un conjunto de valores generados aleatoriamente, Santana Castañeda y Aguilar, 2019), donde la precisión es de 0,001 ($1/999+1$). Observe que el p-valor es inferior a 0,05 por tanto se puede considerar estadísticamente significativo de acuerdo a lo establecido en la etapa dos. Por otro lado, observe que la separación entre el valor estimado y simulado es considerable (esto ya sugiere un fuerte rechazo de la hipótesis nula), para confirmar lo anterior está el valor z que es superior al valor de referencia de 1,96 permitiendo rechazar la H_0 , indicando una autocorrelación espacial con una significancia del 5% y un nivel de confianza del 95%.

Figura 5.8. Distribución de referencia para la estadística
(999 permutaciones)



5) Inferencias y conclusiones científicas

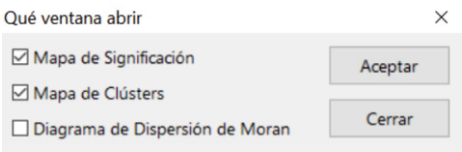
La última etapa del procedimiento de “Prueba de hipótesis” consiste en llegar a la inferencia y conclusiones científicas. Para el caso estudiado se puede inferir que los patrones de asociación espacial de la población que cursa o cursó nivel educativo universitario en la ciudad de Córdoba son estadísticamente significativos y tienden a estar agrupados en el espacio, de acuerdo con la evidencia estadística se puede rechazar la H_0 de No autocorrelación espacial en favor de la H_1 .

Paso 5: Calcular el Indicador Local de Asociación Espacial (LISA)

Para calcular el Indicador Local de Asociación Espacial (LISA) haga clic en el botón “Mapas de Clústers / I Moran Local Univariante” , luego en la ventana “Configuración de variable” seleccione como campo que contiene la variable (X) “N_Edu_Un_O”, y como archivo de pesos “Cordoba_capital_nivel_universitario_2010”, finalmente haga clic en

“Aceptar”. Aparece un cuadro de diálogo en la cual debe tildar “Mapa de significancia” y “Mapa de Clusters”, finalmente haga clic en “Aceptar”.

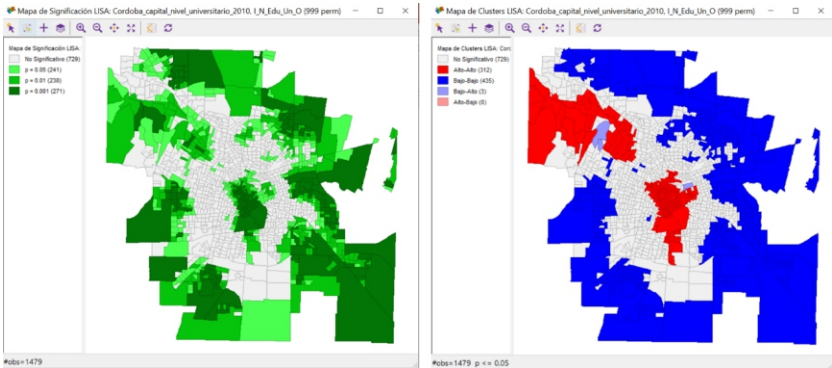
Figura 5.9. Selección del Mapa de significancia y Mapa de Clústers



Obtendrá en dos ventanas nuevas que contienen el “Mapa de significancia” y “Mapa de Clusters”. El mapa de significación muestra las ubicaciones con una estadística local significativa, con el grado de significación reflejado en tonos de verde cada vez más oscuros. El mapa comienza con $p < 0.05$ y muestra todas las categorías de significancia que son significativas para el número dado de permutaciones. En este caso, dado que hubo 999 permutaciones, el pseudovalor p más pequeño es 0.001, con 271 unidades espaciales (tono de verde más oscuro).

El Mapa de Clústers indica el tipo de asociación espacial. En este caso, las cuatro categorías están representadas, con rojo oscuro para los grupos alto-alto (312 unidades espaciales), azul oscuro para los grupos bajo-bajo (435 unidades espaciales), azul claro para los valores atípicos espaciales bajo-alto (3 unidades espaciales) y rojo claro para los valores atípicos espaciales alto-bajo (0 unidades espaciales).

Figura 5.10. Mapa de significancia y Mapa de *Clusters*



Interpretación de los resultados

En base a los primeros resultados obtenidos en el gráfico del I de Moran (Figura 5.7), se puede observar un ajuste lineal a través de la nube de puntos, la pendiente de esta línea corresponde al I de Moran y su valor 0,855 (que se muestra en la parte superior del gráfico) este resultado permite afirmar que hay una fuerte autocorrelación espacial positiva entre las áreas con población que cursa o cursó nivel educativo universitario en la ciudad de Córdoba.

Los valores críticos en un test de dos colas con nivel de significación previamente adoptado de 0,05 son 1,96 y -1,96. El resultado de 55,24 supera el límite superior, por lo que cabe rechazar la hipótesis nula (No) y señalar una autocorrelación espacial significativamente positiva.

