

GEOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EVOLUCIÓN TEÓRICO-METODOLÓGICA HACIA CAMPOS EMERGENTES¹

GEOGRAPHY AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL DEVELOPMENTS INTO EMERGING FIELDS

*Gustavo D. Buzai*²

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica han generado, al mismo tiempo, una revolución tecnológica y una revolución intelectual. La primera pone su atención en los métodos y técnicas de Análisis Espacial y la segunda en las formas de estudiar y comprender la realidad centrándose en una focalización espacial. El presente trabajo analiza de que manera ambas revoluciones ubican a la dimensión espacial en el centro de atención de múltiples ciencias. Se analizan los conceptos centrales de Análisis Espacial y la amplitud Geoinformática para dar paso al surgimiento de otras geografías (Geografía Automatizada y Cibergeografía), campos interdisciplinarios (Geoinformática y Geografía Global) y campos transdisciplinarios (Ciencias de la Información Geográfica y Ciencias Sociales Integradas Espacialmente) como perspectivas de estudio generadoras de nuevos conocimientos.

-
- 1 Este documento se presentó como la Conferencia Magistral de apertura del Eje Ciencias de la Información Geográfica, durante el Encuentro de Geógrafos/as de América Latina (EGAL, 2011), evento realizado del 25 al 29 de julio de 2011, Costa Rica.
 - 2 Universidad Nacional de Luján, Argentina. Programa de Estudios Geográficos. Argentina. Correo electrónico: buzai@uolsinectis.com.ar

Fecha de recepción: 01 de agosto de 2011
Fecha de aceptación: 30 de setiembre de 2011

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Análisis Espacial, Geoinformática, Geografía Automatizada, Geografía Global

ABSTRACT

Geographic Information Systems have generated, at the same time, a technological and an intellectual revolution. The first draws attention to the methods and techniques of spatial analysis and the second in the ways of studying and understanding reality by focusing on spatial topics. This paper discusses how both revolutions locate the spatial dimension in the center of attention of many sciences. It discusses the concepts of spatial analysis and Geoinformatic ranges to make way for the emergence of other geographies (Automated Geography and Cybergeography), interdisciplinary fields (Geoinformatics and Global Geography) and transdisciplinary fields (Geographic Information Science and Spatially Integrated Social Science) as prospects for generating new knowledge.

Keywords: Geographic Information Systems, Spatial Analysis, Geoinformatics, Automated Geography, Global Geography

Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) produjeron una *revolución tecnológica*, pero principalmente producen, en la actualidad, una notable *revolución intelectual*.

Esta revolución intelectual se centra en el *espacio geográfico*, ya que toda aplicación realizada mediante el uso de los SIG se basa en cinco conceptos fundamentales de neta naturaleza espacial, localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial.

Estos conceptos brindan un hilo conductor para el desarrollo y la aparición de nuevos campos de conocimiento que se perfilan en lo que podría denominarse una *nueva geografía aplicada*. Asimismo, se puede hablar de campos emergentes, como se expresa a continuación:

Desde un punto de vista disciplinario, la *Geografía automatizada* aparece como la revalorización de la geografía cuantitativa en el ambiente computacional, en el que la realidad se transforma en un modelo digital de tratamiento y de análisis. Junto a esta también aparece la *cibergeografía* en relación con los estudios espaciales del ciberespacio, es decir, estos nuevos espacios que se encuentran en las pantallas de las computadoras.

Desde un punto de vista interdisciplinario, la *geoinformática* surge como la combinación de *software*, para el tratamiento de la información gráfica y alfanumérica, con el núcleo provisto por la tecnología SIG, además, aparece la *geografía global* formada por los conceptos y los métodos geográficos de análisis espacial que se estandarizaron, de forma digital,

para difundirse mediante las computadoras, en las más diversas prácticas disciplinarias.

Desde un punto de vista transdisciplinario surgen dos nuevas ciencias: las ciencias de la información geográfica, un campo basado en la geotecnología, con posicionamientos teóricos centrados en la Geografía, y recientemente con iniciativas que avanzan hacia la delimitación conceptual y técnica de las ciencias y tecnologías de la información geográfica, como disciplina científica específica. Las ciencias sociales integradas espacialmente formada por diversas ciencias sociales que comienzan a reconocer la dimensión espacial como fundamental para el análisis de la realidad compleja.

En todas ellas, la Geografía se posiciona como ciencia central, y, en este sentido los SIG no pueden considerarse solamente como instrumentos técnicos, sino también como herramientas teóricas que permiten pensar y actuar espacialmente.

Frente a este panorama de creciente fragmentación, se pueden destacar algunos aspectos específicos de la evolución científica, en la que la *investigación científica*, como tarea para la producción de *conocimiento científico*, avanza hacia la necesidad de aplicación de estos conocimientos a favor de la sociedad, esto implica la creación de *tecnología* en el nivel de ciencia aplicada.

Como es propio de una ciencia en evolución, la Geografía desarrolla nuevos campos de conocimiento, al ampliar sus especialidades y dirigirse hacia relaciones interdisciplinarias para el estudio de temas específicos, en los que apartarse del núcleo temático de cada disciplina presenta mayor riqueza y posibilidades. De todas formas, se considera que solamente a través de disciplinas sólidas, con un buen nivel de especialización puede surgir un efectivo trabajo interdisciplinario.

Finalmente, el camino transdisciplinario aparece como el estadio de mayor complejidad, ya que en este caso cada disciplina particular debe diluir contenidos en un cuerpo de conocimientos nuevo que se forme por conceptos integrados en una teoría general aplicable al conjunto de campos de conocimiento que le dan origen.

En este contexto será analizada la relación entre Geografía y Sistemas de Información Geográfica.

Definiciones operativas en el contexto SIG

Al analizar el pensamiento geográfico, generalmente, se rescata el concepto de paradigma, propuesto por el historiador de la ciencia Thomas Kuhn. Este surge de un modelo que tiene alta correspondencia con el desarrollo de las ciencias duras, y permite verificar, aunque con algunos desfases, las características que ha tenido la Geografía como ciencia particular.

La definición más usual de paradigma establece que son "...realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica" (Kuhn, 1970,p.), esta consideración, sin duda, muestra que la objetividad científica prácticamente no es posible, ya que un paradigma no solamente es una estructura que nos permite mirar el mundo de una determinada forma, sino que principalmente, se encontrará inserta en la legitimidad que puede darle su institucionalización.

La Geografía ha desarrollado, a lo largo de su historia, diferentes maneras de ver la realidad, las cuales han sido consideradas principalmente como diferentes *paradigmas de la Geografía* surgidos de cambios revolucionarios. A continuación, prestaré atención a las definiciones producidas a partir de las perspectivas ecológica, corológica y sistémica, las cuales interactúan muy estrechamente con el nivel focal de los Sistemas de Información Geográfica, y proporcionan las bases de su relación con la eografía aplicada.

Se puede mencionar la existencia de un largo período pre-paradigmático, en el cual no solamente se llevaron a cabo programas de investigaciones individuales y separadas, sino que constituyeron el prolegómeno de una gran crisis científica experimentada por la Geografía a finales del siglo XIX, generada por una gran especialización del conocimiento. La acumulación progresiva de conocimientos brindó objetos de estudios específicos para la aparición de una gran cantidad de nuevas disciplinas denominadas *Ciencias de la Tierra*, que adquirirían individualidad al separarse de la Geografía como ciencia madre.

La Geodesia se ocupa de las dimensiones terrestres, la Geofísica del campo magnético, la Climatología y la Meteorología se convierten en ciencias de la atmósfera, la Oceanografía e Hidrología estudian los cuerpos de agua, la Geología se ocupa del subsuelo a través de la Mineralogía, Estratigrafía, Tectónica, Sismología y Geomorfología, y la Biogeografía

se desarrolla como rama de la Biología y aborda el estudio de la evolución de la distribución espacial de animales y plantas sobre el planeta; al quedar en evidencia que una única ciencia no podía abarcar todo ese conocimiento, la pregunta es cual debería ser el objeto de estudio de la Geografía para definirse como ciencia específica, y no desaparecer fragmentándose entre diversas disciplinas que abarcaban cada uno de sus contenidos temáticos iniciales.

A finales del siglo XIX, el libro *Anthropogeografía* de Friedrich Ratzel brindaría una respuesta al incluir al/a la hombre/mujer y sus actividades. Por lo tanto, la Geografía, sin dejar de lado su condición naturalista, incluyó definitivamente al/a la hombre/mujer y se convertiría en la única disciplina que estudiaría una relación.

Como primera definición, la Geografía se explicó desde un punto de vista *ecológico*, como la ciencia que estudia la relación entre el hombre/mujer y su entorno, entre la sociedad y el medio. La Geografía encontró, de esa manera, un lugar en el contexto de las ciencias, pero lo hizo como *ciencia humana*.

A pesar de que esta definición puede fecharse a finales del siglo XIX, actualmente desde los Sistemas de Información Geográfica, se puede decir que los estudios realizados consideran principalmente las manifestaciones espaciales surgidas de la relación entre la sociedad y su medio.

La Geografía como ciencia humana es la que permitió el mantenimiento de una cierta unidad en los estudios geográficos por poco más de cien años. Los/las geógrafos/as actuales estamos de acuerdo en que nuestros programas de investigación se apoyarán en el estudio de las relaciones entre la sociedad y el medio, es decir, que, si no hay un componente humano no puede haber investigación en Geografía.

Al apoyarse en la obra de Bernard Varenus, realizada en el siglo XVII (Varenus, 1974), y desarrollar su estudio *especial* que había quedado inconcluso, se puede considerar que los estudios de Paul Vidal de la Blache, a inicios del siglo XX (Ratzel, 1882 y 1891), marcan el inicio de la llamada geografía regional, perspectiva de análisis que se convertiría en central durante las primeras décadas del siglo.

El objeto de estudio de la geografía regional es la *región*. El método de análisis se basa en la descripción, porque considera a la región como una realidad objetiva, única e irrepetible. La región es previa al/a la

investigador/a, este/a debía reconocerla, y una vez definida se convierte en marco espacial en el cual se deben estudiar las manifestaciones paisajísticas de las combinaciones físicas y humanas, que se producían en su interior de manera particular y específica.

Mientras las perspectivas geográficas de Friedrich Ratzel y de Paul Vidal de la Blache se basaron filosóficamente en el positivismo de Auguste Comte, aparecería en la misma línea una propuesta de impacto racionalista con el trabajo de Hartsohrne (1939 y 1959) (postura neokantiana tomada de los trabajos previos de Alfred Hettner) justificada en la clasificación de las ciencias realizada por Windelband (1970).

Tanto en la postura regional como en la actualización racionalista se consideraba que la Geografía estudiaba –al igual que la Historia– los aspectos únicos e irrepetibles, por lo cual es una ciencia de carácter *idionográfico*. La diferencia fundamental está dada por la característica constructivista que se separa del empirismo. Entonces, para esta nueva postura, la región ya no se considerada una realidad objetiva, sino que pasó a ser una construcción racional realizada por el/la investigador/ra.

El método de superposición de mapas, que lleva a la realización de una clasificación espacial *desde arriba* (de lo general a lo particular), se transforma en un procedimiento central que permite poner límites en el espacio geográfico y definir áreas homogéneas. Aunque estas áreas también eran consideradas únicas e irrepetibles, la posibilidad de construcción fue la base para los siguientes desarrollos.

Como una segunda definición, la Geografía quedó definida desde un punto de vista *corológico* como la ciencia que estudia la diferenciación de espacios sobre la superficie terrestre.

A pesar de que la definición apareció a finales de la década de 1930, actualmente desde los Sistemas de Información Geográfica, se puede decir que la totalidad de estudios realizados consideran, sin dudas, el estudio de la diferenciación espacial.

El contexto histórico de mediados de siglo, en el cual la segunda guerra mundial cumplió un papel preponderante para el desarrollo científico-tecnológico ligado a las actividades militares, luego la necesidad de reconstrucción y posteriormente la carrera espacial, favorecieron un gran impulso a las ciencias físico-matemáticas, y, con ello, un importante impacto cuantitativo a las ciencias sociales en general y a la Geografía en particular.

El cambio de visión estaría volcado hacia la búsqueda de un análisis geográfico científico, un nuevo paradigma que desestima la visión *idionográfica* y se vuelca hacia la generalización como método de análisis de una ciencia *nomotética* (Schaefer, 1953). En el período de ciencia normal, dominado por lo que sería considerado un *paradigma cuantitativo*, predominan los estudios en los que se modela la realidad en la búsqueda de leyes científicas.

El abordaje geográfico es principalmente espacial, y la región se construye, pero el cambio metodológico establece que esta construcción se produce a partir de la utilización de métodos cuantitativos.

Finalmente, una tercera definición, la Geografía se define desde un punto de vista *sistémico*, como la ciencia que estudia las leyes que rigen las pautas de distribución espacial.

Desde un punto de vista sistémico, gran cantidad de estudios realizados con Sistemas de Información Geográfica pueden utilizarse para corroborar modelos espaciales y tomar referencia de diferentes leyes del comportamiento espacial.

Las posturas enumeradas se desarrollaron durante las primeras siete décadas del siglo veinte. Posteriormente, transcurrieron un gran número de sucesos históricos que llevaron a un contexto propicio para la radicalización de las ciencias, a finales de la década de 1960 y principios de la década de 1970 (Peet, 1977), los cuales generaron las perspectivas radicales (radicalmente opuestas al cuantitativismo) en dos vertientes: la geografía crítica y la geografía humanista.

El paradigma crítico se presenta en favor de una Geografía comprometida para la transformación de la realidad social y, a través de poner en evidencia la crisis de la continua diferenciación producida por el sistema capitalista, intenta ayudar a cambiar el orden establecido. En este sentido, se critica la cuantificación como una línea de abordaje que se orienta a apoyar el status quo.

Los estudios basados en el paradigma crítico apuntan al estudio de la relación que existe entre la Geografía y la dominación de clases sociales, a partir de las pautas superestructurales en la sociedad capitalista, por este motivo, las formas particulares de esta relación comienzan a ser estudiarse basándose en otras disciplinas, principalmente la Economía, la Sociología y las ciencias políticas.

