

# Geografía, mapas y modelización. Criterios desde el realismo y la cuantificación espacial

Gustavo D. Buzai\*

## Resumen

La Geografía Humana desarrolló conocimientos que permitieron analizar desde un punto de vista sistémico la diferenciación espacial de las relaciones entre los aspectos naturales y sociales. En su núcleo se encuentran los mapas y la modelización, ya que es a través de ellos con el que consigue expresar la perspectiva espacial de sus análisis. El presente trabajo realiza un recorrido por las definiciones de Geografía, el realismo científico, la perspectiva sistémica, la Geografía Cuantitativa y la inferencia causal para confluir con un análisis aplicativo a partir de los procedimientos del modelado cartográfico, metodología central en el análisis espacial actual basado en Sistemas de Información Geográfica. De esta manera cubre el camino completo que transita desde las definiciones disciplinarias puras hasta la Geografía Aplicada donde se evidencia el papel de los modelos espaciales como articuladores de las diferentes escalas entre los mayores niveles de abstracción y concreción.

**Palabras clave:** Geografía Humana, Modelización, Modelado cartográfico, Análisis Espacial, SIG.

## Geography, maps and modelling. Criteria from realism and spatial quantification

## Abstract

Human Geography developed knowledge that allowed to analyse the spatial differentiation of relationships between natural and social aspects from a systemic point of view. At its core are maps and modelling through which the spatial perspectives of its analyses are expressed. The present work will go through the definitions of Geography, scientific realism, the systemic perspective, Quantitative Geography and causal inference to conclude with an applicative analysis based on the procedures of cartographic modelling, a central methodology in the current spatial analysis based on Geographic Information Systems. In this way, the complete path

---

° DOI: <https://doi.org/10.52292/j.rug.2022.31.1.0033.0054>

\* Universidad Nacional de Luján, Instituto de Investigaciones Geográficas / CONICET, [www.inigeo.unlu.edu.ar](http://www.inigeo.unlu.edu.ar) - [gdb@unlu.edu.ar](mailto:gdb@unlu.edu.ar)

from pure disciplinary definitions to Applied Geography is covered, where the role of spatial models as articulators of the different scales between the highest levels of abstraction and concretion is evident.

**Keywords:** Human Geography, Modelling, Cartographic Modelling, Spatial Analysis, GIS.

## Introducción

El objeto formal de la Geografía es la perspectiva espacial. Al ser aplicada al estudio de la relación entre lo natural y lo social genera el espacio del núcleo disciplinar en el que se encuentra todo lo que puede ser comunicado a través del mapa, ya que allí se pueden encontrar la totalidad de conceptos de naturaleza espacial.

Dicha relación brinda el surgimiento de la Geografía Humana y su evolución desde inicios del Siglo XX hasta hoy puede ser analizada claramente mediante el modelo de evolución científica propuesto por Thomas S. Kuhn centrado en el concepto de paradigma. Estos paradigmas, como visión del mundo, generaron diferentes definiciones para la Geografía, de las cuales consideramos que tres de ellas resultan ser operativas para el análisis espacial y que llegan a una combinación de características ecológicas, corológicas y sistémicas.

Analizar el espacio geográfico desde un punto de vista sistémico lleva a la formulación de modelos, representaciones de una realidad que existe independientemente del pensamiento. En este sentido, el modelo aparece como una representación del mundo que ayuda a pensarlo, siendo el mapa el principal modelo de la Geografía, ubicado de manera inseparable de su núcleo disciplinar.

El objetivo es estudiar los sistemas espaciales en diferentes escalas a través de la Teoría General de los Sistemas en sus aspectos de funcionalidad compartida o la Teoría de los Sistemas Complejos en características específicas para cada nivel de análisis. Cabe destacar que cada escala puede utilizar teorías específicas y, en ese sentido, los paradigmas de la Geografía estarían ubicados en diferentes estratos. El nivel focal estaría ocupado por el paradigma regional y el cuantitativo.

La Geografía Cuantitativa incorpora la actualización regional en cuanto a la construcción cartográfica de áreas homogéneas y avanza, desde la geometría, hacia el uso de métodos de análisis multivariado aplicados en un tratamiento matricial con el objetivo final de encontrar valores de correlación que apoyen el descubrimiento teórico de relaciones de causalidad. Realizar inferencias causales permite dar explicación las localizaciones y distribuciones espaciales.

El modelado cartográfico se presenta como procedimiento central del análisis espacial en la búsqueda de dichas relaciones causales y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) le dan preponderancia en el conjunto de sus procedimientos semi-automatizados como etapa actual de un largo recorrido temático analizado por Sánchez (2017). Pueden ser aplicadas estrategias de análisis con un creciente nivel de acercamiento a la realidad. Procedimientos que a través de los modelos de resolución se encuentran en el núcleo de la disciplina y en la tradición científica. Las soluciones siempre son de naturaleza espacial y en ellas están contenidos los diferentes aspectos conceptuales mencionados y que serán desarrollados seguidamente en detalle.

## Geografía Humana

En la evolución del pensamiento geográfico pueden encontrarse los elementos propuestos por Thomas S. Kuhn para comprender el desarrollo científico. Es central aquí el concepto de paradigma como “realizaciones científicas universalmente reconocidas que durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica” (Kuhn, 1993, p. 13), en síntesis, representa una base conceptual y contextual a partir de la cual es posible interpretar la realidad.

El modelo de evolución científica por cambios paradigmáticos considera que un paradigma es estable durante cierto tiempo que es denominado período de ciencia normal y regularmente aparecen instancias revolucionarias en las cuales un paradigma es desplazado y sucedido por otro. La ciencia avanza en una alternancia periódica entre acumulación de conocimientos y cambios revolucionarios.

El análisis de la evolución del pensamiento geográfico desde su definición como ciencia humana debe considerarse con inicio a finales del Siglo XIX cuando diversas líneas de investigación encuentran un nuevo criterio demarcatorio que convierte a la Geografía en una ciencia humana que evoluciona hasta la actualidad.

La acumulación de conocimientos se había logrado en una línea que se apoyaba en una filosofía cosmográfica. La cosmografía era un campo de gran amplitud que incluía diversas disciplinas como la Geografía, Cartografía, Biología o Antropología (Holt Jensen, 2018) y la Geografía era el punto de origen de gran cantidad de ciencias de la naturaleza que comenzaban a tener identidad y dejaban sin contenido a una ciencia que no podía abarcarlo todo.

A finales del Siglo XIX comienza formalmente la Geografía Humana a través del libro *Anthropogeographie. Die geographische Verbreitung des Menschen* (1882) de Friedrich Ratzel (1844-1904) quien sistematizó la línea de pensamiento que había sido delineada por Ferdinand von Richthofen (1833-1905) y Carl Ritter (1779-1859) al incluir de manera central las actividades humanas sobre la superficie terrestre. Por lo tanto, la Geografía, sin dejar su contenido físico-natural incluyó definitivamente una componente humana que le brindaba identidad.

En este contexto surge su primera definición, de orientación ecológica, que considera que la Geografía es la ciencia que estudia la relación del hombre con el medio. Esto le brinda un lugar específico en el contexto científico mediante el vínculo entre dos componentes, uno natural y otro humano. Actualmente en el primer componente puede considerarse el medio, la naturaleza o el espacio geográfico y en el segundo la población o la sociedad.