Por último, para interpretar los resultados del análisis de Indicadores Locales de Asociación Espacial (LISA) se parte de la lectura del “Mapa de *Clusters*” en el cual se pueden llegar a reconocer cinco tipos de conglomerados espaciales. Las unidades espaciales representadas con rojo oscuro (grupos alto-alto) son unidades de territoriales con un valor de análisis por encima del promedio, rodeada significativamente por áreas vecinas que también se encuentran por sobre la media con respecto a la variable “población que cursa o cursó nivel educativo universitario” (*hot spots*). Las áreas representadas con azul oscuro (grupos bajo-bajo) corresponde a las unidades territoriales con un valor de análisis inferior al promedio, rodeada por áreas vecinas que también se encuentran bajo la media en relación a la variable estudiada (*cold spots*).

Aquellas áreas representadas con color azul claro (valores atípicos bajo-alto) son las unidades territoriales con un valor de análisis bajo, rodeada significativamente por áreas vecinas con valores que se encuentran por sobre la media de la variable de interés. En el caso de las áreas representadas con color rojo claro (valores atípicos alto-bajo) que para este caso no hay áreas en esa categoría (0 unidades espaciales), correspondería a la presencia de unidades de territoriales con un valor de análisis alto, rodeada significativamente por áreas vecinas con valores que

se encuentran bajo la media de la variable de interés. Finalmente, existen las áreas representadas con un color gris claro (No significativo) en este caso se está en presencia de unidades territoriales donde el valor de análisis de la variable estudiada no se relaciona significativamente con los valores de sus vecinos.

Palabras Finales

Esperamos que luego de haber utilizado este libro, después de haber recorrido sus páginas y realizado las prácticas en SIG, el lector haya podido avanzar en el proceso de construcción de conocimientos geográficos mediante las técnicas cuantitativas de estadística espacial que actualmente se encuentran incorporadas por la estandarización tecnológica. El camino didáctico recorrido a través de la teoría y la metodología lleva a encarar la tarea aplicativa considerando sus fundamentos y, de esta manera, se intenta generar un camino sólido a partir del cual podrán obtenerse los mejores resultados. Esperamos también que el proceso haya generado ideas para la realización de aplicaciones propias abordando problemáticas de otras áreas de estudio y propiciar el avance en tareas didácticas que permitan contribuir al desarrollo de la inteligencia espacial de las nuevas generaciones de profesionales de diferentes disciplinas que tengan interés en estudiar la lógica social del espacio geográfico. La dimensión espacial resulta ser fundamental para comprender mejor la realidad y llevar a cabo acciones útiles, en este caso, valiéndose de las herramientas de la Geografía Aplicada. El objetivo general es la obtención de resultados concretos que permitan responder a los principales interrogantes académicos y avanzar en una Geografía Aplicada que, a través de sus herramientas, proporcione elementos para mejorar las condiciones de socio-espaciales en los espacios analizados.

Gustavo D. Buzai - Eloy Montes Galbán

Universidad Nacional de Luján

Buenos Aires, 2021

Bibliografía

- Aneas, S. (1994) Potencial de población y Geográfica, *Boletín de GAEA*, 112, 25-27.
- Bailey, P. (1981) *Didáctica de la Geografía*. Bogotá, Cincel-Kapelusz.
- Bailey, T.C. y Gatrell, A. (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*. Essex, Prentice Hall.
- Bastidas Romero, J. A. (2007) *Nociones de hidrología*. Mérida, Universidad de los Andes.
- Baxendale, C.A.; Buzai, G.D. y Cruz, M.R. (2010) Etapas de un proyecto de investigación en estudios de Geografía Aplicada. En Buzai, G.D. (Comp) *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aportes teóricos y aplicaciones*, Luján, Universidad Nacional de Luján.
- Benko, G. (1998) *La Ciencia Regional*. Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur.
- Berry, B.J.L. (1964) Approaches to Regional Analysis: A Synthesis, *Annals of the Association of American Geographers*. 54, 1, 2-11. [Traducido en García Ramón, 1985].
- Berry, B.J.L. (1991) *Long wave rhythms in Economic Development and Political Behaviour*. Baltimore, John Hopkins University Press.
- Berry, B.J.L. y Marble, D. (Eds.) (1968) *Spatial Analysis: A reader in Statistical Geography*. New York, Englewood Cliff—Prentice Hall.
- Berry, J.K. (1996) The Unique Character of Spatial Analysis, *GIS World*, April, 29-30.
- Berry, J.K. (1999) ¿Cómo se mide la autocorrelación espacial?, *Geoinformación*, 5, 52-53
- Bosque Sendra, J. (1997) *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, Rialp.
- Bosque Sendra, J.; Cebrián, J.A.; Jiménez, B.; Moreno, A.; Muguruza, C.; Preciados, J.; Rodríguez, V.; Rojo, F. y Vidal, M.J. (1988) *Aplicaciones de la informática a la Geografía y las ciencias sociales*, Madrid, Síntesis.
- Bunge, M. (1985) *La ciencia. Su método y filosofía*. Buenos Aires, Siglo veinte.