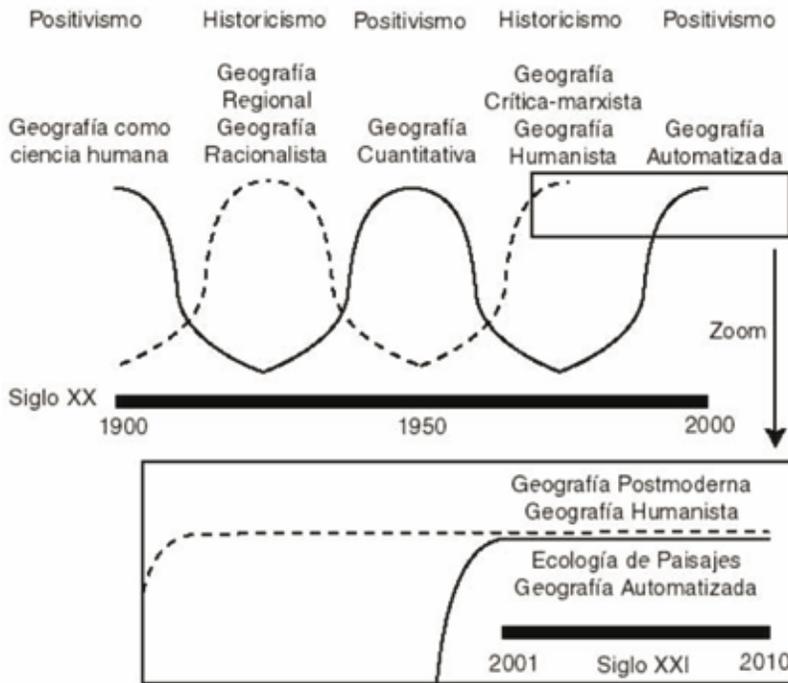
Lo que surge como espacial, en este enfoque, es la consideración de que el espacio geográfico es un reflejo de las características económicas y políticas más amplias, y que si se quiere modificar la injusticia socio-espacial, habría que actuar en estos niveles, porque el espacio geográfico quedaría como una dimensión contextual. Una importante cantidad de autores/as consideran esta situación, y muchos/as, desde las posturas críticas, intentan recobrar la dimensión espacial que quedó disminuida (Baxendale, 2000).

Por otra parte, la postura humanista también es radicalmente opuesta a la geografía cuantitativa, sin embargo, a diferencia del paradigma crítico, esta valoriza aspectos del mundo exterior e interior del ser humano, tales como la percepción, los valores y las aptitudes hacia el ambiente. La Geografía intenta comprender estos mundos individuales con categorías idiográficas que no se prestan al análisis científico (Relph, 1976).

Al considerar la Teoría de los Sistemas Complejos, la totalidad de estas líneas de abordaje propias de diferentes paradigmas, que han evolucionado durante poco más de un siglo, pueden comprenderse en el marco de un universo estratificado, en el cual cada una de ellas se refiere a una escala de análisis diferente, pero con vínculos, a veces contradictorios y, en determinadas ocasiones, complementarios.

Esta evolución puede definirse temporalmente a través de ciclos: El ciclo más común en la historia del pensamiento geográfico se define a través de los períodos de ciencia normal de 20-25 años de duración, para las diferentes sucesiones paradigmáticas, aunque estos corresponden a la sucesión de posturas filosóficas amplias como las del historicismo y el positivismo. Las “olas” de surgimiento positivista se producen detrás de estos ciclos cortos, en períodos que duplican el tiempo a 50 años (ciclos de Kondratieff): Positivismo geográfico (a ligado a la biología evolucionista a finales de siglo XIX, (b ligado a la lógica-matemática a mediados del siglo XX, y (c ligado a la Informática de finales de siglo XX y principios del XXI.

Figura 1. Ciclos del pensamiento geográfico



Fuente: Elaboración del autor

La figura 1 introduce a la situación actual, en la cual corren paralelas cuatro perspectivas de la Geografía: la geografía automatizada (enfoque central en esta presentación), la geografía postmoderna, la geografía humanista y la ecología de paisajes. Queda establecido que estas no son nuevos paradigmas, sino que son revalorizaciones (Buzai, 1999).

REVALORIZACIÓN DE CINCO CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL NÚCLEO GEOGRÁFICO

Localización

El concepto considera que todas las entidades (con sus atributos asociados) tienen una ubicación específica en el espacio geográfico.

Esta ubicación puede verse de dos maneras complementarias. Si se apela al denominado *espacio absoluto* corresponde a un *sitio* específico y fijo de emplazamiento, sustentado por la topografía local, y si se apela al denominado *espacio relativo* corresponde a una *posición* específica y cambiante, respecto de otros sitios con los cuales se pueden establecer vínculos funcionales.

El *sitio* se encuentra referenciado a un sistema de coordenadas geográficas (latitud-longitud) que no cambia con el tiempo, y a partir del cual se le asignarán valores cuantitativos precisos de su ubicación. Por ejemplo, según datos oficiales de la Argentina (IGM, 2001), la ciudad de Buenos Aires se localiza exactamente en los 34°36' de latitud sur y los 58°23' de longitud oeste, y la ciudad de Mar del Plata en los 38°00' de latitud sur y los 57°33' de longitud oeste.

La *posición* queda referenciada a partir 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, considerando una evolución temporal, cambian de posición. Por ejemplo, si bien las ciudades de Buenos Aires y Mar del Plata se han encontrado siempre localizadas en las mismas coordenadas y a una distancia de 405 kilómetros, en un espacio relativo medido en una escala representada por el *tiempo* se han acelerado constantemente, como ejemplo se puede considerar el uso de automóviles antiguos, de finales de la década de 1940, en la vieja ruta 2 de un carril en cada sentido (distancia aproximada = 8 horas), hasta el uso de automóviles actuales en la actual autovía 2 (distancia aproximada = 5 horas). Esto podría interpretarse como una reducción de la distancia entre las dos ciudades en aproximadamente un 40%.

Estas situaciones son las que normalmente llevan a considerar un *achicamiento del mundo*. En este sentido, al considerar la evolución del transporte, el planeta Tierra podría rodearse por el Ecuador (40.075 kilómetros) en diferentes tiempos (Buzai y Baxendale, 1997): hombre/mujer a pie (1 año, 1 mes y 24 días), carreta a caballos (5 meses y 13 días), barco a vapor (29 días y 7 horas), automóvil (23 días y 20 horas), tren (16 días y 17 horas), avión pequeño (3 días), avión de pasajeros/as (1 día y 16 horas), nave espacial tripulada (10 horas) y nave interestelar sin tripulación (1 hora).

Todo esto indica que, desde un punto de vista tecnológico, mientras los sitios (lugares)³ siempre se encuentran en la misma ubicación y las distancias físicas son las mismas, las posiciones en el *espacio relativo* varían y se acercan constantemente, a partir del avance tecnológico en materia de circulación (transporte, comunicaciones), es decir, que el mundo se hace más pequeño, y esto puede generar nuevas configuraciones en la distribución espacial de las entidades geográficas.

Se destaca para finalizar, que la máxima evidencia actual de este achicamiento del espacio a través del tiempo lo producen las actuales tecnologías de la información y las comunicaciones, tema que será tratado en el apartado contextual (#5).

Distribución espacial

El concepto considera que el conjunto de entidades de un mismo tipo se reparten de una determinada manera sobre el espacio geográfico. Estas pueden ser puntos, líneas o polígonos (áreas) con diferentes atributos asociados con el sistema *vectorial*, o con localizaciones dispersas que representan puntos y zonas con clases similares contiguas en sistema *raster*. Las manchas de entidades geográficas puntuales pueden transformarse en áreas de diferente forma y extensión. Las transformaciones en el formato espacial de las entidades (de raster a vectorial y de vectorial a raster) en sistema SIG se realizan con motivo de buscar la mayor aptitud en el posterior análisis espacial.

Las distintas características, medidas en entidades de naturaleza espacial, difícilmente se distribuyen 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 medirse a través de un análisis de vecindad. Considerada como *intensidad*, cualquier variable puede distribuirse en un área

3 Un "sitio" se considera "lugar" cuando se nombra, es decir, cuando una localización abstracta (identificada por sus coordenadas geográficas) se convierte en una localización identificable por su nombre y a la cual también se le pueden asignar valores producidos por las experiencias personales. El concepto tiene gran amplitud. La posibilidad de utilizarlo en un análisis espacial enmarcado geográficamente aparece en Haggett (1988). Para la perspectiva humanista el concepto es central como *experiencia humana* y en escalas muy diversas: desde un rincón en el hogar hasta el planeta Tierra, en el que nuevamente se verifica con claridad que el objeto de análisis no está representado por el espacio geográfico, sino por el pensamiento del individuo (Tuan, 1977).

de estudio en base a los procedimientos típicos de la cartografía temática, mediante la selección de intervalos de clase y la *densidad*, la distribución espacial podría considerarse (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 a las formas de las entidades areales, tema que ha sido considerado central en el trabajo clásico de Bunge (1962), en cuyo capítulo 3, titulado *A Measure of Shape* (pp. 73-88), brinda algunos fundamentos iniciales para su cuantificación. Además, se debe destacar, que considera a la forma como una muy importante propiedad, que vincula fuertemente las manifestaciones empíricas con gran parte de la teoría geográfica.

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 a los diferentes centros existentes. Según Haggett (1977), esta eficacia estaría dada por la minimización de los movimientos desde el centro de cada área hasta sus sectores periféricos, y la minimización en el tamaño de los límites. Ambas cuestiones resultan fundamentales para una administración racional desde un punto de vista espacial.

Al conciderar búsqueda de eficacia en ambos componentes mencionados, 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. Se debe recordar 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), presentado por Haggett (1977), es sumamente ilustrativo, para verificar el grado de semejanza entre la forma analizada y el círculo (figura de mayor eficiencia = 1). En el caso de las divisiones político-administrativas de Brasil, se encuentran 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 (0,42), cuadrados (0,64) y hexágonos (0,83). Asimismo, se han propuesto numerosos índices para medir las formas de las unidades espaciales. Una aplicación concreta realizada a la división política-administrativa departamental de la Argentina corresponde al trabajo de Sánchez (1991).

En cuanto al análisis geométrico, también se han incorporado novedosos avances que intentan modelar las formas con mayor capacidad de acercamiento al mundo real. En este caso, apartándose de las formas fijas basadas en la geometría euclideana, que generalmente se evidencia ante la actividad humana planificadora (las divisiones político-administrativas mencionadas anteriormente son un claro ejemplo), y brindan mayor poder de acercamiento a las estructuras espaciales siguiendo el concepto de *área natural*.⁴

Otra posibilidad de análisis de las distribuciones espaciales puede realizarse a través de la geometría fractal, la cual, considerada una nueva geometría de la naturaleza, tiene como objetivo cuantificar las formas de los objetos reales teniendo en cuenta sus irregularidades y su fragmentación. A diferencia de la geometría tradicional (Euclidiana), en la cual los cálculos presentan dimensiones enteras ($1D$, $2D$ y $3D$), la aproximación fractal, por su parte, mide la dimensión física efectiva denominada *dimensión fractal*, la cual puede adquirir valores fraccionarios. Estas dimensiones junto a la *autosimilitud*, es decir, a la no variación de las formas ante los cambios de escala, se convierten en las propiedades fundamentales que son utilizadas en la modelización de las entidades geográficas.⁵

Hace más de una década, al analizar la evolución espacial de la aglomeración de Buenos Aires, entre 1869 y 1991, y al tener desplegada en la pantalla de la computadora la capa temática correspondiente al año 1947,

4 El concepto *área natural* surge de los estudios de Ecología Humana en las aplicaciones urbanas realizadas por la Escuela de Chicago. Se relaciona con la existencia de estructuras espaciales que se desarrollan a través de comportamientos propios y sin planificación. Son crecimientos espontáneos de estrecho vínculo entre la cultura y el espacio. El concepto fue propuesto por Zorbaugh (1974) y tenido en cuenta en Buzai (2003a), al momento de interpretar los resultados obtenidos por radios censales delimitados con un minúsculo apoyo empírico.

5 Como ejemplo de una autosimilitud perfecta puede mencionarse la estructura espacial producida por la *Teoría de los Lugares Centrales*, en la cual se produce una jerarquía urbana en niveles de áreas de influencia hexagonales perfectas. Este desarrollo se considera uno de los modelos de localización clásico (con una racionalidad en la economía clásica) y se la encuentra considerada como antecedente infaltable en todo libro de geografía económica, tanto en obras tradicionales (Buttler, 1986) como en obras producidas en las siguientes décadas (Polése, 1998 y Méndez, 2008). La relación de la geometría fractal con la teoría de los lugares centrales fue puesta como foco de atención en el trabajo de Arlinghaus (1985).

colegas físicos/as integrantes de diferentes grupos de investigación y compañeros/as de la misma institución⁶ se interesaron por esta imagen como estructura fractal. Particularmente no conocía con claridad los fractales (más allá de haber visto publicadas algunas imágenes de apariencia *psicodélica*) y mis colegas no conocían que era exactamente una aglomeración urbana modelizada por la Geografía, a través de un SIG de formato *raster* (más allá de ver que era una figura irregular y fragmentada). Luego de algunas semanas de trabajo coordinado en una aproximación pluridisciplinaria entre la Geografía (ciencia coordinadora) y la Física, se presentaron en Buzai, Lemarchand y Schuschny (1997 y 1998) los resultados de las dimensiones fractales de Buenos Aires. Los cálculos se realizaron tanto para su superficie (areal) como para su contorno (lineal), brindando resultados comparables a los que se habían obtenido en estudios urbanos anteriores, y que se tomaron como referencia (Frankhauser, 1991, Makse, Havlin y Stanley, 1995 y Peterson, 1996). La temática, en cuanto a la relación entre las formas espaciales (geometría) y los procesos socioeconómicos (contexto), se trató en Buzai y Baxendale (1998), y desde un punto de vista teórico-metodológico se desarrolló en Buzai y Baxendale (2006a).