A inicios del Siglo XX los trabajos de Paul Vidal de la Blache (1845-1918) dieron origen a la Geografía Regional, perspectiva de análisis que sería central durante el primer cuarto de Siglo. Sus fundamentos se retrotraen al Siglo XVII con el aporte de Bernhardus Varenius (1622-1650) y su diferenciación de escalas entre una Geografía General para el estudio planetario y una Geografía Especial al considerar espacios específicos. El mundo se divide en regiones que sintetizan las relaciones de forma única e irrepetible como realidad independiente de los observadores.

Una actualización de esta perspectiva comienza con los estudios de Alfred Hettner (1859-1941) y queda sistematizada por Richard Hartshorne (1899-1992) en una perspectiva que podría denominarse Geografía Racionalista en la que la Geografía junto a la Historia son ciencias excepcionales y transversales a las ciencias sistemáticas, según la clasificación realizada por Immanuel Kant (1724-1804). La Geografía atraviesa un cambio paradigmático que se sustenta metodológicamente en la superposición cartográfica que presenta la asociación espacial entre categorías de las variables. De esta manera surge una segunda definición, esta vez de tipo corológica, en donde la Geografía es la ciencia que estudia la diferenciación areal.

Al analizar la superficie terrestre siempre existen diferencias espaciales y estas son el fundamento de la Geografía y de los mapas. Sería definido por Edward Ackerman (1911-1973) como la distribución de espacios en la superficie terrestre y el análisis de las relaciones espaciales internas (Ackerman, 1958).

A mediados del Siglo XX estaba en marcha un importante avance tecnológico que recibía su impulso a partir del avance de la Física y Matemáticas en el contexto de la II Guerra Mundial y la guerra fría (Johnston, 1987). Aquí se incluye la carrera espacial y el desarrollo comunicacional en red en el logro de comunicaciones no-lineales que dieran como resultado la estructura de Internet.

En Geografía se desarrolla la perspectiva espacial en generalizaciones que permiten encontrar regularidades. Surge la Geografía Cuantitativa como cambio revolucionario (Burton, 1963) en trabajos que privilegian la modelización. La región se construye con procedimientos del modelado cartográfico o de la utilización del análisis multivariado en la matriz de datos geográfica propuesta por Berry (1964). Estos desarrollos delinearon una tercera definición, de carácter sistémico, donde la Geografía es la ciencia que formula leyes y modelos correspondientes al estudio de las pautas de distribución espacial.

Estas tres definiciones son operativas y llevan a la posibilidad de aplicación. La Geografía como ciencia espacial sintetiza el total de perspectivas ya que aborda la relación entre la sociedad y su medio, define diferenciaciones areales y genera modelos que conectan la teoría con la realidad. Corresponde a la construcción del campo disciplinar base para el desarrollo de los SIG con impacto en diferentes ciencias (Buzai, 1999).

## Realismo científico

La Geografía Humana como ciencia espacial aborda la realidad basada en las tres definiciones operativas la cual existe independientemente de las teorías que la explican (Bunge, 1972) y actualmente los SIG se ubican entre la teoría y la realidad a partir de la realización de modelos espaciales que permiten describirla y explicarla.

El término modelo puede ser considerado con dos significados, como representación y como ideal. Los modelos en Geografía Humana contemplan ambas características (Haggett, 1983). Son representaciones que intentan mostrar aspectos de la realidad socioespacial de manera simplificada a partir de considerar las entidades y relaciones fundamentales y, con posibilidad de avanzar en una visión prospectiva que, siendo la situación ideal, sirve de guía para orientar acciones de planificación.

En este contexto, una postura realista considera que los modelos describen concretamente el mundo. Un mapa topográfico presenta la localización específica de dos ciudades en el espacio regional, se puede calcular la distancia entre ellas (lineal o real), lo cual resulta ser tan tangible como la misma materialidad urbana y en base a los pesos poblacionales ( $P$ ) y distancia ( $d$ ) podría calcularse el flujo potencial de interacción ( $I$ ) entre ellas a partir de  $I_{ij} = a[(P_i \times P_j)/d_{ij}^b]$ . Resulta evidente que si  $P$  aumenta o  $d$  disminuye (por ejemplo, cuando  $d$  se mide en tiempo),  $I$  será mayor (Buzai y Baxendale, 2012). Las constantes  $a$  y  $b$  ajustan el modelo a valores empíricos del movimiento entre las dos ciudades.

Por otro lado, una postura instrumentalista establece que el modelo no es una visión del mundo, sino que servirá como herramienta de cálculo, es decir, que será un instrumento de utilidad para tomar decisiones técnicas. Este no es el caso de la Geografía Humana, donde se manifiesta con gran claridad que el espacio geográfico, representado por la superficie terrestre, brinda el soporte material concreto para que la aplicación de los modelos tenga un claro correlato con la realidad a la que se refieren. La fórmula presentada deriva del modelo gravitatorio de Isaac Newton (1643-1727) reemplazando las masas de dos cuerpos celestes por un valor de ponderación de los centros urbanos que en el caso general considera la población y la interacción puede medirse de manera amplia (Mitchel, 2010), inclusive en el análisis de flujos del comercio internacional (Bergeijk et al., 2010).

Para la postura realista, el modelo intenta llegar a la verdad, ya que con el objetivo de formular explicaciones concretas, brinda la posibilidad de que el usuario, por su intermedio, llegue a realizar razonamientos válidos respecto del objeto de estudio. El modelo es un vehículo que permite obtener información de la realidad como target (Lucero, 2020), posibilidad que surge al considerar que la realidad existe independientemente del pensamiento, es decir, que existe una realidad material objetiva fuera de la idealización humana y de los aspectos conceptuales utilizados para abordarla.

Se utiliza el concepto de verdad como adecuación, representada como una relación de correspondencia entre el pensamiento y la entidad real, en este sentido es objetiva y puede ser contrastable intersubjetivamente (Díaz y Heler, 1986) mientras que el instrumentalismo no considerará que los modelos puedan tener el objetivo de dirigirse hacia la verdad, sino que únicamente tomarán una posición de instrumentos que presenten mayor o menor utilidad.

Es sabido que la verdad es un propósito hacia el que pueden orientarse los logros científicos, pero nunca se estará seguro a que distancia se estará para alcanzarla. El falsacionismo indica que las teorías científicas pueden falsarse pero no se pueden verificar, aunque si se puede lograr mayor verosimilitud, pero ante la imposibilidad de medir la distancia hacia la verdad, Karl Popper (1902-1994) introduce el concepto de probabilidad en una evolución que se produce hacia situaciones que generan un conocimiento mayor (Klimovsky, 1995). De todas formas, en Geografía, conocemos situaciones en las que podríamos decir que difícilmente se pueda realizar una mayor aproximación a la verdad. Es posible tomar como ejemplo el debate sobre la forma de la Tierra producido en el Siglo XVIII entre Giovanni Cassini (1625-1712) e Isaac Newton (1643-1727) que fue resuelto a partir de mediciones precisas realizadas por las expediciones científicas francesas que midieron la longitud de un grado de meridiano terrestre en el ecuador (Quito-Cuenca) por Charles Marie de la Condamine (1701-1774) y cercano al polo norte (Laponia) por Pierre Louis Maupertius (1698-1759) (Ballesteros, 2019). El resultado se publicó en 1744 y confirmaba la hipótesis de Newton en la que la Tierra es una esfera que por su dinámica de rotación se encuentra achatada en los polos y ensanchada en el Ecuador.