Bunge, W. (1962) *Theoretical Geography*. Lund Studies in Geography. Ser. C. General and Mathematical Geography No. 1. Lund, The Royal University of Lund, C.W.K. Gleerup Publishers.

Burrough, P.A. y McDonell, R.A. (1998) *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford, Oxford University Press.

Burton, I. (1963) The Quantitative Revolution and Theoretical Geography, *Canadian Geographer*. VII, 4, 151-162.

Buzai, G. D. (1989) Análisis de tendencia central en la República Argentina: el caso de la nueva Capital, *Análisis Geográfico*. 1, 2, 5-28.

Buzai, G. D. (2016) Áreas de influencia de los centros de atención primaria de salud (CAPS) en la ciudad de Luján mediante polígonos de Voronoi-Thiessen, *Investigaciones y ensayos geográficos*, 13, 12-26.

Buzai, G. y Ruiz, E. (2012) Geotecnósfera. Tecnologías de la información geográfica en el contexto global del sistema mundo, *Anekumene*, 4, 88-106.

Buzai, G.D. (1992) Geoinformática: Teoría y aplicación, *Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, 19, 11-17.

Buzai, G.D. (1999) *Geografía Global*. Buenos Aires, Lugar Editorial.

Buzai, G.D. (2005) Geografía Cuantitativa 2000+. 20 lecciones fundamentales y sus tendencias de evolución, *Revista de Geografía*, 7, 9, 5-18.

Buzai, G. D. (2014) *Mapas sociales urbanos*. Buenos Aires, Lugar Editorial.

Buzai, G. D. (2015) *Análisis espacial en Geografía de la Salud. Resoluciones con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires, Lugar Editorial.

Buzai, G.D. (2015) Geografía y pensamiento geográfico. Articulación de enfoques para la investigación aplicada basada en Sistemas de Información Geográfica. En Moncada Maya, J.O. y López López, A. (Coord.) *70 años del Instituto de Geografía*. Ciudad de México, Universidad Autónoma del Estado de México, pp. 300-319.

Buzai, G.D. (2018) Geografía Global. La dimensión espacial en la ciencia y en la sociedad, *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 263, 3, 9-26.

Buzai, G. D. (2020) The cholera map by John Snow (London, 1854): A health solution as a conceptual summary of Applied Geography. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 268, 2, 5-18.

Buzai, G.D. (2021) The World Map by Anaximander (Miletus, 5th Century BC): Modeling Geographical Space at the Beginning of Science, *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 272, 3, 5-18.

Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2006) *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*, Buenos Aires, Lugar Editorial.

Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2006) *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires, Lugar Editorial.

Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2011) *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Tomo 1, Buenos Aires, Lugar Editorial.

Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2012) *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Ordenamiento territorial. Temáticas de base vectorial*. Tomo 2, Buenos Aires, Lugar Editorial.

Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. y Mierez, A. (2003) Accesibilidad e interacción espacial: Aportes del análisis espacial cuantitativo para su modelización regional, *Gerencia Ambiental*, 10, 95, 360-369.

Buzai, G.D. y Cacace, G. (2013) El concepto de espacio, *Si Muove*, 5, 34-38.

Buzai, G.D. y García de León, A. (2018) Balance y actualidad de la Geografía Cuantitativa. En Fuenzalida, M., Buzai, G.D., Moreno Jiménez, A. y García de León, A. *Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial: Tendencias, métodos y aplicaciones*, Santiago de Chile: Universidad Alberto Hurtado, pp. 52-78.

Buzai, G.D., Lanzelotti, S., Principi, N., Montes Galbán, E., Humacata, L., Acuña Suarez, G. y Baxendale, C.A (2019) *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas.

Buzai, G.D. y Montes Galbán, E. (2020) El mapa social de la ciudad de Córdoba (Argentina): Construcción cuantitativa e interpretación modelística, *Cuadernos Geográficos*, 59, 1, 299-315. doi:10.30827/cuadgeo.v59i1.8643

Buzai, G.D., y Montes Galbán, E. (2020) Megaciudad Buenos Aires: Cartografía de su última expansión y conurbación mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales nocturnas, *Revista Cartográfica*, 100, 215-238. doi:10.35424/rcarto.v0i100.667

Buzai, G.D. y Robinson, D. (2010) Geographical Information Systems (GIS) in Latin America, 1987-2010: A Preliminary Overview, *Journal of Latin American Geography*, 9, 3, 9-31.

Buzai, G.D. y Santana Juárez, M.V. (Comp.) (2019) *Métodos cuantitativos en Geografía Humana*. Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas.

Calvo Palacios, J.L.; JoverYuste, J.M. y Pueyo Campos, A. (1992) Modelos de accesibilidad y su representación cartográfica: Las redes española y valenciana. *Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa*, Zaragoza, Universidad de Zaragoza, 59-74

Cañada Torrecilla, R., Vidal Domínguez, M. J. y Moreno Jiménez, A. (2010) Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental: ensayo metodológico sobre la contaminación por partículas atmosféricas en Madrid. En J. Ojeda, M. F. Pita, y I. Vallejo (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, pp. 691-715.