Pueden verse distribuciones espaciales en elementos puntuales repartidos en un área de estudio (la distribución espacial de las salas de atención primaria de salud en una ciudad de tamaño intermedio puede dar una idea de las áreas urbanas en las que existe deficiencia del servicio), en elementos lineales (la distribución espacial de las vías de comunicación brinda orientación para la detección de las áreas de máxima conectividad), en un mapa de clasificación de usos del suelo (definir las áreas de clasificación residencial permite una aproximación para la determinación de localizaciones de usos no compatibles), simplemente en un mapa temático de cualquier variable espacializada (la distribución espacial de las Necesidades Básicas Insatisfechas permite una aproximación al *mapa social* del área de estudio), en cálculos de densidad (la distribución espacial de la densidad de población permite ver disparidades en cuanto a la presión que tendrá la dotación de servicios) o en los análisis geométricos como el estudio de formas de las cuales la irregularidad y la fragmentación pueden verse desde un punto de vista fractal.

6 Centro de Estudios Avanzados de la Universidad de Buenos Aires.

El concepto de distribución, como se ha visto, es un concepto central del análisis geográfico, incluso hasta considerarse 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 en el área de estudio.

Asociación espacial

El concepto considera el estudio de las semejanzas encontradas al comparar distintas distribuciones espaciales.

La forma de comparación más clara y directa es el análisis visual que se puede realizar con posterioridad a la superposición cartográfica de ambas distribuciones. 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 mayor será la asociación existente entre ellas.

Desde un punto de vista geométrico, y al considerar la superficie de *intersección* (teoría de conjuntos) entre las dos distribuciones, se puede calcular el Índice de Correspondencia Espacial (ICE) al dividir el valor de la superficie de intersección por el valor de la superficie de la distribución espacial de menor extensión. El ICE arrojará un valor cero (0) cuando no haya contacto, y uno (1) cuando la correspondencia espacial de la distribución menor respecto a la mayor sea completa.⁷

Desde un punto de vista racionalista, el método de superposición (búsqueda de coincidencias espaciales) es un procedimiento clave de la Geografía como ciencia (Rey Balmaceda, 1973), al permitir una construcción regional por divisiones lógicas. Un cierto número de distribuciones espaciales de diferentes temas, cada uno con sus propias categorías se superponen para formar una gran fragmentación de *áreas homogéneas* (consideradas regiones geográficas) de diferentes características combinadas.

El procedimiento de superposición genera una ampliación del *detalle espacial* a medida que se van incorporando mayor cantidad de temas, es decir, a medida que se superponen mayor cantidad de mapas. El incremento

⁷ En geometría la relación se realiza sobre la superficie de unión, al ser ambos conjuntos de igual tamaño. En Geografía el índice funcionaría de esta manera si ambas distribuciones espaciales tienen la misma superficie y forma.

en la cantidad de mapas brindará como resultado mayor cantidad de áreas con crecientes niveles de homogeneidad interna.

Los primeros desarrollos de SIG reconocen al análisis por superposición temática como un procedimiento central a realizarse con las capas temáticas digitales de la base de datos. Desde el punto de vista de la *historia oficial* de la tecnología SIG, se considera el trabajo realizado por Ian McHarg (1969) como aquel que brindó las bases metodológicas de la tarea, aunque desde un punto de vista geográfico la construcción regional, mediante el uso de documentos cartográficos superpuestos, había sido considerada central mucho tiempo antes por el geógrafo francés Max Sorre (1947-1948).

Al seguir con esta línea de análisis, cuando en cada mapa se separan exclusivamente las áreas que presentan aptitud para una finalidad determinada y luego se realiza la correspondiente superposición, se está incursionando en uno de los procedimientos básicos (denominado *método booleano*) de las llamadas técnicas de evaluación multicriterio. Estas técnicas explicadas en detalle en diversos libros (Eastman, Kyem, Tolodano y Jin, 1993, Malczewski, 1999; Gómez y Barredo 2006 y Buzai y Baxendale, 2006a) han demostrado excelente aptitud en la búsqueda de sitios candidatos para encarar una localización. Asimismo, y de acuerdo a nuestra experiencia, combinan una importante cantidad de procedimientos del modelado cartográfico⁸ presentando una gran capacidad didáctica (Buzai, 2004).

Los actuales procedimientos centrados en la visualización de la estructura espacial de los datos permiten verificar la asociación entre dos variables, a partir del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA, *Exploratory Spatial Data Analysis*). Puede verificarse a partir de la realización del gráfico de dispersión para dos variables que se incorporan en cada uno de los ejes ortogonales (90°) x-y.⁹ Estos procedimientos avanzan decididamente hacia el análisis cuantitativo, ya que en este caso específico

8 Estas aplicaciones se realizan básicamente en formato *raster*. Entre los principales procedimientos combinados se incluyen: (1) reclasificación cartográfica, (2) superposición cartográfica-*overlay* (3) álgebra de mapas mediante calculadora, (4) clasificación espacial por conjuntos difusos-*fuzzy*, (5) representación cartográfica, y (6) cálculos de superficies.

9 Un ESDA interactivo, a partir de diagramas de dispersión, ha sido desarrollado en el Capítulo 12 "Análisis exploratorio interactivo de datos espaciales mediante diagramas de dispersión – 2D y 3D" de Buzai y Baxendale (2006, pp. 247-262).

se puede verificar la forma gráfica como paso previo al resultado de correlación numérica que representa.

Desde un punto de vista cuantitativo se utilizan dos clásicos coeficientes para medir asociaciones espaciales. El coeficiente r de Pearson permite cuantificar el comportamiento conjunto entre dos series de datos (variación conjunta y grado de semejanza entre dos temas) medidas en las unidades espaciales del área de estudio y el coeficiente I de Moran mide la *autocorrelación espacial*, es decir, la asociación de una variable consigo misma entre una unidad espacial considerada central y sus unidades espaciales vecinas, al realizar el cálculo posicionándose en cada una de las unidades espaciales del área de estudio.¹⁰

Cuando se calculan todas las asociaciones entre las unidades espaciales del área de estudio y se obtienen valores cuantitativos de estas relaciones, se confecciona una matriz de correlaciones que sirve como base para encarar trabajos de regionalización, ya que cuando las unidades espaciales se encuentran altamente correlacionadas pueden pertenecer a una misma clase, y ésta, a nivel espacial, corresponde a la definición de un área con límites específicos (con o sin contigüidad espacial).

Los procedimientos se han utilizado en diversas aplicaciones fueron el *Linkage Analysis* (análisis de encadenamiento), *Cluster Analysis* (análisis de cúmulos) y análisis factorial. Todos ellos han demostrado excelentes aptitudes para aplicarse en diversas escalas. El estudio por proceso de encadenamiento ha demostrado ser muy eficiente para el estudio de los *mapas sociales* en ámbitos urbanos, tendiente a la obtención de áreas sin contigüidad (Buzai, Baxendale, Cruz y González, 2003) y con contigüidad espacial (Buzai, 2003b). El *Linkage Analysis* es un procedimiento que muestra una visión sintética de las relaciones, el *Cluster Analysis* presenta la formación dinámica de los agrupamientos, y el análisis factorial presenta la posibilidad en la búsqueda de los factores subyacentes de la configuración espacial del conjunto de variables. Los procedimientos técnicos completamente aplicados se desarrollaron en Buzai (2003a).

Poder encontrar diferentes áreas con homogeneidades propias permite al/ a la geógrafa/a hacer uso de una de sus mayores capacidades: poner límites en el espacio geográfico. Ese trazado de límites sobre un mapa,

10 Perspectivas didácticas de ambos coeficientes pueden encontrarse en Buzai y Baxendale (2006^a, pp. 273-274) para el caso del coeficiente r , y en Gámir Orueta (1995, pp. 226-230) para el coeficiente I .

como resultado de la combinación de las distribuciones y asociaciones espaciales se transforma en una herramienta importante de planificación.

Interacción espacial

El concepto considera la estructuración de un espacio relacional, en el cual las localizaciones (sitios), las distancias (ideales o reales) y los vínculos (flujos) resultan fundamentales en la definición de espacios funcionales. De acuerdo a lo analizado por Buzai y Baxendale (2011) esto corresponde a la conceptualización de los componentes básicos que se consideran en el *análisis sistémico*.

El estudio de la interacción espacial siempre ha sido fundamental en la investigación geográfica, pero al mismo tiempo también lo ha sido en la formulación de un campo interdisciplinario de las ciencias sociales como lo es la *ciencia regional*, la cual, según Isard (1960), pone su foco de atención en espacios y sistemas espaciales, en regiones y sistemas regionales en localizaciones y sistemas locacionales, en los cuales es central el concepto multidimensional de *distancia* (física, económica, social y política). Una interesante y útil reseña sobre la historia y actualidad de la ciencia regional ha sido publicada por 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*, considerada un avance realizado a partir de 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 luego abordar estudios de detalle.

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 destacarse inicialmente los trabajos de Zipf (1946 y 1949), en los cuales se presenta la hipótesis de relación $P_1 P_2 / D$, cuyos parámetros¹¹ 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 del

11 P_1 y P_2 son los valores de población de dos localidades, y D es la distancia entre ellas.

movimiento humano al ser considerado un esfuerzo (gasto de energía) para la superación de la fricción espacial. Asimismo, Stewart (1956) al tomar este concepto, adapta las fórmulas de la física newtoniana al 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 social* puede encontrarse en la revisión y análisis bibliográfico realizado por Olsson (1965).

Los conceptos de *conexión* y *accesibilidad* adquieren gran relevancia al intentar realizar mediciones varias, que lleven a la descripción más completa de la estructura espacial que corresponde a la posición y conexión física por flujos de diferente contenido entre las entidades distribuidas en el espacio geográfico.

Las mediciones de la estructura topológica de los circuitos de la red se pueden realizar a partir de la aplicación de procedimientos enmarcados en la *teoría de grafos*. El análisis corresponde básicamente a las conexiones entre sitios, desde una perspectiva estrictamente geométrica. Se realizan cálculos que, por un lado, permiten describir la conexión global de la red y, por otro, su accesibilidad topológica. Entre las primeras se encuentran los índices alfa (α), beta (β), gamma (γ) y un índice global de conectividad que surge de la matriz de conectividad, y entre las segundas variados cálculos de accesibilidad que permiten definir superficies continuas. Entre los aportes geográficos que describen y analizan claramente estos índices se puede mencionar a Bosque Sendra (1992) y Sánchez (1998), quienes retomaron diversos aspectos relacionados con la tradición de la temática desde los trabajos pioneros que fueron sistematizados inicialmente en el libro de Haggett (1967).

Cuando se avanza desde el modelo ideal que proporciona la estructura geométrica de grafos hacia la realidad empírica, se pueden realizar diferentes tipos de cálculos en la red de circulación (camino que conectan sitios). Inclusive incorporar el modelo de *Potencial de Población*, en el cual intervienen las interacciones posibles entre entidades localizadas.

Los cálculos sobre la red permiten definir la conexión entre espacios. Si se considera la distancia entre dos localizaciones A y B, la división entre el valor de distancia real (calculada sobre los caminos necesarios para llegar de un punto a otro) y el valor de distancia ideal (considerando la línea recta) brinda el resultado del *índice de trayectoria* (IT), el cual indicaría el

porcentaje extra que se debe recorrer en el espacio geográfico real como apartamiento a la situación ideal producida por el camino en línea recta o vínculo de menor costo.

Los cálculos de accesibilidad ideal (AI), accesibilidad real (AR), índice de calidad en la comunicación (ICC) e índice de trayectoria (IT) se han aplicado muy claramente para el análisis comparativo de las redes española y valenciana por Calvo Palacios, Jover Yuste y Pueyo Campos (1992). Estos índices son de gran utilidad para el análisis socioespacial, al utilizarse conjuntamente con el cálculo del Potencial de Población (PP) desarrollados en el interior de la Macrogeografía.¹²

Al tomar como referencia el trabajo mencionado anteriormente, en Buzai, Baxendale y Mierez (2003), se realiza la aplicación metodológica completa orientada al análisis de la accesibilidad regional de las localidades del noroeste del Gran Buenos Aires. Es de este trabajo de donde se han extraído la totalidad de las fórmulas matemáticas que pueden utilizarse.

Los avances en cuanto al estudio de la interacción espacial proporcionaron las bases para el surgimiento de una *geografía de los servicios* (en algunas oportunidades se orientan también hacia el estudio de la localización de los establecimientos comerciales y el *geomarketing*), en la búsqueda de regularidades empíricas que permitan la aplicación de procedimientos y toma de decisiones en planificación urbana y regional con bases de racionalidad científica (Berry, 1971). Aquí merecen destacarse las fórmulas de Reilly-Huff para la determinación del lugar en el que debería ser trazado el límite de las áreas de influencia de dos centros, lo que podría considerarse un ajuste analítico al límite medio proporcionado por las bases geométricas del trazado de polígonos de Voronoi/Thiessen, con lo cual se obtienen las áreas de influencia perfectas entre dos centros (localidades) de igual importancia.

Por último, es necesario destacar la utilidad de los *modelos de localización-asignación*, los cuales en la actualidad constituyen un desarrollo muy valioso para actuar sobre el mejoramiento de los parámetros vincu-

12 Este método ha sido el principal pilar de la Macrogeografía, y se ha desarrollado desde la Economía Regional a lo largo de la década de 1960. Se puede destacar la obra fundacional de Isard (1958) y la excelente aplicación al sistema urbano de la República Argentina, realizada por Gamba (1969) como tesis doctoral en la *University of Pennsylvania*. Desde su formulación inicial, el método para el cálculo del PP ha sido modificado y ampliado en su adaptación a múltiples objetivos (población, sector servicios), al respecto pueden consultarse los trabajos de Aneas (1994), Gamba (2004) y Buzai y Baxendale (2006a).

lados a la medición de la justicia espacial. Con posterioridad al uso de las técnicas de evaluación multicriterio que son aplicadas para obtener sitios candidatos que puedan recibir nuevas localizaciones, en este sentido, los modelos de localización-asignación se aplican para definir cual de estos sitios brindaría la *localización óptima*.