Por último, resulta de interés centrar la atención en la relación representacional de los modelos con la realidad, en este sentido, mediante la utilización del SIG, se apoya una teoría *sustantiva* en concordancia con el realismo científico al considerar que el modelo representa la realidad independientemente de la actividad intelectual del usuario. No significa que se desconozca su papel necesario como mediador de esta relación, pero no llega a ocupar el lugar de centralidad como en la teoría deflacionaria que privilegia al usuario en detrimento del vínculo entre el modelo y la realidad. Sin embargo, siguiendo a Giere (2004), es posible mostrar el vínculo entre los cuatro componentes al decir que la relación completa está dada por sujetos que utilizan modelos para representar una parte del mundo con un determinado propósito. En Geografía Humana este objetivo consiste en analizar la realidad socioespacial desde un punto de vista sistémico en donde una parte de la materialidad del mundo queda recortada como totalidad (García, 2006) en una focalización espacial, en la que quedan plasmados sus elementos y relaciones fundamentales en aspectos estructurales que sirven para conocer, explicar e intentar predecir el contexto geográfico.

## Sistemas espaciales

Las distribuciones espaciales se encuentran en constante evolución. El transcurso del tiempo propicia cambios que no se producen de manera aleatoria, sino que pueden entenderse a través de poner en evidencia las leyes que rigen las pautas de distribución espacial. Estas leyes surgen al estudiar comportamientos generales empíricos y son utilizadas para realizar predicciones teóricas de las configuraciones futuras en un claro accionar predictivo de la investigación científica.

Investigaciones realizadas en diferentes campos del conocimiento durante el Siglo XX fueron transformando las perspectivas iniciales de cada especialización al centrarse en el estudio de los objetos materiales y relaciones en componentes que muchas veces se consideraron aislados. La ciencia comenzó a ver totalidades a través de considerar la realidad como sistema.

Surge la Teoría General de los Sistemas (TGS) enunciada y definida por Ludwig von Bertalanffy como teoría global que sustenta una perspectiva modelística en elementos y relaciones (Bertalanffy, 1968). El objetivo central consiste en determinar similitudes estructurales entre fenómenos comunes descubiertos en diferentes sistemas y, de esta manera, poder utilizar las mismas herramientas teóricas para analizarlos. Determinadas funciones matemáticas podrían ser utilizadas para describir aspectos del comportamiento de una galaxia, una ciudad o una célula.

En un sistema resulta necesario explicar un aspecto en relación con otros y con la estructura total que los vincula. Se considera que la perspectiva sistémica permitió unir las piezas disgregadas que se producen a través de la alta especialización y brinda perspectivas globales al enfoque analítico.

La aplicación de la TGS en el análisis espacial permitirá obtener resoluciones a través del uso de las matemáticas como lenguaje de la ciencia y de la geometría como el lenguaje de las formas espaciales. La calibración de modelos mostrará algunas especificidades que surgen para diferentes temáticas y escalas.

Considerar aspectos específicos permitirá centrar la atención en diferentes escalas en la búsqueda de una complementación que fue lograda con el desarrollo de la Teoría de los Sistemas Complejos (TSC) sistematiza en el ámbito de las ciencias sociales por García (2006) como sustento del trabajo científico interdisciplinario a partir de las bases propuestas por la Epistemología Genética de Jean Piaget.

La TSC ha demostrado grandes capacidades para el estudio de la realidad socioespacial en las investigaciones geográficas y, también, para entender aspectos correspondientes a la construcción de conocimientos en base a su aptitud epistemológica.



Considera que la realidad se encuentra formada por una estructura estratificada a partir de escalas con organización semi-autónomas. Al aplicar la TSC al análisis espacial se realizará un estudio en un nivel de análisis específico (nivel focal), uno superior (nivel suprafocal) y otro inferior (nivel infrafocal) poniendo atención en las dinámicas específicas de cada escala. Esta situación permite ampliar la TGS contando con un marco general que permite sustentar la estabilidad de determinadas teorías en niveles específicos y la imposibilidad de invalidación a través de buscar elementos en otros niveles de análisis.

La TGS se focaliza en aspectos generales y la TSC incluye aspectos específicos. Ambas brindan la posibilidad de estudiar la realidad como totalidad en sus múltiples dimensiones y detalles.

### **Métodos cuantitativos en Geografía**

La posibilidad de estudiar la realidad como sistema espacial incorpora la utilización de técnicas cuantitativas para estudiar la Tierra con un origen lejano, Eratostenes (276 a.C. – 194 a.C.) mediante la utilización de métodos matemáticos basados en la trigonometría pudo calcular el tamaño real de la esfera terrestre. A partir de allí toda técnica cuantitativa estuvo abocada a la realización de mediciones sobre su superficie y, principalmente, fueron utilizadas en apoyo a la realización de mapas cada vez más precisos. El arte y la técnica de la cartografía tuvo su esplendor en la denominada era de los descubrimientos, transcurrida entre el Siglo XV y XVII. En este período se destaca la realización del primer globo terráqueo realizado por Martin Behaim (1459-1507), el perfeccionamiento de los sistemas de proyección realizado por Johannes Werner (1468-1522) y el primer mapamundi mural con la distribución espacial precisa de los diversos continentes, realizado por Martin Waldseemüller (1470-1520).

Sin embargo, todas estas líneas de trabajo estuvieron desarrolladas en un período pre-paradigmático que tuvo una extensión de más de dos mil años hasta llegada la crisis en la definición del objeto de estudio material de la disciplina que fue superada al ser definida como ciencia humana. La Geografía dejaba de ser una ciencia que ponía su atención sobre los aspectos físico-naturales terrestres para incorporar definitivamente al hombre y sus actividades, convirtiéndose en la ciencia que evolucionaría hasta hoy a partir de la búsqueda de diferenciaciones espaciales producidas por la relación entre la sociedad y la naturaleza.

Al inicio del Siglo XX el objeto de estudio de la Geografía fue la región, una porción delimitada de la superficie terrestre que sintetizaba la totalidad de las relaciones, y como las regiones eran consideradas únicas e irrepetibles, el método de análisis principal fue el descriptivo. Correspondía a focalizarse en la manifestación visible del paisaje. Esa visión romántica tuvo predominancia durante

las primeras tres décadas del Siglo y luego contó con una actualización realizada por Richard Hartshorne (1899-1992) al considerar la posibilidad de construcción regional, aunque técnicamente se realizaría a partir de la superposición cualitativa entre diferentes mapas buscando la definición de regiones geográficas formales a través de la combinación de categorías.

Este cambio epistemológico hacia la posibilidad de construcción regional fue el que propició la aparición del paradigma cuantitativo sustentado en las consideraciones vertidas por Fred K. Schaefer (1904-1953) en su célebre artículo *Exceptionalism in Geography* (1953) en el que sentó las bases constructivistas mediante la utilización de métodos cuantitativos a partir de modelizaciones (Ruiz i Almar, 2019).

La Geografía no debía estudiar los elementos de la realidad desde un punto de vista idiográfico, sino que debía abordarlos de forma nomotética al focalizarse en aspectos generalizables a fin de encontrar regularidades que permitan descubrir las leyes que rigen las pautas de distribución espacial. De esta manera la Geografía no solamente sería una ciencia del presente que recurre al pasado, sino que puede avanzar hacia la predicción de distribuciones espaciales futuras.