Capel, H. (2012) *Filosofía y Ciencia en la Geografía Contemporánea*. Barcelona. Ediciones del Serbal.

Cebrián, J.A. (1988) Sistemas de Información Geográfica, en Bosque Sendra, J. et al. *Aplicaciones de la informática a la Geografía y las ciencias sociales*. Madrid, Síntesis, pp. 125-139.

Center for Spatial Data Science. (2020) *GeoDa*. (T. U. Chicago, Editor) Obtenido de <https://spatial.uchicago.edu/software>

Checa, J. y Nel.lo, O. (2018) Urban Intensities. The Urbanization of the Iberian Mediterranean Coast in the Light of Nighttime Satellite Images of the Earth. *urban science*, 2, 4, 1-17. doi:<https://doi.org/10.3390/urbansci2040115>

Chorley, R. (Ed.) (1973) *Directions in Geography*. London: Methuen. (Trad: Nuevas tendencias en Geografía, Madrid, IEAL, 1975)

Christaller, W. (1933) *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*. Jena. (Trad: Central Places in Southern Germany. Prentice Hall – Englewood Cliffs. New Jersey, 1966).

Christofoletti, A. (1985) As perspectivas dos Estudos Geográficos. En, *Perspectivas da Geografia*. Sao Paulo, DIFEL, pp. 11-36.

Churchil Semple, H. (1911) *Influences of Geographic Environment*. New York, Holt.

Clark, P.J. y Evans, F.C. (1954) Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations, *Ecology*, 35, 445-453.

Cliff, A. y Ord, J. (1981) *Spatial Process: Models and Applications*. London. Pion.

Cole, J.P. y King, C.A.M. (1968) *Quantitative Geography*. Glasgow, John Wiley & Sons.

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., ...Boehner, J. (2015) *System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007. doi:10.5194/gmd-8-1991-2015

Conte, R. O., y Merlo, O. D. (2020) Principales características y distribución espacial de la actividad delictiva en la ciudad de Clorinda. *Vientos del Norte*, 1-2, 8-26. Obtenido de <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CD%20VIENTOS%202017/PDF/N7%20Vol%20I%20II/1%20Conte%20Merlo.pdf>

Cotler, H., y Maas, M. (2004) *Protocolo para el manejo integral de cuencas*. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT.

Cromley, R.G. (1983) Automated Geography: Some Problems and Pitfalls, *The Professional Geographer*, 35, 3, 340-341.

Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Carrillo González, F. M., y Téllez López, J. (2015) Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, *Investigación y Ciencia*, 23, 64, 26-34.

de Rosnay, J. (1977) *El macroscopio. Hacia una visión global*. Madrid. AC.

Dobson, J.E. (1983a) Automated Geography, *Professional Geographer*, 35, 2, 135-143.

Dobson, J.E. (1983b) Reply to Comments on “Automated Geography”, *Professional Geographer*, 35, 3, 349-353.

Dobson, J.E. (1993) The Geographic Revolution: A Retrospective on the Age of Automated Geography, *The Professional Geographer*, 45, 4, 431-439.

Dollfus, O. (1992) Systeme Monde et Systeme Terre, *L'Espace Geographique*, 21, 3, 223-229.

Doval, H. C. (2003) John Snow y la epidemia de cólera en Londres en 1854, *Revista Argentina de Cardiología*, 71, 6, 463-467.

Ebdon, D. (1983) *Estadística para geógrafos*, Barcelona, Oikos-tau.

Estébanez Álvarez, J. y Bradshaw, R. (1978). *Técnicas de cuantificación en Geografía*, Madrid, Editorial Tebar Flores.

Fernández García, F. (1996) *Manual de climatología aplicada*. Madrid, Editorial Síntesis.

Gamba, J.C. (2004) *Potencial Dinámico-Sintético. Argentina año 2050*. Buenos Aires, Egcyt.

Gámez Morales, W. R. (2010) *Texto básico de hidrología*. Managua, Universidad Nacional Agraria.

Gámir Orueta, A.; Ruiz Pérez, M. y Seguí Pons, J. (1995). *Prácticas de Análisis Espacial*. Barcelona, Oikos-tau.

García, R. (2006) *Sistemas Complejos*. Barcelona, Gedisa.

Gardner, H. (1983) *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York, Basic Books.

Garrison, W. y Marble, D. (Eds.) 1967. *Quantitative Geography*. Evanston, Northwestern Studies in Geography.

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I. y Besteiro, S. I. (2013) *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. La Plata, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Gerardi, L.H.O. y Silva, B.C.N. (1981) *Quantificação em Geografia*. Sao Paulo, DIFEL.