Desde un punto de vista aplicativo se utilizan para encontrar las localizaciones óptimas de equipamientos *deseables* (con influencias socioespaciales positivas) como los centros de atención de salud o establecimientos educativos, o de equipamientos *indeseables* (con influencias espaciales negativas) como basurales (instalaciones contaminantes en general) o presidios (instalaciones peligrosas en general). En el primer caso, las fórmulas aplicativas tienen que ver con la minimización de distancias o maximización de coberturas de áreas de influencia hacia la localización, mientras que en el segundo caso, en cambio, la situación es inversa.

Estos modelos han sido estandarizados como SADE, y también han tomado un papel central en el camino en la verticalización del SIG. En los últimos años fueron aplicados en múltiples casos de estudio. Como síntesis de sistematizaciones pueden destacarse los libros de Bosque Sendra y Moreno Jiménez (2004) y de Moreno Jiménez y Buzai (2008), ambas son compilaciones que ponen su foco de atención en las capacidades teóricas y aplicativas de la metodología.

Como se ha visto en este punto, el análisis de interacción espacial constituye una temática de importante tradición en el análisis espacial cuantitativo, y su continuo avance se ha producido por más de medio siglo. Como puede apreciarse, los fundamentos básicos y centrales en esta tradición 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 la tecnología SIG. Al mismo tiempo también propició un avance en el desarrollo de los sistemas a través de los SADE, centrados en la búsqueda de soluciones para la localización de equipamientos. En síntesis, la consolidación de esta línea no solamente se produce porque aborda principalmente los vínculos (relaciones) entre entidades geográficas a partir del análisis sistémico, sino también por las múltiples metodologías desarrolladas para su estudio.

Evolución espacial

El concepto considera la incorporación de la dimensión temporal, a través de la permanente transición de un estado a otro.

Los estudios geográficos son básicamente abordajes del presente (recordemos que la Geografía generalmente se presentan como una ciencia del presente), sin embargo, en ningún momento se deja de reconocer que la dimensión temporal es de gran importancia en un análisis geográfico completo (Cliff y Ord, 1981), ya que ir hacia el pasado nos muestra el origen de las manifestaciones empíricas del presente. Centrarse en el *donde* corresponde a una visión basada en la localización, y en el *cuando* a una visión basada en el tiempo. El *como*, desde un punto de vista espacial, presentaría el camino evolutivo *espacio-temporal*.

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*, que incluye los períodos transcurridos que permiten analizar los procesos que producen la situación actual. También cabe destacar que cada situación del pasado puede analizarse desde diferentes configuraciones de un presente (diferentes geografías del presente), y, en este sentido, la comparación entre estas diferentes geografías del presente permiten ver la evolución cambiante previa a la situación actual.

Estas consideraciones teóricas se desarrollaron técnicamente en el trabajo de Monominier (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), el cual constituye una metodología de análisis por superposición temática asociando espacialmente, mediante el SIG, capas temáticas de diferentes momentos históricos. El intervalo (resolución temporal) entre las diferentes geografías del presente depende de la velocidad de cambio de la temática analizada, aunque muchas veces queda supeditado a la disponibilidad de datos.¹³

13 Muchos cambios socioespaciales que se analizan a través de datos censales solamente pueden realizarse con una resolución temporal de aproximadamente una década, que corresponde al tiempo que media entre un censo y otro.

Esta resolución técnica correspondería a un análisis temporal por procedimientos cualitativos de superposición cartográfica. La búsqueda de resultados a través del SIG estaría dada por procedimientos matemáticos simples, en las localizaciones de un sistema *raster* o por la adición-eliminación de entidades en un sistema vectorial (Peuquet, 1994).

Desde el punto del vista del análisis espacial cuantitativo, el estudio de la evolución temporal de configuraciones espaciales puede considerarse un eje de cuarta dimensión en la *matriz de datos tradicional* formada por filas (unidades espaciales) x columnas (variables) o en la *matriz de datos geográfica* formada por filas (variables) x columnas (Unidades espaciales), línea desarrollada a partir del aporte fundamental de Berry (1964). La primera perspectiva, la que corresponde a la configuración organizativa de la matriz de datos tradicional, es la que se encuentra en las bases de datos alfanuméricas de un SIG vectorial.

Al considerar la matriz de datos tradicional (coincidente con la base de datos alfanumérica de un SIG con la posibilidad de incorporarse de forma directa a cualquier software para su análisis estadístico), los análisis evolutivos con posibilidad de realizarse desde el pasado al presente, pueden encararse a través de la evolución histórica de los datos correspondientes a un tema (columna), de la variación conjunta de dos o más temas (columnas), de la combinación de temas en una unidad espacial (fila), de la variación conjunta de la combinación de temas de diferentes unidades espaciales (filas) o de una temática específica en una unidad espacial (celda), lo que sería el estudio de un *hecho geográfico* a través del tiempo. Se debe tener en cuenta que, en el caso de considerar una matriz de datos geográfica, la posición de filas y columnas, mediante una transposición, pasa a estar intercambiadas permitiendo aplicar procedimientos de análisis multivariado con fines de regionalización.

Cabe considerar también que la Geografía, además de definirse básicamente como una ciencia del presente que acude al pasado para ver la génesis de las configuraciones espaciales actuales, puede considerarse una ciencia del futuro (ciencia prospectiva). La realización de investigaciones en la línea del análisis espacial cuantitativo, a partir de trabajos de modelización, permiten obtener resultados de simulación relativos a posibles situaciones futuras. Representan distribuciones espaciales hipotéticas que

generan visiones instrumentales de utilidad para el ordenamiento y la planificación territorial.¹⁴

La modelización, entendida como *estructura de organización* de datos en el interior de los SIG, es principalmente estática, y se encuentra relacionada con la forma en que serán organizados y almacenados digitalmente, principalmente las bases de datos *raster* (orientación a las localizaciones) y *vectoriales* (orientación hacia las entidades). En cambio, la modelización entendida como *proceso* que lleva a un *modelado dinámico de datos espaciales* permite, mediante la simulación digital, obtener como resultado configuraciones espaciales futuras. Esta división conceptual se establece claramente en el trabajo de Batty (2005a), línea en la que se debe destacar el aporte de O'Sullivan y Unwin (2003). Lo anterior lleva a que, desde hace más de una década, se considere que la dimensión temporal debería tener mayor grado de desarrollo en el interior de la tecnología SIG (Langran, 1992 y Peuquet, 2002).

A partir de los procedimientos por superposición de capas temáticas, el análisis temporal se amplió a través de las técnicas de evaluación multicriterio desarrolladas originalmente para la búsqueda de sitios candidatos destinados a la ubicación de localizaciones en sitios óptimos. Estas metodologías también se utilizan para la obtención de configuraciones futuras, a partir de la modificación de valores de las variables como simulación de cambios a realizarse, tal cual lo ha demostrado el trabajo de Medronho (1995), al brindar soluciones para la disminución y erradicación de la enfermedad del dengue en el ámbito urbano. En la misma línea puede ubicarse la metodología LUCIS (*Land Use Conflict Identification Strategy*), propuesta por Carr y Swick (2007), una serie de procedimientos lógicos muy bien concatenados que llevan a la identificación de zonas (terminología raster) de potencial conflicto (configuraciones futuras) ante la expansión de diferentes usos del suelo en un nivel regional. Las metodologías de evaluación multicriterio han sido analizadas en diferentes trabajos, y el método LUCIS se ha aplicado con resultados satisfactorios en Buzai y Baxendale (2007 y 2008).

14 Es lo que normalmente se denomina *escenarios*, un término teatral que no se considera correcto para trasladarse al ámbito de los estudios geográficos. Lamentablemente la realidad socioespacial que se ve en numerosos casos no son una obra artística, sino una verdadera realidad. Bajo esta consideración también se incluye el concepto de *actores sociales*. Los/las científicos/as que queremos mejorar el mundo no nos podemos dar el lujo de diluir la cruel realidad empírica de esta manera.

Cuando se intenta avanzar hacia una modelización dinámica de evolución temporal continua pueden destacarse principalmente aplicaciones con el uso de autómatas celulares.

Muchas distribuciones espaciales son manchas con cierto grado de irregularidad y fragmentación que evolucionan en el espacio geográfico a través del tiempo. Basado en esta apreciación se han privilegiado los estudios y las aplicaciones a la forma urbana (ciudad definida desde un punto de vista geográfico como “aglomeración” o “mancha urbana”), siendo clásico el libro de Batty y Longley (1994). Luego de analizar con gran detalle la teoría fractal, las dimensiones físicas efectivas en diversos casos, es decir, las dimensiones fractales de varias ciudades (principalmente de Cardiff) aplican la modelización de difusión por agregación limitada (DLA, *Diffusion-Limited Aggregation*)¹⁵, concluyen en que la totalidad de los procedimientos surgen directamente ante la necesidad de visualizar con mejores aproximaciones las realidades espaciales, y dan una respuesta acertada.

Cuando se avanza hacia una modelización temporal continua, el modelo DLA representa un interesante ejemplo al utilizarse en la generación de cúmulos de localizaciones (en terminología *raster*), a partir de considerar la autosimilitud fractal de las distribuciones espaciales. Es decir, que la gran aptitud del modelo consiste en generar patrones de evolución espacial respetando formas específicas.

Al seguir en esta línea de modelización se deben considerar aquí los trabajos que apelan al uso de *autómatas celulares*,¹⁶ los cuales, de acuerdo a sus características, demuestran una principal aptitud en el sistema *raster*. La base de trabajo se encuentra representada por una capa temática formada por $n \times m$ celdas del área de estudio, en la que cada localización puede asumir únicamente dos estados (vacío-ocupado) en el conjunto de posibilidades, basados en los usos del suelo y los resultados producidos a través de las reglas de transición que fueron definidas. El libro de Aguilera Ontiveros (2002) se considera como la referencia obligada del tema en nuestro idioma.

15 El modelo DLA fue desarrollado por Witten y Sander (1981).

16 Desarrollos que comienzan con el trabajo del matemático húngaro John (János Lajos) Von Neumann (1903-1957), que propone modelar máquinas, que trabajando de forma autónoma (autómatas) tengan la posibilidad de auto-reproducirse. Continúa con el aporte del matemático polaco Stanislaw Marcin Ulam (1909-1984), quien intentó buscar una solución a partir de enmarcar la aplicación en una malla cuadrículada de base espacial discreta (células). Ambos desarrollos generan el primer modelo de *autómata celular*.

Particularmente, en el caso simple de un único uso del suelo –como corresponde a la evolución de la aglomeración urbana–, las interacciones se realizan entre celdas vinculadas localmente, que generan configuraciones espaciales globales de diferente grado de irregularidad y fragmentación. Se debe destacar aquí el trabajo de Polidori (2004), quien obtiene estados futuros para la configuración espacial de la ciudad de Pelotas (Brasil), a partir de la modelación de diferentes tipos de tensiones producidas ante la relación de atributos urbanos, naturales e institucionales, las cuales generan configuraciones polarizadas, lineales y difusas.¹⁷

Según el análisis de la evolución temática, realizada por Polidori (2004), los estudios que encararon la evolución urbana en esta línea de trabajo comienzan con el aporte de White y Engelen (1993 y 1994), los cuales estuvieron vinculados a la búsqueda del orden espacial en las formas fractales. Luego cabe destacar la sistematización posterior realizada en White, Engelen y Uljee (1997), y una serie de aplicaciones de autómatas celulares que privilegian el estudio de la evolución espacial urbana.¹⁸

En esta línea de trabajo ha tenido un importante desarrollo el modelado multi-agente (ABM, *Agent-based models*), en el cual los agentes son móviles y cambian de localizaciones. Estos procedimientos se basan en la filosofía de la simulación temporal continua, a partir de infinitas configuraciones instantáneas que se producen con la finalidad de obtener un continuo. A partir del desarrollo en inteligencia artificial y en ciencias cognitivas ha sido posible crear modelos que incorporen supuestos subjetivos e intersubjetivos de comportamiento de sociedades artificiales. De acuerdo a Aguilera y López (2001), el modelado multiagente puede simular acciones de los individuos teniendo en cuenta sus conocimientos y sus valores.

Corresponde a acciones simples individuales que en conjunto muestran una inteligencia colectiva. Es un tipo de inteligencia que se verifica en diversas colonias de animales e insectos, y corresponde a uno de los mayores interrogantes que se plantea a la investigación científica actual. Se denomina también *inteligencia de enjambre*, en la cual

17 Es posible relacionar estas tensiones con los diferentes modelos urbanos. Inicialmente, las estructuras espaciales presentadas por los modelos clásicos, luego adaptadas a la realidad de las ciudades de América Latina (Buzai, 2003a).

18 Se puede mencionar los trabajos de Clarke, K.C., Hoppen, S. y Gaydos, L. (1997) para San Francisco en Estados Unidos, Xie y Sun (2000) para Ann Arbor y Detroit en Estados Unidos y Hong Kong, Li y Yeh (2000) para Dongguan en China, Polidori (2004) para Pelotas en Brasil y Buzai (2007) para la aglomeración de Buenos Aires.

criaturas simples deciden en base a información local limitada, y que en conjunto generan comportamientos de alta complejidad (Miller, 2007).

En los últimos años han sido aplicados en múltiples casos de estudio que abarcan prácticamente la totalidad de la primera década del 2000¹⁹, todos ellos teniendo como finalidad relacionar las estructuras del movimiento espacial y temporal con las ciencias de la complejidad, al incorporar elementos aleatorios. Estos modelos se presentan como un puente de vínculo entre la complejidad en las ciencias naturales y sociales. El trabajo de Batty (2005) se presenta como una importante sistematización que relaciona el ámbito urbano con la complejidad, aspectos extrapolables a otras estructuras espaciales.