Se produce la denominada Revolución Cuantitativa en Geografía con trabajos de aplicación en diferentes líneas que llegan a una primera sistematización completa en el libro *Theoretical Geography* (1963) realizado por William Bunge (1928-2013) y donde se considera que la matemática es el lenguaje de la ciencia y la geometría el lenguaje de la forma espacial. Se reconocen los trabajos pioneros como el modelo de localización agrícola (1926) de Johann Heinrich von Thünen (1783-1850), el modelo de localización industrial (1909) de Alfred Weber (1868-1958) y la teoría de los lugares centrales (1933) formulada por Walter Christaller (1893-1969) como antecedentes del uso de geometría espacial en Geografía Humana.

La matriz de datos geográfica permitiría realizar un importante avance cualitativo a partir del uso de métodos de análisis multivariado con fines clasificatorios (Buzai y Ruiz i Almar, 2022), la Geografía pasaba a descubrir factores subyacentes en el comportamiento socioespacial a partir del uso del Análisis Factorial y disponía de la posibilidad de regionalización cuantitativa a partir del Análisis *Cluster*.

Las delimitaciones espaciales sobre la superficie terrestre habían ganado en nivel de abstracción evolucionando por los conceptos de región, área y unidad espacial, esta última, propia de la Geografía Cuantitativa.

Esta sistematización de la información espacial separa el mapa (base de datos gráfica) de los atributos medidos en sus unidades espaciales (base de datos alfanumérica) y la aplicación de técnicas cuantitativas permite eludir la rigidez generada por la geometría, ya que los procedimientos se realizan en los datos numéricos

para luego representar cartográficamente los resultados obtenidos. Las técnicas comienzan a sustentarse en la aplicación estadística como especialidad de las matemáticas que entiende en las formas para obtener, sistematizar, tratar, analizar y presentar resultados para la toma de decisiones en el marco de la Geografía Aplicada (Phlipponneau, 2001). En este caso, a partir del uso de datos geográficos, referenciados espacialmente sobre un sistema de coordenadas para la toma de decisión locacional.

Bajo esta perspectiva la Geografía Cuantitativa y sus técnicas se sistematizan a través de una nueva obra, *Locational Analysis in Human Geography* (1976) de Peter Haggett centrados en la modelización de estructuras territoriales.

Esta evolución ha sentado las bases para la aplicación de técnicas cuantitativas en la actualidad con base en el análisis espacial con SIG (Buzai y García de León, 2018). Se define a la Geografía como ciencia espacial apoyada en seis conceptos centrales: localización, distribución espacial, asociación espacial, interacción espacial y evolución espacial y sus combinaciones en la síntesis geográfica. El desarrollo de *software* permitió sistematizar las técnicas cuantitativas en el ambiente de las computadoras personales que resultan imprescindibles para la realización de diagnósticos en el ordenamiento territorial.

Como puede verse en la Tabla I, el avance de los métodos cuantitativos, que se verifica aceleradamente en las últimas dos décadas, se produce hacia una mayor flexibilidad hacia la aplicación de la modelización a espacios locales (Fotheringham et al., 2000; Lloyd, 2019), tal el caso de la definición de límites difusos (Petry et al., 2005), cálculo de índices de concentración (Buzai y Baxendale, 2012), el análisis exploratorio de datos espaciales (Haining, 2003), el modelado para la detección de *clusters* de puntos (Rogerson y Yamada, 2020), estimación de densidades kernel (Gramacki, 2017), interpolación geoestadística (Chun y Griffin, 2013) o el cálculo de estadísticas locales ajustadas geográficamente (Fotheringham et al., 2002).

	Procedimiento metodológico	Técnicas
1	Aplicación de procedimientos de generalización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realización de mapas por reclasificación.</li> <li>• Realización de mapas booleanos.</li> </ul>
2	Aplicación de procedimientos de modelado cartográfico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superposición asociativa.</li> <li>• Superposición clasificatoria (regionalización).</li> </ul>
3	Aplicación de procedimientos de evaluación multicriterio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de capas temáticas booleanas.</li> <li>• Creación de capas temáticas fuzzy.</li> <li>• Combinación booleana (Bool).</li> <li>• Combinación lineal ponderada (WLC).</li> <li>• Promedios ordenados ponderados (OWA).</li> </ul>

4	Aplicación de procedimientos de la ecología de paisajes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de métricas de estructura del paisaje.</li> <li>• Utilización de ventanas móviles para el cálculo de índices locales (riqueza relativa, diversidad, dominancia, fragmentación).</li> </ul>
5	Análisis de evolución temporal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superposición cartográfica (chess-map).</li> <li>• Evolución de la dimensión fractal.</li> <li>• Modelado por autómatas celulares.</li> <li>• Evolución del centro medio y elipses de dispersión.</li> </ul>
6	Aplicación de procedimientos del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gráfica univariada (histograma, box-plot).</li> <li>• Gráfica bivariada (scatter plot).</li> <li>• Cartografía ESDA.</li> </ul>
7	Aplicación de procedimientos de clasificación y regionalización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estandarización de variables (<math>\omega</math> y <math>z</math>).</li> <li>• Análisis multivariado en variables de beneficio, costo y combinaciones.</li> <li>• Cálculo de indicadores de Planificación.</li> <li>• Cálculo de factores subyacentes por análisis factorial o análisis de componentes principales.</li> <li>• Regionalización mediante el uso de la matriz de datos geográfica: linkage analysis y cluster analysis.</li> </ul>
8	Aplicación de procedimientos centrográficos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo del centro medio.</li> <li>• Cálculo del centro de desplazamiento mínimo.</li> <li>• Cálculo de la elipse de dispersión.</li> </ul>
9	Aplicación de procedimientos de análisis de áreas de influencia, accesibilidad e interacción espacial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definición de buffers y polígonos de Thiessen.</li> <li>• Ajustes de áreas de influencia con restricción de distancia y/o capacidad teórica de la centralidad.</li> <li>• Mapeo de isoclinas de accesibilidad (ideal, real, calidad en la comunicación, trayectorias).</li> <li>• Interacción gravitatoria.</li> <li>• Potencial de población.</li> </ul>
10	Aplicación de procedimientos de análisis de concentración y autocorrelación espacial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo del índice de Concentración Espacial Global (ICEG).</li> <li>• Cálculo del índice de Concentración Espacial Areal (ICEA).</li> <li>• Cálculo de índices de autocorrelación espacial (I de Moran, G de Getis-Ord).</li> </ul>
11	Aplicación de procedimientos para el análisis de regresión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regresión simple.</li> <li>• Regresión múltiple.</li> <li>• Regresión múltiple ajustada geográficamente (GWR).</li> </ul>
12	Elaboraciones de mapas mentales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de elementos visuales.</li> <li>• Análisis de preferencias y mapas de isoclinas.</li> <li>• Regionalización por asociación box-counting.</li> </ul>

**Tabla I.** Síntesis metodológica y técnica del análisis espacial. Fuente: elaboración del autor.

## Inferencia causal

La pregunta fundamental del análisis espacial en Geografía se refiere al “dónde” y explicarlo lleva a considerar sus causas.