- Gibbs, J.P. (1961) *Urban Research Methods*. New Jersey, van Nostrand.
- Giraldo Henao, R. (2002) *Introducción a la Geoestadística. Teoría y Aplicación*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.
- Goodchild, M. (1993) Ten Years Ahead: Dobson's Automated Geography in 1993, *The Professional Geographer*, 45, 4, 444-446.
- Goovaerts, P. (1997) *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York, Oxford University Press.
- Grupo Chadule (1980) *Iniciación a los métodos estadísticos en Geografía*. Barcelona, Ariel.
- Haggett, P. (1965) *Locational Analysis in Human Geography*. London, Edward Arnold. (Trad: El análisis locacional en la Geografía Humana, Barcelona, Gustavo Gili, 1976)
- Hammond, R. y McCullagh, P. (1974) *Técnicas cuantitativas en Geografía*. Madrid, Editorial Saltés.
- Hartshorne, R. (1939) *The Nature of Geography: A Critical Survey of Current Thought in the Light of the Past*. Lancaster, Annals of the Association of American Geographers.
- Hartshorne, R. (1959) *Perspectives on the Nature of Geography*. Chicago, Rand McMillan. (port. Propósitos e Natureza da Geografia. Hucitec. Sao Paulo, 1978).
- Harvey, D. (1969) *Explanation in Geography*. London, Edward Arnold. (Trad: Teoría, Leyes y Modelos en Geografía, Madrid, Alianza, 1983)
- Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina - IGN. (2020) *Datos abiertos. Capas SIG*. Obtenido de: <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina - INDEC. (8 de junio de 2015a) *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (cuestionario básico)*. Obtenido de Base de Datos Redatam +Sp: https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010B&MAIN=WebServerMain.inl&_ga=2.124460620.799534294.1617970322-1484984679.1617970322

Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina - INDEC. (junio de 2015c) Unidades geoestadísticas. Cartografía y códigos geográficos del Sistema Estadístico Nacional. Buenos Aires, INDEC. Obtenido de <http://www.indec.gov.ar/codgeo.asp>

Isard, W. (1960) The Scope and Nature of Regional Science, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 6, 9-34.

Lahosa, J. M. (2002) Delincuencia y ciudad. Hacia una reflexión geográfica comprometida, *Biblio 3W*, 7, 349, 1-15. Obtenido de <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-349.htm>

Kellerman, A. (1983) Automated Geography: What Are the Real Challenges?, *The Professional Geographer*, 35, 3, 242-243.

Krige, D.G. (1951) A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand, *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52, 119-139.

Kuhn, T.S. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, University of Chicago Press.

Lanzelotti, S.D. y Principi, N. (2019). Método centrográfico. Aplicación a la localización de sitios arqueológicos en la cuenca del río Luján, en Buzai, G.D. y Santana Juárez, M.V. (Eds.) *Métodos cuantitativos en Geografía Humana*, Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, 15-25.

Manley, G. (1966) A New Geography, *The Guardian*, March 17th.

Marble, D. y Peuquet, D. (1983) The Computer and Geography: Some Methodological Comments, *The Professional Geographer*, 35, 3, 343-344.

Matheron, G. (1962) *Traite de Geostatistique Appliquee*. Paris, Editions Bureau de Recherche et Minieres.

Mazzeo, N. A. y Venegas, L. E. (2011) Efectos del viento y de las emisiones de óxidos de nitrógeno de los partidos limítrofes sobre la calidad del aire de la ciudad de Buenos Aires, *Rumbos Tecnológicos*, 3, 51-73.

McGuire, D. (1989) *Computers in Geography*. New York, Longman.

Méndez, W. y Marcucci, E. (2006) Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela, *Revista Geográfica Venezolana*, 47, 1, 29-55.

Miller, V.C. (1953) A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report 3, Columbia University.

Moellering, H. y Stetzer, F. (1983) A Comment on Automated Geography, *The Professional Geographer*, 35, 3, 345-346.

Monmonier, M. (1983) Comments on “Automated Geography”, *The Professional Geographer*, 35, 3, 346-347.

Monmonier, M. (1990) Strategies for the Visualization of Geographic Time-Series Data, *Cartographica*, 27, 30-45.

Morrison, J.L. (1983) Automated Geography: Challenges to Academic Geography, *The Professional Geographer*, 35, 3, 348.

Montes Galbán, E. (2017) Geografía de la educación: emergencia de un tema bajo la mirada del análisis espacial. *RED Sociales*, 4, 5, 168-182. Recuperado el 1 de Diciembre de 2017, de <http://www.redsocialesunlu.net/?p=1033>

Montes Galbán, E. (2019) Cuenca. Distribución espacial de la población. En: Buzai, G.D., Lanzelotti, S.L. *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, 92-95.

Montes Galbán, E. (2019) *Geografía de la Educación: relaciones espaciales entre el mapa social y un índice sintético educativo en los partidos de la cuenca del río Luján* (Tesis de doctorado). Resistencia, Universidad Nacional del Nordeste.

Montes Galbán, E. (2020) Expansión y densificación urbana del Gran Buenos Aires (2012-2019), *Geografía Digital*, 17, 33, 2-16. doi:10.30972/geo.17334097

Montes Galbán, E. (2021a) Aporte metodológico para la construcción cuantitativa de un índice sintético de vulnerabilidad: análisis espacial de la vulnerabilidad ante covid-19 en los municipios de la cuenca del río Luján, *Anuario de la División Geografía*, 15, 1-20.