En nuestros estudios, hemos llegado a la aplicación de un modelado dinámico por autómatas celulares en una evolución aplicativa de creciente complejidad. La aproximación inicial tenía simplemente el objetivo de analizar la evolución espacial de la aglomeración de Buenos Aires desde 1869 a 1991, en puntos temporales correspondientes a los censos nacionales de la Argentina (Buzai, 1993), y luego, unos años más tarde, se realizó el análisis de la pérdida de suelos productivos a causa de la impermeabilidad producida por la mancha urbana en el área de estudio (Morello, Buzai, Baxendale, Matteucci, Rodríguez, Casas y Godagnone, 2000). En ambos casos, la metodología utilizada fue la de superposición de capas temáticas en sistema *raster*, en el primer caso correspondiente a la mancha urbana de 1869, 1895, 1914, 1947, 1960, 1970, 1980 y 1991, y en el segundo caso incorporándole la capa temática de la distribución espacial de los suelos del área de estudio.

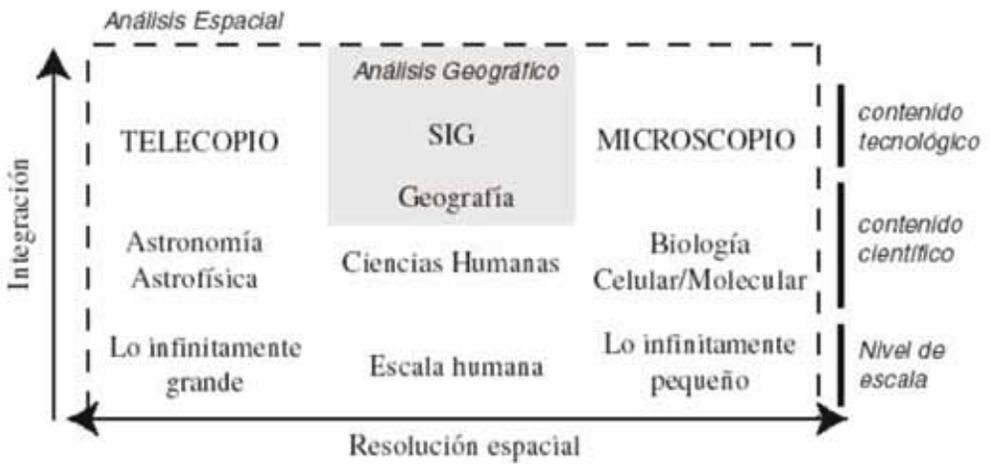
Con posterioridad fueron ampliados ambos estudios incorporando la capa temática correspondiente al año 2001, último censo nacional, (Buzai y Baxendale, 2006b), y realizando un ejercicio de simulación a futuro se verificó la confiabilidad de la relación entre la mancha urbana de Buenos Aires 2001 (real) comparada con la mancha obtenida por el trabajo de autómatas celulares (simulada) (Buzai, 2007e incorporado en Buzai y Baxendale, 2006a) brindando un resultado altamente satisfactorio: una correspondencia del 96,77% de acuerdo al índice Kappa.

19 Se destaca como tema prioritario de avance en el *Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA)* del *University College London (UCL)*, quienes publican una serie de documentos con los resultados obtenidos: Batty, Dehesillas y Duxbury (2002), Batty (2003a y 2003b), Crooks (2006 y 2008), Castle (2006), Castle y Cooks (2006) y Cooks, Castle y Batty (2007).

En síntesis, la investigación científica considera de gran importancia el tratamiento de la dinámica espacial, a través de la dimensión temporal. Técnicamente, se ha presentado una secuencia que se sucede a través de procedimientos aplicados de flexibilidad creciente, desde la cartografía superpuesta en capas temáticas de diferentes momentos históricos hasta la evolución en secuencia continua (cambio instantáneo de configuraciones espaciales) con posibilidades de obtener estructuras espaciales futuras como modelado dinámico espacial.

Los conceptos de localización, distribución, asociación espacial, interacción espacial y evolución espacial claramente se ubican en una escala humana, en la cual el SIG tiene preponderancia en cuanto al componente tecnológico.

Figura 2. Análisis espacial y análisis geográfico



Fuente: Elaboración del autor

Evolución de las relaciones geoinformáticas

Geoinformática

Las tecnologías digitales presentan excepcionales posibilidades de aplicación al ámbito del análisis espacial, y los Sistemas de Información Geográfica, como tecnología de vinculación e integración, se ha convertido en el principal medio proveedor de caminos para lograr las soluciones que demandan la gestión y planificación territorial actual.

La valorización generalizada del total de aplicaciones ha sido sumamente importante, y el prestigio de las tecnologías digitales en el análisis espacial creció simultáneamente a la incorporación práctica de las variables de localización (x, y), de atributos (z) y de tiempo (t) en estudios interdisciplinarios. Desde un punto de vista conceptual, la totalidad de dimensiones se consideran necesarias para lograr las aproximaciones más completas posibles de la realidad.

La transformación del mundo real en un modelo digital posible de ser trabajado mediante procedimientos computacionales exige una serie de transformaciones que finalizan al nivel de *byte*. Mediante esta fragmentación y estandarización, todo objeto geográfico puede definirse a través de una geometría particular (*punto, arco, polígono, raster o x-tree*), una localización precisa en el espacio absoluto ($x-y$ o *geográficas*), una serie de atributos (campos de información o capas temáticas *-layers*) y su existencia en un momento histórico (instante de realización de las mediciones).

Concretar estos aspectos mediante medios computacionales se logra a través de la generación de *bases de datos alfanuméricas* y *bases de datos gráficas*.

Las primeras se encuentran asociadas al almacenamiento de números y letras que representan los atributos de cada entidad ubicada en el espacio geográfico, y los *software* que se incorporan para su tratamiento son los *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).²⁰

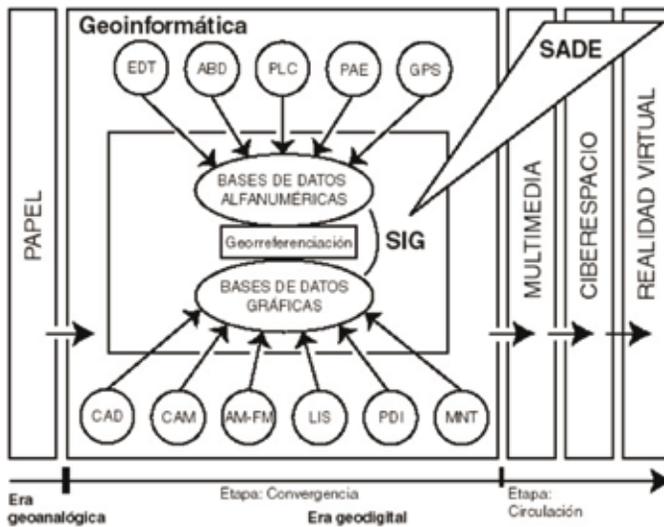
Las segundas se encuentran asociadas al almacenamiento de los aspectos geométricos, y los *software* que se utilizan para su tratamiento son

20 Se conserva la sigla en inglés, GPS (Global Positioning System). Un sitio de interés para obtener información actualizada sobre esta tecnología es: <http://www.mundogps.com>

los programas de *Diseño Asistido por Computadora (CAD)*, *Mapeo Asistido por Computadora (CAM)*, *Gestión de Infraestructura (AM-FM)*, *Sistema de Información de Tierras (LIS)*, *Procesamiento Digital de Imágenes (PDI)*²¹ y *Modelado Numérico de Terreno (MNT)*.²²

A partir de estas definiciones y por espacio de poco más de una década, a partir de la evolución tecnológica, se ha ido construyendo un sistema clasificatorio para las relaciones geoinformáticas, que en su versión más actualizada ha quedado definido como lo presenta la figura 3.

Figura 3. Relaciones geoinformáticas



Fuente: Elaboración del autor

21 El PDI, a partir del uso de imágenes satelitales, ha tenido un crecimiento muy importante como fuente de datos para la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica. Las imágenes más utilizadas han sido aquellas provenientes de satélites destinados a la exploración de recursos terrestres como Landsat (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>) y SPOT (<http://www.spotimage.com>) de 30 y 20 metros de resolución espacial en modo multibanda respectivamente. En la actualidad han aparecido productos de resolución métrica utilizados en estudios de mayor detalle, principalmente en ámbitos urbanos, como Ikonos (www.spaceimaging.com) y QuickBird (www.digitalglobe.com). El sitio Global Land Cover Facility administrado por la Universidad de Maryland y con auspicio de la NASA pone a disposición de manera gratuita gran cantidad de imágenes satelitales provenientes de diferentes sensores (<http://glcf.umiacs.umd.edu>).

22 Se conservan las siglas en inglés, CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Mapping), AM-FM (Automated Mapping-Facilities Management) y LIS (Land Information System).

Cuando se combinan las bases de datos alfanuméricas y gráficas, y se referencian espacialmente a un sistema de coordenadas geográficas (georreferenciación) surge el concepto de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En la figura presentada puede apreciarse que si nos dirigimos desde el núcleo hacia los bordes nos encontramos con diferente tipo de *software* de aplicación en una estructura convergente, que en su totalidad forma el campo de la Geoinformática.

La Geoinformática se convierte en un campo de gran amplitud, en el cual se puede incluir todo tipo de *software* de aplicación, y en el que la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica es su núcleo al tomar el lugar de vínculo central. Esto es posible porque la Geoinformática no se define a través del tipo de programas computacionales que la integran, sino por la clase de información que utiliza: información geográfica o *geoinformación*.

En este sentido, todo tipo de aplicación computacional puede incluirse en el campo de la Geoinformática, desde las generales hasta las específicas, pues todas se relacionan en enlaces de sucesivas vinculaciones que posibilitan la creación de modelos espaciales digitales de la realidad.

El total de relaciones se apoya temporalmente sobre un eje horizontal que va desde una *era geoanalógica*, en la cual todo documento de representación espacial era utilizado en formato papel, hacia una *era geodigital*, en la que los procedimientos de análisis han sido estandarizados a través del uso computacional.

Gran parte de este segundo período está dominado por una etapa de convergencia que se ha formado en una evolución aproximada de veinte años de duración (1980-2000), y en la que los SIG han permitido la definitiva integración de los *software* componentes de la Geoinformática, en un proceso que Dobson (1983b) había señalado en sus inicios.

Las relaciones geoinformáticas actuales han superado notablemente el ámbito de las computadoras personales, y sus posibilidades se han ampliado a través de la tecnología multimedia (Sui y Goodchild, 2001) y su incursión en el ciberespacio a través de Internet mediante las capacidades del llamado *GIS en línea* (Anselin et al., 2004; Kraak, 2004)²³, y de toda

23 Un desarrollo estándar para la consulta de SIG en línea puede consultarse en la página de National Geographic como MapMachine (<http://www.nationalgeographic.org>) en el que pueden consultarse mapas mundiales, regionales y nacionales al constituirlos a partir de la combinación de diferentes capas temáticas.

aplicación que puede utilizarse de manera remota por la red hasta llegar a la realización de recorridos de inmersión digital a través de la realidad virtual (Buzai, 2001).²⁴

Revalorización conceptual en visiones disciplinarias y más allá de la geografía

La geografía automatizada

A pesar de que el trabajo pionero de Kao (1963) pone en discusión el tema de la implementación y aplicación de las herramientas computacionales en Geografía fue recién al comienzo de la década del ochenta cuando se produjo la aparición de un debate formal acerca de la posibilidad de aplicación de tecnologías computacionales integradas y su impacto en la práctica disciplinaria.

El trabajo inicial pertenece a Dobson (1983a), y surge como resultado de su reflexión acerca de los notables avances experimentados en materia computacional, que según el autor, habían permitido automatizar la mayoría de los métodos utilizados para la resolución de problemas geográficos. En este sentido, se presenta el surgimiento de lo que se denomina *geografía automatizada*, un campo de aplicación eminentemente técnico, que se presenta como 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 las limitaciones que pueden surgir al tener que orientar una investigación hacia la utilización de métodos fácilmente automatizables. El primer inconveniente había sido experimentado con la revolución cuantitativa de mediados del siglo veinte, mientras que el segundo –surgido directamente de la automatización digital– considera que sería superado con el avance técnico y la integración flexible de los sistemas.

24 Una serie de laboratorios universitarios estudian temáticas relativas a los mundos inmersivos de la realidad virtual, un ejemplo de las líneas de trabajo puede obtenerse en University of Michigan (<http://www-vrl.umich.edu>) y por otro lado, también se han desarrollado experiencias de *chats* 3D basados en plataformas de realidad virtual posibles de ser utilizadas a través de Internet, y que permiten realizar construir, comprar y explorar cientos de mundos virtuales (<http://www.activeworlds.com>), esto último estaría relacionado con una experiencia geográfica en las líneas de la simulación digital.

A inicios de la década del ochenta, la integración computacional era considerada una tarea ineludible hacia el futuro, ya que las aplicaciones integrantes de la geografía automatizada (Cartografía Computacional, Computación Gráfica, Procesamiento Digital de Imágenes de Sensores Remotos, Modelos Digitales de Elevación y Sistemas de Información Geográfica) contaban con límites muy precisos entre ellas, y esta integración surgía como necesaria para trabajar de forma completa todo dato geográfico. En este sentido, cabe destacar que en la actualidad esta tarea se ha cumplido y la integración ha sido resuelta con éxito bajo la amplitud del concepto de Geoinformática y los desarrollos más flexibles del *software* en la era geodigital actual.

Los comentarios acerca del aporte de Dobson (1983a) presentan una amplia gama de profundidad y diferentes focos de atención, que van desde simples cuestiones terminológicas respecto al uso del término geografía automatizada (Marble y Peuquet, 1983, Moellering y Stetzer, 1983 y Poiker, 1983) hasta la incorporación de aspectos teóricos de relevancia al considerar una falta de neutralidad ideológica de los sistemas computacionales en el momento de su aplicación (Cromley, 1983).

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

Las relaciones interdisciplinarias entre la Geografía y el resto de las ciencias, que comienzan a ver las ventajas de considerar la variable espacial a través de la automatización de las tareas geográficas, se presenta como un nuevo ámbito de reflexión no abordado. En este sentido, Monmonier (1983) afirma que el camino del/de la geógrafo/a hacia la integración de equipos interdisciplinarios se presenta como inevitable.