Muchas veces la causalidad y el determinismo son considerados sinónimos, cuando en realidad el segundo es una forma extrema del primero (Bunge, 1978) ya que representa una situación en la que no se deja posibilidad de acción para apartarse de acontecimientos fijos ineludibles. Los procedimientos estadísticos aplicados en Geografía Humana (Buzai y Santana Juárez, 2019, Buzai y Montes Galbán, 2021) brindan buenas posibilidades aplicativas en donde la inferencia causal, como elemento central del racionalismo, conecta teoría y metodología para la obtención de resultados.

El análisis multivariado inicia con la organización de una matriz de datos tradicional de filas y columnas, en las primeras se ubican las unidades espaciales y en las segundas las variables que incluyen los datos cuantitativos obtenidos de la realidad como medición de la intensidad de cualidades. Los procedimientos de transformación matricial se dirigen hacia la realización de la matriz de correlaciones de variables de donde la totalidad de relaciones estará definido por un triángulo interior de  $[(N^2 - N)/2]$ . Los valores cuantitativos se obtienen a través del cálculo del coeficiente  $r$  de Pearson con valores 1 en la diagonal y diferentes resultados de correlación entre el  $r=-1$  (máxima correlación negativa) y el  $r=1$  (máxima correlación positiva).

La inferencia implica extraer un juicio o conclusiones a partir de las relaciones establecidas. La inferencia causal deduce las causas explicativas a partir de los datos correlacionados, aunque la obtención de valores altos de correlación no implica que exista una causalidad. Se representa mediante la probabilidad de un evento  $A$  por causa de  $B$ , siendo  $P(A \setminus B) > P(A)$ .

En toda área urbana se verifica una alta correlación entre el mapa de preferencias construido por encuestas y el mapa social construido mediante el uso de datos censales (Buzai, 2011, 2014), siendo claro que las preferencias no son la causa de la distribución socioespacial urbana. Si bien hemos podido medir un coeficiente de correlación de  $r$  significativamente positivo para ambas distribuciones espaciales, es posible afirmar que  $P(A \setminus \neg B)$  aunque pueda considerarse una causalidad inversa.

En áreas surgidas por asociación espacial a partir de una superposición de mapas podemos verificar que existe una alta correlación entre determinado tipo de suelo y la aglomeración urbana (Baxendale y Buzai, 2011), pero el tipo de suelo no es la causa del crecimiento urbano, en este sentido se cumple que la intersección es un subconjunto de ambas distribuciones espaciales  $A \cap B \subseteq A, B$ .

Estos ejemplos muestran que no se producen relaciones causales  $A \rightarrow B, B \rightarrow A$  a pesar de obtenerse un alto valor en el coeficiente de correlación o de lograrse una importante y creciente superficie de superposición de categorías.

Cuando nos encontramos con dos variables que tienen alta correlación podría definirse una relación causal obteniéndose el valor de determinación  $r^2$ , aunque también puede ocurrir que ambas dependan de una causa común que podría presentarse como un factor subyacente. En este caso puede invocarse el principio que propone Reichenbach (1991) mediante el cual si se determina una alta correlación sin situación causal posiblemente haya una causa común como entidad metafísica (San Pedro y Suárez, 2014).

En esta línea pueden considerarse los estudios urbanos a través de la Ecología Factorial Urbana iniciada por Rees (1970) y que comprueba espacialmente la estructura de los modelos clásicos de anillos (E. Burgess), sectores (H. Hoyt) y núcleos múltiples (Ch. Harris y E. Ullman) (Davies, 1984) en los que la aplicación del análisis factorial a la estructura socioespacial da la posibilidad de obtener factores subyacentes, desconocidos, que en conjunto explican el comportamiento de las variables.

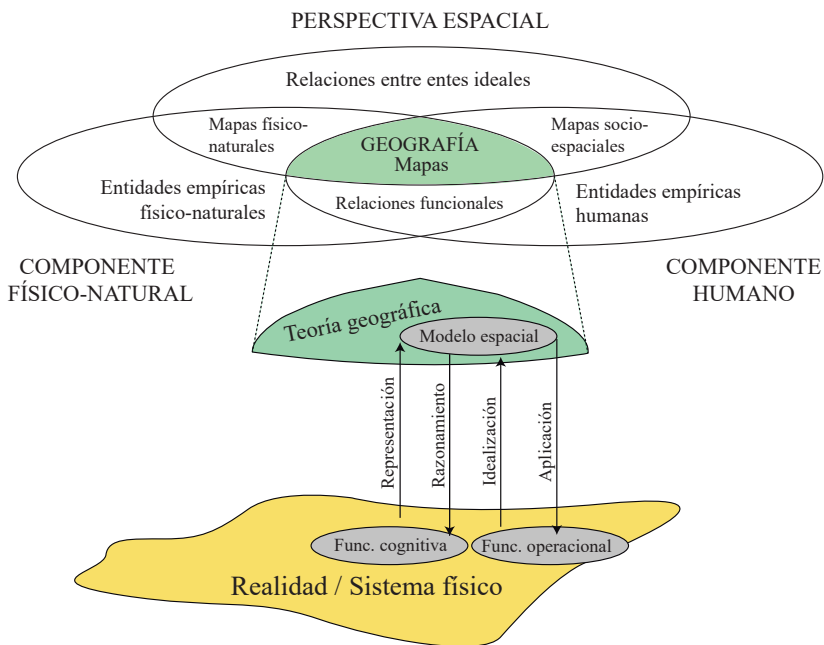
Las relaciones se pueden expresar de una manera algebraica general que queda representada por  $z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + a_{j3}F_3 + \dots + a_{jq}F_q$ , donde  $a_{j1}F_1$  es la carga factorial de la variable  $j$  en el Factor 1 y se obtienen tantos factores como variables ( $V$ ), aunque eligiendo los factores ( $F$ ) con mayor poder explicativo se llega a una cantidad de  $F < V$ . El factor subyacente será nombrado en base a los resultados de combinación del conjunto de variables significativas en las saturaciones factoriales.

En ninguno de los casos es posible inferir relaciones causales si no se considera la interpretación teórica de la temática a través de la generación de hipótesis iniciales que permiten explicar el comportamiento de los datos.

En este sentido, tampoco resulta posible que la estructura causal sea definida técnicamente de forma automatizada (San Pedro y Suárez, 2014) y si bien la aplicación del análisis exploratorio de datos espaciales (ESDA, *Exploratory Spatial Data Analysis*) permite mostrar la intensidad de relaciones desde un punto de vista numérico y visual (gráfico de dispersión) las relaciones de causalidad aparecen ante un proceso de interpretación conceptual.

Como la inferencia causal surge desde el conocimiento experto apoyado por el marco teórico disciplinar resulta ser un claro ejemplo que demuestra que el mejor uso del SIG no se realiza a partir de conocer bien el *software*, sino haciéndole buenas preguntas y correctas interpretaciones a partir de los conocimientos disciplinares específicos. En este contexto, la Geografía como ciencia espacial tiene mucho para aportar.

La figura 1 encuentra antecedentes en Berry (1964), Bunge (1972), Haggett (1976) y Giere (2004) realizando una confluencia de carácter epistemológico en el abordaje modelístico de la realidad. Inicia destacando el objeto formal de la Geografía (Perspectiva espacial), aspecto que identificó la disciplina desde sus inicios (Buzai, 2016, 2021) superpuesto al dominio de sus objetos materiales naturales y humanos. El espacio de la Geografía como ciencia se encuentra acompañado estrechamente por el de la Cartografía en la realización de mapas como modelos iniciales de la disciplina con notables capacidades de análisis (Rabella i Vives, 2016). La teoría geográfica permite la generación de modelos espaciales y estos permiten el abordaje de la realidad con sus funciones cognitivas como visión de la realidad y operacional en su postura instrumentalista para la intervención.