Montes Galbán, E. (20 de agosto de 2021b) *Base de datos geográfica: Sistematización digital a partir del mapa de John Snow sobre la epidemia de cólera de 1854*. doi:10.13140 / RG.2.2.17865.06247

Montes Galbán, E. (agosto de 2021c) *Base de datos geográfica: Distribución espacial de los robos por barrio (centroides) en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires – enero de 2020*. doi:10.13140/RG.2.2.17458.73920

Montes Galbán, E. (20 de octubre de 2021d) *Base de datos geográfica: Muestreo espacial de la concentración de Dióxido de nitrógeno (NO₂) en Buenos Aires (19-10-2021)*. doi:10.13140/RG.2.2.20574.97606

Montes Galbán, E. (octubre de 2021e) *Base de datos geográfica: Distribución espacial (puntos) de las precipitaciones en la cuenca del río Luján – año 2020*. doi:10.13140/RG.2.2.29743.46245

Montes Galbán, E. (29 de octubre de 2021f) *Base de datos geográfica: sistematización de la oferta y demanda potencial del servicio de salud hospitalario en los municipios de la cuenca del río Luján*. doi:10.13140/RG.2.2.25560.62721

Montes Galbán, E., y Hurinson Prettes, C. (2013) Evaluación espacio-temporal de la contaminación por partículas suspendidas totales en las parroquias del área metropolitana del municipio Maracaibo, Venezuela, 2001-2008, *Perspectiva Geográfica*, 18, 2, 17-238. doi:10.19053/01233769.2676

Montes Galbán, E., y Márquez, S. (2019) Cuenca. Contexto urbano-rural. En G. D. Buzai, S. L. Lanzelotti, N. Principi, E. Montes Galbán, L. Humacata, Acuña Suarez, G. y Baxendale, C.A., *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, pp 48-49.

Montes Galbán, E., y Romero Méndez, A. (2015) Aproximación a los fundamentos epistemológicos y metodológicos para una geografía de la educación, *Terra Nueva Etapa*, 31, 49, 71-92. Recuperado el 25 de 02 de 2016, de:

<https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/FMfcgxvx BjTBXkRBxnX VWjfpSVfHZrpj?projector=1&messagePartId=0.1>

Montes Galbán, E., Cerezo, Y. y Romero Méndez, A. (2020) Eficiencia y equidad espacial como principios para la planificación territorial de los establecimientos educativos: Análisis de la educación primaria al sureste del municipio Maracaibo, Venezuela, *Anuario de la División Geografía*, 14, 1-17. Recuperado el 4 de mayo de 2020, de <https://adgunlu.wixsite.com/anuario-geografia/copia-de-anuario-13-2019>

Nyerges T.L. (1991) Analytical Map Use, *Cartography and Geographic Information Systems*, 18, 1, 11-22.

Nyerges, T.L. y Gollledge, R.G. (1997) Asking Geographic Questions. *NCGLA Core Curriculum in Geographic Information Sciences*, Santa Barbara, University of California, National Center for Geographic Information and Analysis.

Organización Meteorológica Mundial - OMM. (1994) *Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones*. OMM Quinta edición.

Organización Mundial de Salud - OMS. (22 de septiembre de 2021) *Calidad del aire y salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Ortiz Vera, S. O. (2016) *Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica (tesis doctoral)*. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.

O'Sullivan, D.; Unwin, D. (2003) *Geographic Information Analysis*. New Jersey, John Wiley & Sons.

Olsson, G. (1965) *Distance and Human Interaction. A Review and Bibliography*. Philadelphia, Regional Science Research Institute.

Ostuni, J.P.; Civit, M.E.F. de y Manchón, M.J.G. de (1983) *Técnicas en Geografía*. Mendoza, Inca Editorial

Paredes Hernández, C. U., Salinas Castillo, W. E., Martínez Becerra, X. y Jiménez Hernández, S. B. (2013) Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 82, 118-130.

Parzen, E. (1962) On Estimation of a Probability Density Function and Mode. *The Annals of Mathematical Statistics*, 33, 3, 1065-1076.

Pereira, G. W., Magalhães Valente, D. S., Marcal de Queiroz, D., de Freitas Coelho, A. L. y Carmelino Hurtado, S. M. (2021) *Smart-Map Plugin (SMP). Version 1.0.0.*

Phlipponneau, M. (2001) *Geografía Aplicada*. Barcelona, Ariel.

Pickles, J. (1993) Discourse on Method and the History of Discipline: Relections on Dobson's 1983 Automated Geography, *The Professional Geographer*, 45, 4, 451-455.

Pickles, J. (Ed.) (1995) *Ground Truth. The Social Implications of Geographic Information Systems*, New York, The Guilford Press.

Poiker, T. (1983) The Shining Armor of the White Knight. *The Professional Geographer*, 35, 3, 348-349.

Pounds, N. J. (1963) *Political Geography*. New York, Mc Graw Hill.

Principi, N. (2013) *Análisis de la estructura espacial regional*. Saarbrücken, Editorial Académica Española.

Principi, N. y Buzai, G. D. (2016) Análisis espacial para la determinación de la estructura socioespacial del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, en Buzai *et al.*, *Geografía y Análisis Espacial. Aplicaciones urbano-regionales con Sistemas de Información Geográfica*, Luján, EdUNLu, pp. 197-21.