Los comentarios realizados hacia el trabajo inicial de Dobson (1983a) tienen una respuesta posterior en Dobson (1983b), quien no avanza hacia cuestiones de mayor profundidad, con el mismo optimismo afirma que si bien –como lo menciona Poiker (1983)– la geografía automatizada no ha obtenido mejores resultados que los logrados con la revolución cuantita-

tiva del cincuenta, los inconvenientes mencionados serán superados y se afianzará la geografía automatizada, como disciplina particular que utiliza sistemas cibernéticos, humanos y electrónicos para el análisis de sistemas físicos y sociales.

Una década más tarde, *The Professional Geographer* (vol.45 N° 4) retoma el debate a través de un *Open Forum* titulado *Automated Geography in 1993*, a fin de analizar las iniciales consideraciones a la luz de la evolución de una década en la temática.

En la primera presentación, Dobson (1993), que mantiene su postura de 1983, menciona que la integración proclamada como necesaria en el pasado ha comenzado a realizarse con la fuerza innovadora de los Sistemas de Información Geográfica, y avanza teóricamente al considerar que su correcto uso se aseguraría únicamente mediante el apoyo conceptual de lo que Goodchild (1992) definió como *Geographic Information Sciences*, el cual será abordado posteriormente como avance transdisciplinario.

Revolución tecnológica e intelectual

Sin abordar la posibilidad de existencia de una revolución paradigmática, Dobson (1993) reconoce que el tema ha sido tratado de forma privilegiada como “revolución tecnológica” y que se ha avanzado poco respecto a su rol en una “revolución científica”.

Esta orientación no es general, pues el impacto también se verifica en un nivel de mayor alcance, como es el de los valores intelectuales. Dobson (1993), al considerar los diferentes tipos de inteligencia definidos por Gardner (1995), establece que, a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica, la inteligencia *espacial* comenzará a ocupar un lugar destacado junto a las habilidades valorizadas tradicionalmente como la *lingüística* y la *lógica matemática*. Por lo tanto, desde este nivel de desarrollo básico, la Geografía impactará de forma notable en otras disciplinas, y con ello el/la geógrafo/a tendrá un mayor desafío al intentar ocupar un lugar destacado en la revolución científica e intelectual que se vislumbra.

Como se ha podido apreciar, existe un camino que se va ampliando respecto a los procesos de automatización en Geografía, el cual se dirige desde aspectos puramente técnicos hacia una mayor reflexión conceptual. Salvo los comentarios de Marble y Peuquet (1993), quienes se han mantenido en la postura de considerar un leve impacto en la disciplina, otros/as

autores/as han demostrado su definitivo optimismo que puede verificarse en una amplitud que va desde la consideración de aspectos puntuales como una revalorización de los estudios en Ecología del Paisaje (Goodchild, 1993) o la integración de las posturas idiográficas y nomotéticas representadas por el debate entre Hartshorne y Schaefer, respectivamente (Sheppard, 1993), hasta exponer que los logros de la automatización presentan un nuevo límite natural de la Geografía (Pickles, 1993). Asimismo, Pickles (1995 y 1997) afirma que la potencialidad de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica va más allá de la técnica, ya que hay una incorporación de conceptos científicos que se llevan a la práctica, sin embargo, para avanzar en esta línea se deben manejar múltiples escalas, que van desde una firme conceptualización técnica que se presenta cada vez más estandarizada hasta los aspectos contextuales más abarcativos que presentan el marco de una *cultura de la fragmentación* y la globalización informacional, donde los Sistemas de Información Geográfica cumplen un rol sumamente importante (McLafferty, 2004).

La Cibergeografía

El impacto de las tecnologías digitales en la teoría y la metodología de la Geografía genera una línea de avance en la etapa de circulación (figura 1), a través de la investigación de las relaciones del mundo digital y particularmente en el interior de este último.

En base a estas consideraciones, una nueva línea de reflexión y de avance disciplinario se está desarrollando con gran ímpetu en nuestra ciencia: la Cibergeografía.

En 1984, el escritor de ciencia ficción William Gibson, en su novela *Neuromancer*, introdujo el concepto de Ciberespacio como “una alucinación consensual experimentada diariamente por billones de legítimos operadores, en todas las naciones, por niños a quienes se les enseña altos conceptos matemáticos(...) Una representación gráfica de la información abstraída de los bancos de datos de todos los ordenadores del sistema humano. Una complejidad inimaginable. Líneas de luz clasificadas en el no-espacio de la mente, conglomerados y constelaciones de información. Como luces de una ciudad que se aleja” (Gibson, 1997, pp.69-70).

A partir de esta perspectiva, el ciberespacio se considera como una matriz electrónica de interconexión entre bancos de datos digitales, a través

de los sistemas computacionales conectados a la red mundial. Aparece un nuevo espacio que se superpone y complementa cada vez con mayor fuerza a la geografía real de los paisajes empíricos, para convertirse en un nuevo espacio de análisis.

Explorar tiene que ver con la empresa de conocer lugares desconocidos, la utilización de los medios materiales para localizar el nuevo mundo y la conservación de hallazgos para su difusión. El espacio relacional que hoy encontramos entre las pantallas de las computadoras comienzan a abrir nuevos caminos de exploración, y algunos/as geógrafos/as interesados/as en las tecnologías digitales se han lanzado a la nueva aventura.

En este sentido, el siglo veintiuno presenta novedosas perspectivas de análisis del mundo en el marco de la cibercultura y la simulación digital.

La Cibergeografía se presenta de esta manera como el estudio de la naturaleza espacial de las redes de comunicación y los espacios existentes entre las pantallas de las computadoras. Los estudios cibergeográficos, de acuerdo a la clasificación de Dodge y Kitchin (2001) y el sitio que el geógrafo Martín Dodge administra en el (University College London (UCL))²⁵, incluyen una amplia variedad de fenómenos, desde los puramente materiales, como el estudio de la distribución espacial de los equipamientos físicos de comunicación, hasta los más abstractos, como la percepción humana de los nuevos espacios digitales y la realidad virtual.

El contenido de los flujos intangibles de comunicación pueden considerarse un espacio de conocimientos y decisiones, que muestra características demográficas en las nuevas “comunidades virtuales”, la globalización de las actividades económicas a través del comercio electrónico (*e-commerce*) y el teletrabajo y, finalmente, la estructuración de los espacios urbano-regionales a nivel mundial a través de la circulación rápida y las conexiones carentes de continuidad.

Las nuevas tecnologías digitales generan una acelerada virtualización del espacio con importantes impactos socioespaciales, en los que las distancias y las interacciones físicas ya no son imprescindibles para la estructuración de las comunidades (Hiernaux, 1996).

Cabe destacar aquí la afirmación de Nora (1997), quien considera que así como las grandes potencias mundiales se lanzaron en diferentes momentos históricos a la conquista de los caminos, los mares, el aire

25 Cyber Geography Research, <http://www.cybergeography.org>

y el espacio, actualmente buscan el dominio de una nueva frontera: el ciberespacio.²⁶

Las múltiples relaciones entre las tecnologías digitales y los mundos virtuales, y entre los mundos virtuales y el espacio geográfico empírico, generan importantes desafíos conceptuales y de acción hacia el futuro. La Geografía como disciplina se encuentra realizando avances continuos en estas líneas.

IMPACTO INTERDISCIPLINARIO

Geografía Global

Revolución o revalorización

Al tomando el modelo de evolución científica por cambios paradigmáticos, propuesto por Khun (1970), es posible pensar la evolución del pensamiento geográfico en ciclos de aproximadamente 20-25 años de extensión (Buzai, 1999), por lo cual, a finales del siglo veinte, llegó hacia un momento de pérdida de fuerza de los paradigmas vigentes y el surgimiento de perspectivas de análisis con las cuales ingresamos al siglo veintiuno.

La aparición de las tecnologías digitales, como interfase de notable impacto para el abordaje de la realidad, presentan una manera de visualizar y analizar los espacios geográficos, basada en la aplicación de modelos digitales –aspecto que ha tenido continuidad hasta la actualidad (Longley, 2004)–, y esto ha permitido pensar en la aparición de un nuevo paradigma de la Geografía basado en la geotecnología.

Por lo tanto, la conceptualización de la evolución del pensamiento geográfico bajo estas consideraciones permite establecer que en el momento actual se llegó a la maduración temporal necesaria para asistir a un cambio revolucionario, en el que las tecnologías digitales se presentan con un rol destacado: Una notable revolución tecnológica e intelectual como ya se analizó.

26 Los flujos que se transmiten a través de las redes de información y comunicación de manera unidireccional, según Wark (1994) pueden generar un mundo familiar al que se experimenta diariamente en la vida cotidiana, la visión de un mundo distancia a través de vectores que producen experiencias y pueden dominar la opinión pública. De forma multidireccional, los flujos de comunicación pueden controlarse en contenido en la conformación de una alta jerarquía ciberespacial, en la que existen nodos centrales concentradores de los mensajes mundiales. Resulta un claro ejemplo el “mapa del ciberespacio” realizado por Toudert y Buzai (2004) mediante el uso del *software* VisualRoute 5.0b (<http://www.visualroute.com>).

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica no es ideológicamente neutra, sino que en su interior se encuentran automatizados conceptos y métodos que se han desarrollado principalmente con base en las perspectivas racionalistas y del cuantitativismo. La posibilidad de ligar estos desarrollos geotecnológicos con otras perspectivas geográficas no funciona como resultado de un procedimiento directo, debido a que los aspectos de la investigación cualitativa no son fácilmente automatizables.

En base a estas consideraciones, la aseveración de que la geotecnología, y con ella la geografía automatizada, se presenta como un nuevo paradigma de la Geografía tiene bases bastante difusas. Mientras se verifica en ella un principio organizador, un avance hacia una nueva tradición de investigación y su consolidación como medio para lograr respuestas universalmente aceptadas, por otro lado, se verifica la imposibilidad de que surjan directamente hipótesis a partir de estas aplicaciones.

La geotecnología, y su interfase específica para generar modelos de la realidad, se evidencia entonces como un campo específico de revalorización paradigmática de aquellas posturas que le han brindado principal sustento para su desarrollo (racionalismo y cuantitativismo), y de la totalidad de conceptos operativos que estas geografías han generado y han podido estandarizarse en el ambiente digital.

Campo interdisciplinario

La fragmentación sociocultural verificada en la actualidad genera un impacto notable como *historia externa* de nuestro campo disciplinario. Aunque existen importantes perspectivas interpretativistas y hermenéuticas que centran su discurso en la ambigüedad del lenguaje como elemento para captar la realidad, las modernas tecnologías proponen el uso de lenguajes altamente definidos, una estandarización rígida que posibilita el tratamiento de los datos geográficos al nivel de la integración de sistemas y de su difusión mundial, a través de las redes de información y comunicación.²⁷

27 La importancia del lenguaje en la comprensión del mundo actual puede comprobarse en una amplia lista presentada por Lyotard (1995), en la que se encuentran presentes muchas de las tecnologías digitales: cibernética, álgebras modernas, informática, lenguajes de programación, lenguajes de compatibilización entre sistemas, lenguajes de bases de datos, telemática y lenguajes de terminales inteligentes, entre otros. Esto lleva a apoyar la consideración de Wigley (1995), para quien, frente al interpretativismo postmoderno, el lenguaje y las formas de comunicación realizadas a través de las modernas tecnologías digitales debe ser más exacto y producir un cerramiento más estricto que el de las paredes sólidas.

Aspectos que tradicionalmente se tomaron para defender la especificidad del campo disciplinario como el objeto (la región de la geografía regional), el método (la construcción regional de la geografía racionalista), las dicotomías (la perspectiva matricial de la geografía cuantitativa) y las diversas escalas (la visión determinística económica del paradigma marxista) difícilmente pueden presentarse como propias, y particularmente con la aparición geotecnológica aparece una amplia franja interdisciplinaria con amplios bordes y notables posibilidades de ajustes en otras disciplinas.

Esta situación de la incorporación paulatina de conceptos geográficos en el ambiente geotecnológico hace que la Geografía traslade sus saberes al resto de las ciencias y diversas prácticas sociales. Aunque resulta evidente que es un desarrollo de las posturas geográficas que han podido automatizarse y que le dan sustento.

En este sentido, el desarrollo revalorizado de la geografía cuantitativa es el que permite un diálogo con otras ciencias al momento de compartir entre los/as usuarios/as del Sistema de Información Geográfica, y encontrar, a partir de este uso, bases en procedimientos geográficos comunes. Esta situación, según Dangermond (2004), presenta a los Sistemas de Información Geográfica como el lenguaje actual de la Geografía.

La estandarización y difusión de procedimientos geográficos a través del ambiente computacional no ha traído impactos menores en la actividad científica. En actividades de alto valor contextual ha posibilitado la aparición de un amplio sector de profesionales, usuarios/as provenientes de diferentes disciplinas, que apoyados/as en esta difusión tecnológica pueden “hacer geografía” sin tener conocimientos de la tradición subyacente al uso computacional, y aplican conceptos, métodos y técnicas estandarizadas, incorporadas en los Sistemas de Información Geográfica. De esta forma, aparece la geografía global como campo de aplicación generalizada.

En conclusión, y tomando sus características constitutivas, en Buzai (1999) queda evidenciado que la geografía global no es un paradigma de la Geografía, y que no ha aparecido un nuevo paradigma de la Geografía basado en la geotecnología, sino que es un “paradigma geográfico” que nuestra ciencia le ha brindado como visión del mundo a otras ciencias, que han comenzado a incorporar el componente espacial como dimensión constitutiva de sus estudios.

Formación Transdisciplinaria

Ciencias de la Información Geográfica

Al comenzar la década del noventa, los GIS (*Geographic Information Systems*) pasaron a ser GIS (*Geographic Information Science*) intentando darle mayor sustento a la base teórica de la tecnología desde una visión centrada en los sistemas de información hacia otra centrada en la ciencia, en la cual lo geográfico cumpliría un papel conceptual mayor. A partir de los trabajos realizados por el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA-UCSB)²⁸, las ciencias que intentan aplicar metodologías geográficas comienzan a considerar que los Sistemas de Información Geográfica como tecnología pueden aprovecharse en su verdadera potencialidad y sus resultados pueden interpretados correctamente solo si se le presta mayor atención a las ciencias que apoyaron su formación.