**Figura 1.** Modelos espaciales como nexo entre la teoría y la realidad. Fuente: Elaborado por el autor.

A continuación se presenta una aproximación conceptual centrada en el modelado cartográfico y con ello ampliamos el nivel de detalle operativo hacia el concepto de asociación espacial, el cual tiene mucha importancia en el análisis de correlaciones de variables distribuidas espacialmente.



## Modelado cartográfico

El presente punto corresponde a la aproximación aplicativa seleccionada en el marco de la modelización tomando los puntos 2 y 3 de la Tabla I. Estos procedimientos se basan en el concepto de asociación espacial, centrales en el análisis espacial realizado en SIG a partir de la consideración de capas temáticas de diferentes variables espacializadas.

## Correspondencia espacial

La superposición de mapas permite analizar asociaciones espaciales entre las categorías de diferentes temas. De esta manera, se aplica un proceso de regionalización por divisiones lógicas. Es un camino que comienza con la utilización de regiones sistemáticas formadas por una sola variable hacia la creación de regiones geográficas formales con homogeneidad interna en base a combinaciones realizadas.

Es un procedimiento que implica un importante conocimiento del tema tratado y, en base a esto, se pueden determinar cuáles serán las características clave para la definición espacial desde un punto de vista corológico (Rey Balmaceda, 1972).

A partir del cálculo de correspondencia espacial (CE) entre categorías de mapas diferentes se puede obtener un porcentaje de coincidencia. Las distribuciones espaciales pueden tratarse como diagramas de Venn (Haggett, 1976) mediante la aplicación de la teoría de conjuntos (Cole, 1972) para la construcción areal por asociaciones.

Entre las situaciones relacionales que se pueden verificar se destacan los siguientes conceptos: (1) igualdad, (2) subconjunto, (3) unión, (4) intersección, (5) disjuncto y (6) complemento. El concepto de asociación espacial se encuentra subyacente a estas instancias y de ellas, el cálculo de la intersección es central para la construcción regional.

El procedimiento de superposición temática (*overlay*) es una metodología central en el análisis espacial realizado con SIG y para ello cada mapa del área de estudio debe tener similar escala y proyección a fin de lograr una superposición perfecta. Puede realizarse de manera geométrica en formato vectorial o mediante procedimientos matemáticos simples con los números digitales de los mapas *raster*.

Cuando se agregan capas temáticas adicionales las áreas definidas van disminuyendo de tamaño y la cantidad de áreas aumentan. El investigador deberá definir en qué momento se estará produciendo el nivel de detalle que corresponde a su objetivo ubicado entre el conjunto universal y el sitio, ya que los estudios geográficos generalmente se ubican en una escala intermedia.



## Evaluación multicriterio

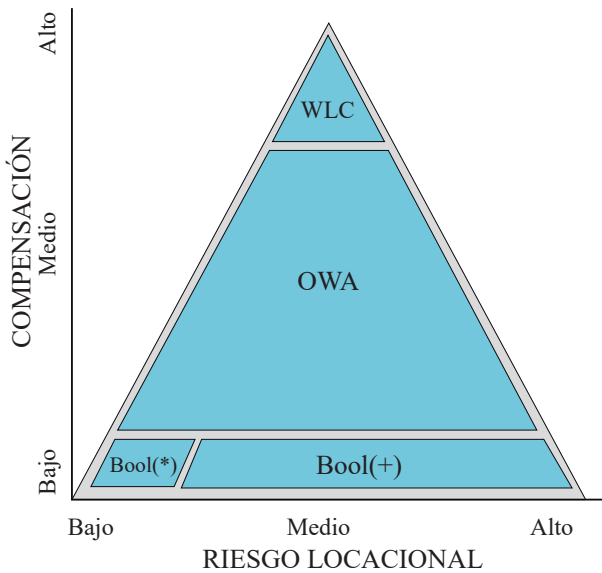
Cuando los procedimientos de superposición temática tienen como objetivo obtener sitios candidatos para lograr localizaciones óptimas (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2006), los SIG permiten encontrar soluciones en el interior de un triángulo de decisiones estratégicas (Eastman, 2000) formado por los ejes ortogonales  $x$  como nivel de riesgo en la decisión locacional e  $y$  como nivel de compensación ante el uso de valores de ponderación (importancia) de los factores considerados para la obtención del resultado final.

Diferentes procedimientos permiten ubicar la decisión locacional en sectores específicos de este triángulo (Buzai y Baxendale, 2012). Las aplicaciones booleanas se realizan sobre el eje  $x$  en un incremento del nivel de riesgo (desde un riesgo mínimo hacia un riesgo máximo en la decisión locacional) y las aplicaciones de aptitud continua (clasificación *fuzzy*) requiere la incorporación del eje  $y$  donde el mayor nivel está ubicado en un riesgo medio. La técnica que se ubica en el riesgo mínimo es la booleana simple, la que recorre el eje del riesgo es la booleana escalonado y la que se ubica en la cima del triángulo se denomina combinación lineal ponderada (WCL, *Weighted Linear Combination*). Entre estas configuraciones pueden encontrarse diferentes ubicaciones a partir de la aplicación de un promedio ponderado ordenado (OWA, *Ordered Weighted Average*). Esta posibilidad metodológica produce resultados similares WLC=OWA cuando la nueva ponderación es  $1/n$  y puede acercarse al riesgo mínimo o máximo cuando el orden comienza máximo en el factor de menor o mayor importancia respectivamente. De esta manera, el avance metodológico hacia la toma de decisiones de localización espacial se basará en la posibilidad conceptual de ubicación dentro de este espacio de relaciones (Figura 2).

La utilización de capas en forma de criterios como apoyo a la resolución de problemas de localización espacial impone, por un lado, la posibilidad de que la decisión pueda basarse en la consideración de uno o varios criterios, y por el otro la capacidad de solucionar uno o varios objetivos simultáneamente. Las combinaciones estarían dadas por la posibilidad de trabajo en cuatro líneas: (1) Unicriterio-Uniobjetivo, (2) Unicriterio-Multiobjetivo, (3) Multicriterio-Uniobjetivo – Evaluación Multicriterio, y (4) Multicriterio-Multiobjetivo – Evaluación Multiobjetivo.

Mientras que las resoluciones unicriterio se encuentran descartadas debido a su excesiva simplicidad, el entorno SIG se basa en la resolución de problemáticas a través de múltiples criterios.