Pumain, D. y Saint Julien, T. (2010) *Análisis Espacial. Las interacciones*. Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile.

QGIS Development Team. (1 de mayo de 2020) *QGIS. Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto*. Obtenido de <https://qgis.org/es/site/>

Ramírez, L. (2007) La vulnerabilidad sanitaria y epidemiológica. Aportes metodológicos que permiten definir las áreas sanitarias y epidemiológicas críticas y la población en riesgo en la provincia del Chaco. En: Foschiatti, A. *Aportes conceptuales y empíricos de la vulnerabilidad global*. Resistencia, EUDENE, pp. 334-397.

Ramírez, L. (2009) *Planificación territorial sanitaria y Sistemas de Información Geográfica: una aproximación al conocimiento de la accesibilidad de la población a los equipamientos hospitalarios*. Resistencia, Universidad Nacional del Nordeste.

Rand, A. (2011) *Introducción a la Epistemología Objetivista*. Buenos Aires, El Grito Sagrado.

Rangel Sotter, A. P., Sánchez Ipiá, A. H., Siabato Vaca, W. L., y Cely Pulido, J. W. (2002) Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental. *Ingeniería*, 7, 2, 31-38.

Ratzel, F. (1882) *Anthropo-geographie. Grundzüge der anwendung der erdkunde auf die geschichte*. Stuttgart, J. Engelhorn.

Rey Balmaceda, R. C. (1973) *Geografía Regional. Teoría y Aplicación*. Buenos Aires, Estrada.

Romero Méndez, A. y Montes Galbán, E. (2009) Evaluación espacio-temporal de la sedimentación en el embalse Burro Negro, Estado Zulia/Venezuela mediante el uso combinado de SIG – Ecosonda – DGPS, *GeoFocus*, 9, 209-231. Recuperado el 1 de abril de 2020, de <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/183>

Romero Méndez, A., Montes Galbán, E. y Franco, J. (2007) Aportes geográficos interdisciplinarios en el estudio del problema de la contaminación del aire. CASO: Estudio sobre los niveles de Partículas Suspendedas Totales en el Aire de la ciudad de Maracaibo, *Omnia*, 2, 30-55.

Rosenblatt, M. (1956) Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function, *The Annals of Mathematical Statistics*, 27, 3, 832-837

Santana Castañeda, G., y Aguilar, A. G. (2019) Método para autocorrelación espacial. En: Buzai, G. D. y Santana Juárez, M. V. *Métodos cuantitativos en Geografía Humana*. Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, pp. 109-127.

Santana Juárez, M. V., y Montes Galbán, E. (2019) Sistemas de Información Geográfica en Salud. En G. D. Buzai, L. Humacata, S. L. Lanzelotti, E. Montes Galbán, y N. Principi, *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 2: Por una Geografía empírica*. Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas, pp. 59-74.

Santos Preciado, J.M. y García Lázaro, F.J. (2008) *Análisis estadístico de la información geográfica*. Madrid, Universidad de Educación a Distancia.

Schaefer, F. (1953) Exceptionalism in Geography. A Methodological Examination, *Annals of the Association of American Geographers*, 43, 226-229.

Shaw, C., y McKay, H. ([1942], 2014) Juvenile delinquency and urban areas. En T. Anderson, *Understanding Deviance: Connecting Classical and Contemporary Perspectives*. Londres, Routledge, pp. 106-127.

Sheppard, E. (1993) Automated Geography: What Kind of Geography for What Kind of Society, *The Professional Geographer*, 45, 4, 457-460.

Shiode, N., Shiode, S., Rod-Thatcher, E., Rana, S. y Vinten-Johansen, P. (2015) The mortality rates and the space-time patterns of John Snow's cholera epidemic map. *International Journal of Health Geographics*, 14, 21, 1-15. doi:10.1186/s12942-015-0011-y

Snow, J. (1855) *On the mode of communication of cholera*. London: John Churchill. Recuperado el 1 de junio de 2021, de <https://archive.org/details/b28985266/page/n57/mode/2up>

Sichel, H.S. (1947) An experimental and theoretical investigation of bias error in mine sampling with special reference to narrow gold reef, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 56, 403-473.

Subsecretaría de Seguridad Comunal e Investigación Criminal. (2021) *Informe de Estadística Criminal 2020*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires Años 2016 a 2020. Buenos Aires, Buenos Aires Ciudad.

Soros, G. (2010) *The Soros Lectures at Central European University*. New York. Public Affairs.

Stewart, J. (1956) The development of social physics, *American Journal of Physics*, 18, 239-253.

Thomas, R. W. (1977) *An introduction to quadrat analysis*. Geo Abstracts Limited.

Tobler, W. (1970) A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region, *Economic Geography*, 46, 234-240.

Turner, A.J. (2006) *Introduction to Neogeography*. Sebastopol, O'Reilly Media.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - UICN. (2012) *Plataforma de la Red Geoespacial de América Latina y el Caribe (GEOSUR)*. Obtenido de <https://www.geosur.info/>

Vilá Valentí, J. (1983) *Introducción al estudio teórico de la Geografía*, Barcelona, Ariel.