Es un camino que va desde la Geografía, hacia la perspectiva transdisciplinaria de las Ciencias de la Información Geográfica en la cual se presenta un amplio campo de discusión que va desde el mapa tradicional hasta una amplia gama de poderoso instrumental metodológico (Fitz, 2005), lo que Wright et al. (1997) habían vislumbrado como un *continuo* entre su posición de herramienta y su avance como ciencia ante la búsqueda y consolidación de su definición en una efectiva relación entre sus conceptos teóricos, algoritmos matemáticos, programas informáticos y el uso de computadoras para la mejor utilización de la información referenciada espacialmente (Bosque Sendra, 1999).

Entre los conceptos teóricos se destacan aquellos que son de base netamente operativa y que intentan resolver cuestiones propias de la representación del espacio geográfico, a través de la consideración de entidades posibles de ser trabajadas mediante métodos computacionales (raster, vector, *x-tree*, objetos), los algoritmos matemáticos y el uso computacional se refiere a la mejora de la eficiencia en cuanto a las metodologías de resolución a través de la búsqueda de procedimientos más eficientes y el desarrollo de los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial. Todo esto en una serie de líneas de aplicación que han crecido notablemente en la última década.

Disciplinas que tradicionalmente han basado sus estudios en datos

28 National Center for Geographic Information and Analysis, <http://www.ncgia.ucsb.edu>

geográficos, como la Cartografía, Geografía, Fotogrametría, Geodesia, Teledetección y Topografía, aportan para el crecimiento de un marco teórico transdisciplinario que se formaría básicamente desde las diferentes capacidades técnicas. En una segunda instancia se le suman aquellos campos basados en el formato digital, como las Ciencias de la Información, la Informática y la Geoinformática, que incorpora los Sistemas de Información Geográfica y el Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales. Todos ellos para combinarse con conocimientos de las ciencias básicas que utilizan datos geográficos.

Toda esta combinación tiene como resultado el surgimiento de una nueva disciplina separada de las ciencias que le dan origen y basadas en un punto de vista principalmente técnico, la Geografía quedaría diluida en una multiplicidad de campos con dicha orientación.

Ciencias sociales integradas espacialmente

Otro importante avance en materia de formación de campos transdisciplinarios es la aparición de lo que se ha denominado como Ciencia Social Integrada Espacialmente, a partir de los avances teórico-metodológicos realizados por el Center for Spatially Integrated Social Sciences (CSISS-U. Illinois)²⁹, al reconocerse un importante interés por la cuestión espacial por gran parte de las ciencias sociales y un esfuerzo realizado por un grupo de geógrafos/as con la finalidad de demostrar que el espacio podía actuar como dimensión integradora (Bosque Sendra, 2005 y Goodchild, 2004).

A diferencia de los postulados de la actual teoría social crítica propuesta por Giddens (1984), en la cual la geografía humana ocupa un lugar de poca relevancia frente a otras ciencias sociales de mayor tradición, aquí se trabaja para ubicar a la Geografía como *pívor* sobre el cual se relacionarían el resto de las ciencias sociales. El intento resulta reforzar el papel que actualmente desempeña el espacio geográfico en numerosas disciplinas geográficas que ven beneficiosa su consideración.

El espacio geográfico no como un marco de contención (espacio absoluto) sino como un elemento explicativo en estudios de diversas problemáticas actuales en diferentes escalas, problemas ambientales globales y del hábitat humano en redes regionales y desigualdades socioespaciales locales.

29 Center for Spatially Integrated Social Science, <http://www.csiss.org>

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen la principal capacidad tecnológica para estudiar estas situaciones y lograr la integración, y los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial como GeoDA (*Geographical Data Analysis*) creados por Luc Anselin del CSISS³⁰ estarían particularmente orientados a la tarea de realizar un análisis multivariado exploratorio, análisis de autocorrelación espacial y análisis de regresión múltiple con variables sociales integradas espacialmente, y en las cuales el concepto de *Distance Decay* (Disminución con la distancia) de la interacción humana produce ajustes en los resultados. Un avance en materia de *software* lo constituye GWR (*Geographically Weighted Regresión*)³¹, al permitir ajustar geográficamente la predicción global de la regresión múltiple.

Este avance técnico permite realizar una verdadera difusión del análisis espacial a través de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (Boots, 2000) hacia la totalidad de ciencias sociales, y particularmente los SADE incorporan concretamente los conceptos analizados en un avance de las técnicas cuantitativas en Geografía volcadas hacia los análisis locales con mejores detalles, a través niveles de resolución espacial (Fotheringham et al., 2000).

En síntesis, la iniciativa está dada para que los aspectos teóricos de integración tengan correlato con medios técnicos digitales en la línea de los SADE, para que puedan aplicar sin inconvenientes un enfoque espacial a través de sus variables sociales específicas.

Perspectivas futuras

Como se ha visto a lo largo de estas páginas, el impacto de las tecnologías digitales en nuestra ciencia ha sido notable, no solamente desde un punto de vista técnico, sino principalmente conceptual.

A partir de la necesidad de brindarle sustento teórico a estas aplicaciones surgen otras geografías (geografía automatizada y Cibergeografía), campos interdisciplinarios (Geoinformática y geografía global) y campos transdisciplinarios (Ciencias de la Información Geográfica y Ciencias Sociales Integradas Espacialmente). Todos ellos centrados en los conceptos de naturaleza espacial.

30 GeoDa, <http://www.csiss.org> (Spatial Tools / GeoDa)

31 GWR, <http://ncg.nuim.ie/ncg/GWR>

Como se ha visto, la Geografía Automatizada brinda nuevos horizontes al paradigma cuantitativo a partir de la revalorización de sus aplicaciones en el ambiente computacional, y la Cibergeografía abarca temáticas relacionados a los espacios virtuales producidos en el ciberespacio. Por su parte, la Geoinformática resulta de la combinación de *software* para el tratamiento de los datos espaciales y la geografía global tiene existencia cuando a través de los Sistemas de Información Geográfica se difunde una visión espacial al resto de las ciencias que hace uso de ellas. Finalmente, las Ciencias de la Información Geográfica, y las Ciencias Sociales Integradas Espacialmente aparecen como nuevas disciplinas, la primera con mayor orientación hacia la técnica y la segunda más teórica, aunque ambas generando nuevos cuerpos de conocimiento llevando a la dilusión de sus ciencias integrantes.

Queda evidenciado con claridad que la Geografía es la disciplina base de los Sistemas de Información Geográfica y que su correcto uso no surge a través del entendimiento de los manuales del usuario sino de la profunda comprensión de los procedimientos geográficos que se han automatizado y de los conceptos teóricos que los sustentan.

La geografía global ha sido un camino inevitable, en el que nuestra disciplina impacta en el resto de las ciencias. Los campos transdisciplinarios establecen una necesidad extra-geográfica para la cual muchos/as geógrafos/as han trabajado en la búsqueda de que la Geografía sea reconocida como centro de la integración.

Estas líneas de estudio que se han comenzado a perfilar desde la década del ochenta hoy se pueden ver de manera clara, y una vez más demuestran la amplitud y riqueza que tiene la Geografía como ciencia, ampliando sus alcances y nuevamente brindando bases para la generación de nuevas perspectivas.

Particularmente, en el uso de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica, independientemente de en base a cual de las perspectivas se realice la aplicación, el contar con bases geográficas sólidas brindará la posibilidad de darle mayor consistencia a los análisis. Al poner la atención en las tecnologías digitales, se puede afirmar que la revolución tecnológica se ha cumplido, la revolución intelectual está en marcha y la Geografía ocupa un lugar de privilegio en toda esta evolución.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, A. (2002). Ciudades como tableros de ajedrez. Introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares. Colegio de San Luis. San Luis, Potosí.
- Aguilera, A.; López, A. (2001). Modelado multiagent de sistemas socioeconómicos. Una introducción al uso de la inteligencia artificial en la investigación social. El Colegio de San Luis, San Luis, Potosí.
- Aneas, S. (1994). Potencial de Población y Geografía. En: Boletín de GAEA (Sociedad Argentina de Estudios Geográficos) 112, 25-27.
- Anselin, L., Kim, Y.W. & Syabri, I. (2004). Web-based analytical tools for the exploration of spatial data. In: *Geographical Systems* 6, 197-218.
- Arlinghaus, S. (1985). Fractals take a central place. In: *Geografiska Annaler*. 67B, 83-88.
- Batty, M. (2003a). Agent-Based Pedestrian Modelling. In: CASA Working Paper 61. UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. London.
- Batty, M. (2003b). Agents, Cells and Cities: New Representational Models for Simulating Multi-Scale Urban Dynamics. In: CASA Working Paper 65. UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. London.
- Batty, M. (2005a). *Cities and Complexity*. The MIT Press, Cambridge.
- Batty, M., Desyllas, J. & Duxbury, E. (2002). The Discrete Dynamics of Small-Scale Spatial Events: Agent-Based Models of Mobility in Carnivals and Street Parades. In: *CASA Working Paper 56*. UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. London.
- Batty, M. & Longley, P. (1994). *Fractal Cities*. Academic Press, London.
- Baxendale, C. (2000). Geografía y Planificación Urbana y Regional: una reflexión sobre sus enfoques e interrelaciones en las últimas décadas del siglo XX. En: *Reflexiones Geográficas* 9, 58-70.
- Benko, G. (1998). *La Ciencia Regional*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
- Berry, B. (1964). Approaches to Regional Analysis: A Synthesis. In: *Annals of the Association of American Geographers* 54 (1), 2-11.
- Berry, B. (1971). *Geografía de los centros de mercado y distribución al por menor*. Barcelona: Vicens-Vives.
- Boots, B. (2000). Using GIS to promote spatial analysis. In: *Geographical Systems* 2, 17-21.
- Bosque, J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid. Rialp.

- Bosque, J. (1999). La Ciencia de la Información Geográfica y la Geografía. *VII Encuentro de Geógrafos de América Latina* CD ROM. Universidad de Puerto Rico, San Juan.
- Bosque, J. (2005). Espacio Geográfico y Ciencias Sociales. En: *Investigaciones Regionales* 6:203-224.
- Bosque, J. y Moreno, A. (Eds.) (2004). *Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Madrid, Ra-Ma.
- Bunge, W. (1962). *Theoretical Geography*. Lund Studies in Geography. Ser. C. General and Mathematical Geography No.1. Department of Geography. The Royal University of Lund. C.W.K. Gleerup Publishers. Lund.
- Buttler, J. (1986). *Geografía Económica. Aspectos espaciales y ecológicos de la actividad económica*. México: Limusa.
- Buzai, G. D. (1993). Evolución espacial y distribución poblacional en el Gran Buenos Aires. En: *Geodemos* 1, 113-138.
- Buzai, G. D. (1999). *Geografía Global*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G. D. (2001). Perspectivas Digitales. Visiones espaciales y carta a los futuros usuarios de Sistemas de Información Geográfica. En: *Huellas* 6, 11-37.
- Buzai, G. D. (2003^a). *Mapas Sociales Urbanos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G. D. (2003b). Ciberespacio, nuevos lugares, nuevas posiciones. En: *Estudios Geográficos LXIV* (250), 112-120.
- Buzai, G.D. (2004). Escenarios alternativos para la localización de industrias de alta tecnología en el Partido de Luján. Una aplicación didáctica de evaluación multicriterio (EMC) con Sistemas de Información Geográfica (SIG). En: *Anuario de la División Geografía 2004*. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Luján. pp. 145-166.
- Buzai, G.D. (2007). Actualización de cálculos y distribuciones espaciales a través de cadenas de Markov y autómatas celulares: Pérdida de suelos en el área metropolitana de Buenos Aires – 2001. En: Matteucci, S. D. (ed.). *Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y Países Sudamericanos*. Buenos Aires: INTA. pp. 433-450.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (1997). La evolución del transporte. En: *AZ Diez* 3(128), 48-53.

- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (1998). Buenos Aires (1869-1991). La geometría urbana como representación de una historia económica y sociodemográfica. En: *Signos Universitarios XVIII* (34), 71-88.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2006a). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2006b). El crecimiento de la aglomeración de Buenos Aires (1869-2001). Su configuración espacial como representación de una historia económica y socio-demográfica. En Morina, J. O. (Ed.). *Neoliberalismo y problemáticas regionales en Argentina*. Universidad Nacional de Luján. pp. 259-296.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2007). Áreas de potencial conflicto entre uso del suelo. Identificación con Sistemas de Información Geográfica (Primera parte: Descripción Metodológica). En: *Fronteras 6* (6), 45-49.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2008). Áreas de potencial conflicto entre uso del suelo. Identificación con Sistemas de Información Geográfica (Segunda parte: Aplicación). En: *Fronteras 7* (7), 33-39.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2011). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica 2* tomos. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Buzai, G. D., Baxendale, C. A., Cruz, M. R. y González, J. (2003). Análisis Linkage de los patrones de localización socio-habitacional urbana: el caso de Luján. En: *Anuario de la División Geografía 2002-2003*. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Luján. pp. 151-178.
- Morello, J.; Buzai, G.D.; Baxendale, C.; Matteucci, S.D.; Rodríguez, A.; Casas, R. y Godagnone, R. 2000. Urbanization and the consumption of fértil land and other ecological changes: the case of Buenos Aires. In: *Environment & Urbanization 12*(2):119-131.
- Buzai, G. D.; Baxendale, C. A. y Mierez, A. (2003). Accesibilidad e interacción espacial: aportes del análisis espacial cuantitativo para su modelización regional. En: *Gerencia Ambiental 10*(95), 360-369.
- Buzai, G. D., Lemarchand, G. A. y Schuschny, A. (1997). La dimensión fractal de la aglomeración de Buenos Aires. Cálculo mediante aplicación de técnicas geoinformáticas. *GIS Brasil 97*. Versión CD. Curitiba: Sagres Editora.