Estas definiciones permitirían avanzar en la operatividad cuantitativa de las técnicas de evaluación multicriterio las cuales se realizan a partir de diferentes procedimientos con capacidades de alcances específicos:



**Figura 2.** Triángulo de decisiones estratégicas. Fuente: Elaborado por el autor.

Booleano simple: Utiliza factores de criterios reclasificados con 1 (aptitud) y 0 (resto). La multiplicación (como superposición de mapas) de todos estos factores permitirá obtener con valor 1 de resultado a aquellas localizaciones que presentan aptitud en todos los factores. Basta con tener un 0 en cualquiera de los factores para que el resultado se presente sin aptitud locacional. Corresponde a la operación geométrica de la intersección o lógica del Y (AND) y se ubica en el eje  $x$  con riesgo mínimo,  $Bool1 = F1 \times F2 \times F3 \times \dots \times Fn = \prod F_i$

Booleano escalonado: Utiliza factores de criterios reclasificados con 1 (aptitud) y 0 (resto). La suma (como superposición de mapas) de todos estos factores permitirá obtener un mapa final de valores con riesgo escalonado de  $N$  (mayor aptitud, coincide con la cantidad de factores) a 0 (sin aptitud). La prioridad de localización estará dada en  $N$ , luego en  $N-1$ , luego en  $N-2$  y así sucesivamente. Corresponde a la operación geométrica de la unión o a la lógica del O (OR) ampliando el riesgo a partir de poder seleccionar áreas mayores,  $Bool2 = F1 + F2 + F3 + \dots + Fn = \sum F_i$

Combinación lineal ponderada (WLC): Utiliza factores de criterios de aptitud continua (lógica *fuzzy*) donde 255 es la mayor aptitud y 0 la menor aptitud. Ésta puede crecer o decrecer de acuerdo a determinadas funciones (lineal, exponencial, logística, etc.). Estos factores encuentran un alto nivel de compensación al considerar que tienen diferentes importancias en la resolución y los resultados se presentan con continuidad en un nivel de riesgo medio. Se debe elegir un valor límite a partir del cual se realizará la propuesta de sitios con aptitud locacional,  $CLP = F1 \times p1 + F2 \times p2 + F3 \times p3 + \dots + Fn \times pn = \sum F_i \times p_i$

## Evaluación multicriterio prospectiva

Las técnicas de evaluación multicriterio, analizadas anteriormente, brindan un marco metodológico de importancia al momento de avanzar en la detección de zonas de potencial conflicto entre usos del suelo. Basados en esos procedimientos, Carr y Zwick (2006, 2007) proponen un método de resolución estandarizado de notable capacidad para la identificación empírica de estas zonas y lo denominan LUCIS (*Land Use Conflict Identification Strategy*).

El método LUCIS se realiza a través de la aplicación de seis pasos que llevan a la obtención de los resultados finales y éstos se convierten en una herramienta de planificación de gran importancia. Explicaciones metodológicas y aplicaciones del método LUCIS en espacios regionales pueden verse en los trabajos de Buzai (2011), Buzai y Baxendale (2010, 2011), Buzai y Principi (2017) y Principi (2019).

Los procedimientos realizados para la detección de zonas de potencial conflicto entre usos del suelo son:

**Definición de objetivos:** se considera que cada localización puede tener tres posibilidades de ocupación en cuanto a usos del suelo, los cuales pueden estar dedicados a actividades urbanas, agrícolas o de conservación. Cada una de estas actividades tiene como meta la maximización ocupación superficial, por ejemplo, el uso urbano en cuanto a la expansión residencial, el uso agrícola para la expansión del área de cultivos o el uso de conservación para la protección de la biodiversidad.

**Creación de la base de datos espacial:** se realiza generando una serie de capas temáticas (*layers*) por digitalización que contienen información relevante y básica para el logro de cada uno de los tres objetivos señalados. Además de los temas a ser considerados en el análisis, en este punto se deben definir los aspectos técnicos de la creación de bases de datos alfanuméricas y gráficas en el marco de la tecnología SIG, como ser la extensión del área de estudio, sistema de proyección y unidad mínima de resolución espacial de cada localización.

**Análisis de aptitud:** se realiza el análisis de cada capa temática del área de estudio determinando la aptitud relativa de las categorías de cada criterio para cada objetivo. Corresponde a la creación de factores para la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio. El método *LUCIS* en su versión original considera una estandarización de aptitud continua (*ac*) en números enteros (ya que no se aplica una estandarización continua, *fuzzy*) cumpliendo el siguiente rango  $1 \leq ac \leq 9$

**Determinación de preferencias:** se establece la importancia de cada factor en la resolución del objetivo específico a través del cálculo de pesos ( $w$ ) (Malczewski, 1990) cumpliendo el requisito de que la suma de las ponderaciones es igual a 1 y cada valor individual se encuentra entre 0 y 1 y  $\sum w_i = 1$  y  $0 < p_i < 1$

Aplicación de la regla de decisión y reclasificación de resultados: se aplica el procedimiento de combinación lineal ponderada obteniéndose un valor índice sintético para cada localización en base a la definición de factores y los valores de ponderación para cada uno de los factores se realiza  $I_i = \sum x_i w_j$  o con restricciones  $I_i = \sum x_i w_j \prod r_j$

El resultado corresponde a tres mapas de aptitud general para usos del suelo urbano (objetivo 1), agrícola (objetivo 2) o de conservación (objetivo 3). Una reclasificación lleva cada valor de aptitud continua a tres categorías considerando  $1 \leq ac \leq 3$

Identificación de áreas de potenciales conflictos: la combinación de usos conflictivos y no-conflictivos se encuentra en la combinatoria de las tres categorías para cada objetivo a partir de un gráfico de dispersión tridimensional de 27 combinaciones (alto-A, medio-M, bajo-B) por tres mapas de aptitud. Considerando el Objetivo 1, Objetivo 2 y Objetivo 3, los espacios que generan conflicto en la asignación de usos del suelo son las siguientes 12 combinaciones: BBB, BMM, BAA, MAA, MMB, MBM, MMM, ABA, AMA, AAB, AAM y AAA. Los conflictos mayores son BBB, MMM y AAA siendo que 15 combinaciones no generan conflictos por ser clara la asignación de uso.

### Consideraciones finales

La Geografía actual, en su posición de ciencia espacial, está ingresando en el mundo de los grandes volúmenes de datos (*big data*) con lo cual se abren nuevas perspectivas a los trabajos empíricos mediante la aplicación de *software* con importantes capacidades de cálculo. Ingresamos a un nuevo estadio de la modelización.

El centro de la comprensión del mundo está dado por los modelos que se ubican entre la teoría y la realidad empírica, y que cada vez cuentan con mayor capacidad para el procesamiento de datos provenientes de múltiple de las variables (Wagensberg, 1994). Pero estos modelos no son estáticos y cristalizados, sino que irán teniendo ajustes de acuerdo a los cambios perceptibles atendiendo a las particularidades locales para la obtención de globalidades.

La modelización, en el núcleo de la Geografía, integra conocimientos a través de la praxis y, la representación cartográfica adquiere una posición central. La cuantificación apoyada por el materialismo sistémico, en este caso sustentado por el realismo y los sistemas espaciales, permite llegar a determinar inferencias causales que generen explicaciones a través de sus relaciones inferenciales.

En los textos presentados fue marcado el recorrido conceptual de la situación actual de la modelización en Geografía y las técnicas del modelado cartográfico se presentan como componentes del núcleo disciplinar ante el avance de los SIG

hacia el fortalecimiento del objeto formal que concentra la totalidad de desarrollos espaciales para el análisis geográfico de la realidad en las dos concepciones de modelos, para analizar la actualidad y para anticiparse al futuro.

## **Bibliografía**

Ackerman, E. (1958). *Geography as a fundamental research discipline*. Chicago: The Chicago University Press.

Ballesteros, F.J. (2019) *Midiendo el cielo y la Tierra*. Barcelona: Emse Edapp.

Baxendale, C.A. y Buzai, G.D. (2011). Dinámica de crecimiento urbano y pérdida de suelos productivos en el Gran Buenos Aires (Argentina), 1869-2011. Análisis espacial basado en Sistemas de Información Geográfica. *Serie Geográfica*, 17, pp. 77-95.