Warntz, W. (1975) La nueva Geografía como teoría de sistemas espaciales: ¿cuenta mucho la vieja “Física Social”? En: Chorley, R.J. (ed.) *Nuevas Tendencias en Geografía*. Madrid. IEAL. pp. 137-187.

Wikimedia Commons (2021) *Mapa original realizado por John Snow en 1854. Los casos de cólera están resaltados en negro [Formato JPG]*. Recuperado el 1 de junio de 2021, de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snow-cholera-map-1.jpg>

Wikiversidad (2021) *Prueba de hipótesis (estadística)*. Obtenido de [https://es.wikiversity.org/wiki/Prueba_de_hip%C3%B3tesis_\(estad%C3%ADstica\)](https://es.wikiversity.org/wiki/Prueba_de_hip%C3%B3tesis_(estad%C3%ADstica))

Zipf, G.K. (1946) The P_1P_2/D hypothesis: on the intercity movement of persons, *American Sociological Review*, 11, 677-686.

Zipf, G.K. (1949) *Human behaviour and the principle of least effort*. Cambridge, Addison-Wesley.

LOS AUTORES



GUSTAVO D. BUZAI

Prof. (Hon). Lic. Dr. (Hon). PosDoc

(Mar del Plata, Argentina, 1964). Profesor de Geografía (Universidad de Buenos Aires), Licenciado en Geografía (Universidad de Buenos Aires) y Doctor en Geografía (Universidad Nacional de Cuyo). Estadías de capacitación académica en la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, Brasil) y de investigación posdoctoral en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM, España) y Universität Innsbruck (UIBK, Austria). Profesor del Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján. Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Director del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG) y Director del Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO).

Mail: gdb@unlu.edu.ar



ELOY MONTES GALBÁN

Lic. Dipl. Mg. Dr.

(Maracaibo, Venezuela, 1981). Licenciado en Educación con mención Geografía (Universidad del Zulia, Venezuela), Magister Scientiarum en Geografía (Universidad del Zulia, Venezuela) y Doctor en Geografía (Universidad Nacional del Nordeste, Argentina). Diplomado en Geoinformática (LUZ/CEDIC) y Diplomado en Metodología de la Investigación (LUZ/CECOU). Docente del Departamento de Ciencias Sociales y del Departamento de Tecnología de la Universidad Nacional de Luján. Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Director del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG) del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG).

Mail: emontesgalban@gmail.com

COLECCIÓN ESPACIALIDADES

Disponibles en www.inigeo.unlu.edu.ar

1-(2019): *Teoría y métodos de la Geografía Cuantiativa. Libro 2: Por una Geografía empírica*. Buzai, G.D.; Humacata, L.; Lancelotti, S.L.; Montes Galbán, E.; Pricipi, N., Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-1548-95-1, ISBN (digital) 978-987-1548-95-8. (224 páginas).

2-(2019): *Métodos cuantitativos en Geografía Humana*. Buzai, G.D.; Santana Juárez, M.V. (Comp.), Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-1548-97-2, ISBN (digital) 978-987-1548-98-9. (352 páginas).

3-(2019): *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buzai, G.D.; Lancelotti, S.D. (Dir.), Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-47450-0-2, ISBN (digital) 978-987-47450-1-9. (290 páginas).

4-(2020): *La construcción del espacio urbano: mutaciones y permanencias del acceso al suelo por los sectores populares en el noroeste de la Región Metropolitana de Buenos Aires*. Soria, M.L., Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-47450-7-1, ISBN (digital) 978-987-47450-8-8. (360 páginas).

5-(2020): *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones para el análisis de clasificación espacial y cambios de usos del suelo*. Humacata, L., Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-47450-7-1, ISBN (digital) 978-987-47450-8-8. (184 páginas).

6-(2020): *Desamarradas. Geografías de mujeres en movimiento*. Varela Conesa, V. (Coord.), Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-47904-2-2, ISBN (digital) 978-987-47904-3-9 (534 páginas).

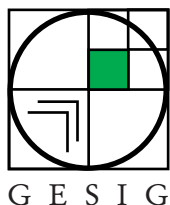
7-(2020): *Viajeros y campesinos: valorización turística del valle Calchaquí salteño a partir del turismo rural comunitario*. Cáceres, C., Impreso Ilustre Digital S.R.L., Chivilcoy, ISBN (impreso) 978-87-86-8113-9 (236 páginas).

8-(2021): *Geografía del COVID-19: De Wuhan a Luján a la ciudad de burbujas*. Buzai, G.D., Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-47804-6-0, ISBN (digital) 978-987-47904-7-7.

9-(2021): *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. Impresiones Buenos Aires Editorial, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN (impreso) 978-987-47904-7-7, ISBN (digital) 978-987-48639-3-9.

Nuevo en la versión 1.1.

Ampliaciones en las aplicaciones 2B - Análisis de formas,
3C-interpolación con kriging y 3D - Modelado Kernel



ISBN 978-987-48369-2-2