- Buzai, G. D., Lemarchand, G. A. y Schuschny, A. (1998). Aplicación de la geometría fractal para el estudio del medio ambiente. En: Matteucci, S. D. y Buzai, G. D. (Eds.) *Sistemas Ambientales Complejos: herramientas de análisis espacial*. Buenos Aires: EUDEBA. pp.347-364.
- Calvo, J. L., Jover, J. M. y Pueyo, A. (1992). Modelos de accesibilidad y su representación cartográfica: las redes española y valenciana. *Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa*. Universidad de Zaragoza. pp. 59-74.
- Carr, M. H. y Zwick, P. D. (2007). *Smart Land-Use Analysis*. ESRI Press, Redlands.
- Castle, Ch. (2006). Developing a Prototype Agent-Based Pedestrian Evacuation Model to Explore the Evacuation of King's Cross St. Pancras Underground Stations. In: *CASA Working Paper 108*. UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. London.
- Castle, Ch. & Crooks, A. (2006). Principles and Concepts of Agent-Based Modelling for Developing Geospatial Simulations. In: *CASA Working Paper 110*. UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. London.
- Christaller, W. (1933). *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*. Jena. (Central Places in Southern Germany. Prentice Hall – Englewood Cliffs. New Jersey, 1966).
- Clarke, K. C., Hoppen, S. & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in San Francisco Bay Area. In: *Environment and Planning B* 24, 247-262.
- Cliff, A.; Ord, J. (1981). *Spatial Process: Models and Applications*. London: Pion.
- Cromley, R. G. (1983). Automated Geography: Some Problems and Pitfalls. In: *The Professional Geographer* 35(3), 340-341.
- Crooks, A. (2008). Constructing and Implementing an Agent-Based Model of Residential Segregation Through Vector GIS. In: *CASA Working Paper 133*. UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. London.
- Crooks, A., Castle, Ch. & Batty, M. (2007). Key Challenges in Agent-Based Modelling for Geo-Spatial Simulation. In: *CASA Working Paper 121*. UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. London.
- Dacey, M. F. (1970). Linguistic aspects of maps and geographic information. In: *Ontario Geography* 5, 71-80.

- Dangermond, J. (2004). Speaking the Language of Geography – GIS. In: *ArcNews* 26(3), 1-7.
- Dobson, J. E. (1983a). Automated Geography. In: *The Professional Geographer* 35(2), 135-143.
- Dobson, J.E. (1983b). Reply to Comments on “Automated Geography”. In: *The Professional Geographer* 45(4), 431-439.
- Dobson, J.E. (1993). The Geographic Revolution: A Retrospective on the Age of Automated Geography. In: *The Professional Geographer* 45(4), 431-439.
- Dodge, M. & Kitchin, R. (2001). *Mapping Cyberspace*. London: Routledge.
- Eastman, J. R., Kyem, P. A. K., Toledano, J. & Jin, W. (1993). *GIS and Decision Making*. United Nations Institute for Training and Research, Geneva.
- Fitz, P. (2005). Geografía ou Ciencia da Geoinformacao. *SIG-SUL 2005, Simposio integrado de geotecnologías do Cone Sul*. [versión CD ROM]. Centro Universitario La Salle, Canoas.
- Fotheringham, A. S., Brunson, Ch. & Charlton, M. (2000). *Quantitative Geography*. London: SAGE.
- Frankhauser, P. (1991). Aspects fractals des structures urbaines. In: *L'Espace Géographique* 1, 45-69.
- Gamba, J. C. (1969). *Theory and Application of Dynamic Synthetic Potential Models*. University of Pennsylvania. Faculty of the Graduate School of Arts and Science. (PhD Thesis), Pennsylvania.
- Gamba, J. C. (2004). *Potencial Dinámico-Sintético. Teoría y Aplicaciones*. Buenos Aires: Ediciones gamba_cyt.
- Gardner, H. (1995). *Estructuras de la mente*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Gibson, W. (1997). *Neuromante*. Minotauro. Barcelona.
- Giddens, A. (1984). *The Constitution of Society. Outline of the Theory of Structuration*. Polity Press. Cambridge.
- Gómez, M. y Barredo, J. I. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. México: Alfaomega Ra-Ma.
- Goodchild, M. (1992). Geographic Information Science. In: *International Journal of Geographic Information Systems* 6(1), 31-45.

- Goodchild, M. F. (1993). Geographical Information Sciences. In: *International Journal of Geographical Information Systems* 6(1), 31-45.
- Goodchild, M. F. (2004). Social Sciences: Interest in GIS Grows. In: *Arc-News* 26(1), 1-3.
- Haggett, P. (1967). Network Models in Geography. En Chorley, R. & Haggett, P. (Eds.) *Integrated Models in Geography*. London: Methuen. pp. 609-668.
- Haggett, P. (1977). *Análisis Locacional en Geografía Humana*. Gustavo Gili. Barcelona. [1965]
- Haggett, P. (1988). *Geografía: una síntesis moderna*. Barcelona: Omega.
- Hartshorne, R. (1939). The Nature of Geography: A critical survey of current thought in the light of the past. In: *Annals of the Association of American Geographers* 29, 173-658.
- Hartshorne, R. (1959). *Perspectives on the Nature of Geography*. Chicago: Rand McMillan.
- Hiernaux, D. (1996). Nuevas tecnologías y apropiación del territorio. En: *Ciudades* 32,3-9.
- IGM (2001). *Atlas de la República Argentina*. Instituto Geográfico Militar. Buenos Aires.
- Isard, W. (1958). *Location and Space-Economy*. The MIT Press, Cambridge.
- Isard, W. (1960). The Scope and Nature of Regional Science. In: *Papers and Proceedings of the Regional Science Association* 6, 9-34.
- Kao, R.C. (1963). The use of computers in the processing and analysis of geographic information. In: *Geographical Review* 53, 530-547.
- Kellerman, A. (1983). Automated Geography: What Are the Real Changes? In: *The Professional Geographer* 35 (3), 342-343.
- Khun, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago University Press, Chicago.
- Kraak, M. J. (2004). The role of the map in a Web-GIS environment. In: *Geographical Systems* 6, 83-93.
- Langran, G. (1992). *Time in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis.
- Li, X. & Yeh, A. (2000). Modeling sustainable urban development by integration of constrained cellular automata and GIS. In: *International Journal of Geographical Information Science* 14(2), 131-152.

- Longley, P. (2004). Geographical Information Systems: on modeling and representation. In: *Progress in Human Geography* 28(1):108-116.
- Lyotard, J. F. (1995). *La Condición Posmoderna*. Buenos Aires: Rei.
- MacHargh, I. (1969). *Design with Nature*. New York: Natural History Press.
- Makse, H. A., Havlin, H. & Stanley, H. E. (1995). Modelling urban growth. In: *Nature* 277, 608-612.
- McLafferty, S. (2004). The Socialization of GIS. *Cartographica* 39 (2), 51-53.
- Marble, D. & Peuquet, D. (1983). The Computer and Geography: Some Methodological Comments. *The Professional Geographer* 35(3), 343-344.
- Marble, D. & Peuquet, D. (1993). The Computer and Geography: Ten Years Later. In: *The Professional Geographer* 45(4), 446-448.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Medronho, R. A. (1995). *Geoprocessamento e Saúde. Uma nova abordagem do espaço no processo Saúde Doença*. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz.
- Méndez, R. (2008). *Geografía Económica. La lógica espacial del capitalismo global*. Barcelona: Ariel.
- Miller, P. (2007). Teoría de los enjambres. In: *National Geographic* 21(1), 40-61.
- Moellering, H. & Stetzer, F. (1983). A Comment on Automated Geography. In: *The Professional Geographer* 35(3), 345-346.
- Monmonier, M. (1983). Comments on "Automated Geography". In: *The Professional Geographer* 35(3), 346-347.
- Monmonier, M. (1990). Strategies for the visualization of geographic time-series data. In: *Cartographica* 27(1), 30-45
- Moreno Jiménez, A. y Buzai, G. D. (eds.) (2008). *Análisis y planificación de servicios colectivos con Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: AECID.
- Nora, D. (1997). *La Conquista del Ciberespacio*. Santiago: Editorial Andrés Bello.
- Olsson, G. (1965). *Distance and Human Interaction. A Review and Bibliography*. Regional Science Research Institute, Philadelphia.

- O'Sullivan, D.; Unwin, D. (2003). *Geographic Information Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Peet, R. (1977). The development of radical geography in the United States. *Progress in Human Geography* 1(2), 240-263.
- Peterson, I. (1996). The shapes of cities: mapping out fractal models of urban growth. In: *Science News* 149, 8-9.
- Peuquet, D. (1990). A conceptual framework and comparison of spatial data modelos. En: Marble, D.; Peuquet, D. (Eds.) *Introductory readings in Geographic Information Systems*. London: Taylor & Francis. pp. 250-285.
- Peuquet, D. J. (1994). It's About Time: A conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems. In: *Annals of the Association of American Geographers* 84(3), 441-461.
- Peuquet, D. J. (2002). *Representations of Space and Time*. New York: The Guilford Press.
- Pickles, J. (1993). Discourse on Method and the History of Discipline: Reflections on Dobson's 1983 Automated Geography. In: *The Professional Geographer* 45 (4), 451-455.
- Pickles, J. (Ed.) (1995). *Ground Truth. The social implicancies of Geographic Information Systems*. New York: The Guilford Press. (Chapter 1: Representations in an Electronic Age. Geography, GIS and Democracy, pp. 1-30).
- Pickles, J. (1997). Tool or Science? GIS, Technoscience, and the Theoretical Turn. In: *Annals of the Association of American Geographers* 87(2), 363-372.
- Polése, M. (1998). *Economía Urbana y Regional. Introducción a la relación entre territorio y desarrollo*. Cartago: Libro Universitario Regional.
- Polidori, M. (2004). *Crescimento urbano e ambiente. Um estudo exploratório sobre as transformacoes e o futuro da cidade*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Poiker, T.K. (1983). The Shining Armor of the White Knight. In: *The Professional Geographer* 35(3), 348-349.
- Ratzel, F. (1882). *Anthropogeographie*. Vol.1. *Grundzüge der Anwendung der Geographie auf die Geschichte*. Engelhorn. Stuttgart.

- Ratzel, F. (1891). *Anthropogeographie*. Vol. 2. *Die Geographische Verbreitung des Menschen*. Engelhorn. Stuttgart.
- Relph, E. (1976). *Place and Placeness*. London: Pion.
- Rey, R. C. (1973). *Geografía Regional. Teoría y Aplicación*. Buenos Aires: Estrada.
- Sánchez, D. C. (1991). El problema de la forma y el tamaño de las unidades políticas subprovinciales en la Argentina. En: *Análisis Geográfico* 3(6), 41-55.
- Sánchez, D. C. (1998). Teoría de grafos aplicada a redes naturales y antrópicas. En: Matteucci, S.D.; Buzai, G.D. (Comp.). *Sistemas Ambientales Complejos: Herramientas de Análisis Espacial*. Buenos Aires: Eudeba. pp. 321-345.
- Schaefer, F.K. (1953). Excepcionalism in Geography: A methodological examination. In: *Annals of the Association of American Geographers* 43, 226-249.
- Sheppard, E. (1993). Automated Geography: What Kind of Geography for What Kind of Society. In: *The Professional Geographer* 45(4), 457-460.
- Sorre, M. (1947-1948). *Les fondements de la géographie humaine*. A. Colin. París (3 tomos) (versión castellano: Los fundamentos de la Geografía Humana. Tomo I. Juventud. Barcelona, 1955).
- Stewart, J. (1956). The development of social physics. In: *American Journal of Physics* 18, 239-253.
- Sui, D. Z. & Goodchild, M. F. (2001). GIS as media? In: *International Journal of Geographical Information Science* 15(5), 387-390.
- Toudert, D. y Buzai, G. D. (2004). *Cibergeografía*. Mexicali: Ediciones de la Universidad Autónoma de Baja California.
- Tuan, J. F. (1977). *Space and Place*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Varenius, B. (1974). *Geografía General en la que se explican las propiedades generales de la Tierra*. Ediciones de la Universidad de Barcelona.
- Wark, M. (1994). *Virtual Geography. Living with global media events*. Indiana University Press, Bloomington.

- 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.
- Wigley, M. (1995). La deconstrucción del espacio. En Fried Schnitman, D. (Ed.). *Nuevos paradigmas, cultura y subjetividad*. Buenos Aires: Paidós. pp. 235-257.
- White, R. & Engelen, G. (1993). Cellular Automata and Fractal Urban Form: A Cellular Modeling Approach to the Evolution of Urban Land-Use Patterns. In: *Environment and Planning A*. 25, 1175-1199.
- White, R. & Engelen, G. (1994). Urban systems dynamics and cellular automata: fractal structures between order and chaos. In: *Chaos, Solitons, and Fractals* 4, 563-583.
- White, R., Engelen, G. & Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land-use dynamics. In: *Environment and Planning B*. 24, 323-343.
- Windelband, W. (1970). *Historia General de la Filosofía*. Buenos Aires. El Ateneo.
- Wright, D., Goodchild, M. F. & Proctor, J. D. (1997). GIS: tool or science? In: *Annals of the Association of American Geographers* 87(2), 346-362.
- Witten, T. A. & Sander, L. M. (1981). Diffusion-limited aggregation: a kinetic critical phenomenon. In: *Physical Review Letters* 47, 1400-1403.
- Xie, Y. & Sun, Z. (2000). *Dynamic Urban Evolution Model Based on Cellular Automata*. Ypsilanti: Igre.
- Zipf, G. K. (1946). The P_1P_2/D hypothesis: on the intercity movement of persons. In: *American Sociological Review* 11, 677-686.
- Zipf, G. K. (1949). *Human behavior and the principle of last effort*. New York: Hafner.
- Zorbaugh, H. W. (1974). Las áreas naturales de la ciudad. En: Theodorson, G.A. (Ed.) *Estudios de Ecología Humana*. (Tomo 1). Barcelona: Labor. pp. 83-91.