Bergeijk, P.A.G.van y Brakman, S. (2010). *The gravity model in international trade: Advances and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.

Berry, B.J.L. (1964). Approaches to Regional Analysis: A Synthesis. *Annals of the Association of American Geographers*, 54, pp. 2-11.

Bertalanffy, L. von (1968). *General Systems Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.

Bunge, M. (1972). *Teoría y realidad*. México: Ariel.

Bunge, M. (1978). *Causalidad*. Buenos Aires: Eudeba.

Burton, I. (1963). The Quantitative Geography and Theoretical Geography. *The Canadian Geographer*, VII, 4, pp. 151-162.

Buzai, G.D. (1999). *Geografía Global*. Buenos Aires: Lugar Editorial.

Buzai, G.D. (2011). La construcción de mapas mentales mediante apoyo geoinformático. Desde las imágenes perceptivas hacia la modelización digital. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 44, pp. 1-17.

Buzai, G.D. (2014). *Mapas Sociales Urbanos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.

Buzai, G.D. (2016). La Geografía como ciencia espacial. Bases conceptuales en la investigación astronómica vigentes en la Geografía Cuantitativa. *Revista Universitaria de Geografía*, 25, 1, pp. 11-30.

Buzai, G.D. (2021). The world map by Anaximander (Miletus, 5<sup>th</sup> Century BC): Modeling geographical space at the beginning of science. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 272, 3, pp. 5-18.

Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2010). Método LUCIS – Land Use Conflict Identification Strategy, *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 2, 2, pp. 1-4.

Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2011). Aportes del análisis geográfico con Sistemas de Información Geográfica como herramienta teórica, metodológica y tecnológica para la práctica del ordenamiento territorial. *Persona y Sociedad*. 27, 2, pp. 113-141.

Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2012). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*, Tomo 2. Buenos Aires: Lugar Editorial.

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.; García de León, A. (2018). *Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial: Tendencias, métodos y aplicaciones* (pp. 52-78). Santiago de Chile: Universidad Alberto Hurtado.

Buzai, G.D. y Montes Galbán, E. (2021). *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires: Instituto de Investigaciones Geográficas.

Buzai, G.D. y Principi, N. (2017). Identificación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del río Luján, Argentina, *Revista Geográfica de América Central*, 59, pp. 91-124.

Buzai, G.D. y Ruiz i Almar, E. (2022). Matriz geográfica, Brian J.L. Berry, 1964. En: Buzai, G.D. y Montes Galbán, E. (Comp.) *Pensando los Sistemas de Información Geográfica desde Iberoamérica* (pp. 379-382). Buenos Aires: Instituto de Investigaciones Geográficas.

Buzai, G.D. y Santana Juárez, M.V. (Eds.) (2019). *Métodos cuantitativos en Geografía Humana*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Luján.

Carr, M. y Zick, P. (2006). Using GIS suitability analysis to identify potential future land use conflicts in north central Florida, *Journal of Conservation Planning*, 1, 1, pp. 89-105.

Carr, M. y Zick, P. (2007). *Smart Land-Use Analysis*. Redlands: Esri Press.

- Chun, Y. y Griffin, D. (2013). *Spatial Statistics and Geostatistics: Theory and Application for Geographic Information Science and Technology*. London: Sage.
- Cole, J.P. (1972) *Quantificacao em Geografia*. Rio de Janeiro: Fundacao IBGE.
- Davies, W.K.D. (1984). *Factorial Ecology*. London: Gower.
- Díaz, E. y Heler, M. (1986). *El conocimiento científico*. Buenos Aires: Eudeba.
- Eastman, J.R. (2000). Decision strategies in GIS, *Directions Magazine*, dec.13.
- Fotheringham, A.S.; Brunsdon, C. y Charlton, M. (2000). *Quantitative Geography*. London: Sage.
- Fotheringham, A.S.; Brunsdon, C. y Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression*.  
Chichester: John Wiley & Sons.
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos*. Barcelona: Gedisa.
- Giere, R. (2004). How Models are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71, pp. 742-752.
- Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J.I. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. México: Alfaomega-Rama.
- Gramacki, A. (2017). *Nonparametric Kernel Density Estimation and Its Computational Aspects*. Cham: Springer Nature.
- Haggett, P. (1976). *El análisis locacional en la Geografía Humana*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Haggett, P. (1983). *Geografía. Una síntesis moderna*. Barcelona: Omega.
- Haining, R. (2003). *Spatial Data Analysis: Theory and Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Holt Jensen, A. (2018). *Geography. History and Concepts*. London: SAGE.
- Johnston, R.J. (1987). *Geography and Geographers. Anglo-American Human Geography since 1945*. London: Edward Arnold.



Klimovsky, G. (1995). *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la Epistemología*. Buenos Aires: AZ Editora.

Kuhn, T.S. (1993 [1962]). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

Lloyd, C. (2019). *Local Models for Spatial Analysis*. Boca Raton: CRC Press.

Lucero, S. (2020). El papel de la intencionalidad epistémica en las representaciones científicas. Compromisos realistas y antirealistas. En: Borge, B. y Gentile, N. (Comp.) *La ciencia y el mundo inobservable* (pp. 425-449). Buenos Aires: Eudeba.

Malczewski, J. (1990). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: John Wiley.

Mitchel, A. (2010). *Modeling Suitability, Movement, and Interaction*. Redlands: Esri Press.

Petry, F.E.; Robinson, V.B. y Cobb, M.A. (Eds.) (2005) *Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems*. Berlin: Springer-Verlag.

Phlipponneau, M. (2001) *Geografía Aplicada*. Barcelona: Ariel.

Principi, N. (2019). *Análisis espacial de conflictos entre usos del suelo en la cuenca del río Luján*. Luján: Edunlu.

Rabella i Vives, J. (2016). Mapa y SIG: Medio Siglo para un reencuentro...o el mito a un gran triunfo, *Boletín GESIG*, 4, pp. 6-8.

Rees, J. (1970). The Factorial Ecology of Metropolitan Chicago. En: Berry, B.J.L. y Horton, F. (Eds.) *Geographic Perspective of Urban Systems* (pp. 265-330). New Jersey: Prentice Hall.

Reichenbach, H. (1991) [1956]. *The Direction of Time*. Berkeley: University of California Press.

Rey Balmaceda, R.C. (1972). *Geografía Regional: Teoría y aplicación*. Buenos Aires: Estrada.

Rogerson, P. y Yamada, I. (2020). *Statistical Detection and Surveillance of Geographic Clusters*. Boca Raton: CRC Press.



Ruiz i Almar, E. (2019). Releyendo a los clásicos. Acerca de “Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica”, Fred K. Schaefer, Waldo R. Tobler y Brian J.L. Berry. *Boletín Red GESIG*, 11, pp. 10-15.

San Pedro, I. y Suárez, M. (2014). Indeterminism and causal evidence. *Teorema*, 33, 1, pp. 95-109.

Sánchez, D.C. (2017). *Contribución del Análisis Espacial a la ciencia y la Geografía: Referencia histórico-bibliográfica*. Saarbrücken: Editorial Académica Española.

Wagensberg, J. (1994). *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona: Tusquets.

Fecha de recepción: 2 de agosto de 2022

Fecha de aceptación: 7 de abril de 2023

© 2023 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite [http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es\\_AR](http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR)

