



Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 12, Número 18, 2020, Sección I: Artículos. pp. 1-18

CINCUENTA AÑOS DE LA PRIMERA LEY DE TOBLER: REVISIÓN DE SUS APORTES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS A LA CIENCIA GEOGRÁFICA

Juan Pablo Celemín

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
(UNCPBA/CONICET)

jpcelemín@conicet.gov.ar

RESUMEN

En el año 2020 se cumplen cincuenta años de la enunciación de la Primera Ley en Geografía o la Primera Ley de Tobler que ha realizado importantes aportes tanto en los aspectos teóricos como prácticos de la disciplina geográfica. Su aparición ha generado amplios debates conceptuales en la Geografía que continúan hasta la actualidad. Es innegable la importancia de este principio en el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica y en la autocorrelación espacial. En este marco el presente trabajo resalta la importancia del tema a partir de una rigurosa revisión bibliográfica que rescata los dichos de los investigadores directamente involucrados en el tema, lo contextualiza temporal y conceptualmente y destaca su significancia en la discusión teórica de la Geografía y en su parte práctica, en particular con la autocorrelación espacial y en los SIG.

Palabras clave: Primera Ley en Geografía, Geografía, Sistemas de Información Geográfica, autocorrelación espacial, revisión bibliográfica.

ABSTRACT

The year 2020 marks the 50th anniversary of the enunciation of Tobler's First that has contributed to the discussion of the theoretical and practical aspects of the geographical discipline. Its appearance has generated broad conceptual debates in Geography that continue to the present. The importance of this principle in the development of Geographic Information Systems and in the spatial autocorrelation is undeniable. In this framework the present work highlights the importance of the subject from a rigorous bibliographical review that recovers the sayings of researchers directly involved on this subject, contextualizes it temporally and conceptually and highlights its significance in the theoretical discussion of Geography and its practical relevance, in particular with spatial autocorrelation and GIS.

Keywords: First Law in Geography, Geography, Geographic Information System, spatial autocorrelation, bibliographic review.

INTRODUCCIÓN

“Todas las cosas están relacionadas, pero las cercanas están más relacionadas que las distantes”^{1,2}

El enunciado se originó en un trabajo de Tobler publicado en el año 1970 que simulaba mediante el uso de ordenadores el crecimiento urbano de la ciudad de Detroit. En dicho estudio, Tobler creó un modelo simple que tiene una alta generalidad (aplicabilidad a otras ciudades además de Detroit), un alto poder explicativo (replicaba los procesos históricos de crecimiento de la población en la ciudad de Detroit) y que simulaba el cambio futuro de la población en Detroit (verificable, pero solo con cada censo posterior) (Waters, 2016). Estas tres características (replicabilidad, poder explicativo y verificación) hicieron que en muchos sectores académicos anglosajones se la conociera como la Primera Ley en Geografía o la Primera Ley de Tobler (*Tobler's First Law*, TFL, en inglés). En este sentido, Randle (1978:73) enuncia que la ciencia llama ley convencionalmente a toda conformidad de casos a una regla de tipo general. En las ciencias no enteramente experimentales el nombre de ley puede resultar conflictivo. En Geografía ha de decirse que es posible formular algunas conformidades o reglas de tipo general, bien que habitualmente no se las rotule como leyes. Asimismo, cabe aclarar que todavía sigue vigente el debate, incluso entre las personalidades involucradas con la formulación y análisis del enunciado. Así, según el mismo Tobler (2004), a la vez que algunos rechazan la presencia de leyes en la Geografía, otros investigadores creen lo contrario. Además, sostiene que la discusión nunca hubiera tenido lugar si la palabra ley no hubiese sido utilizada y acepta que no puede haber leyes donde el comportamiento humano esté involucrado.

Tobler deja claro que su conceptualización del término ley está influida por un físico, Richard Feynman quien argumenta que una ley no es más que una conjetura educada acerca de cómo funciona la naturaleza y que provee predicciones que pueden ser comparadas con la realidad (Sui, 2004).³ Asimismo, Tobler sostiene que su afirmación debe estar sujeta a tres conceptos que son discutibles: (i) ¿Qué define una ley y cumple TFL la definición? (ii) ¿Es cierto que "todo está relacionado"? (iii) ¿Cómo se debe definir "cerca"? (Waters, 2016). Por lo tanto, la discusión puede seguir abierta dada las distintas interpretaciones que se pueden hacer sobre esos interrogantes. Por otra parte, su alta capacidad de replicabilidad (universalidad del concepto) ha favorecido un amplio rango de estudios con componente espacial que utilizan este principio por parte de distintas disciplinas y temas en los cuales se explicita la TFL. Entre los más recientes, se puede mencionar el caso del turismo (McKercher y Mak, 2019); la agricultura (Xu et

¹“Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things” (Tobler, 1970: 236).

² En algunos casos se incluyen como notas al pie las expresiones originales en inglés para que los lectores puedan leer las palabras textuales de los actores relevantes en este tema y minimizar, en lo posible, las interpretaciones distintas que puedan surgir de las traducciones.

³ Tobler first makes it clear that his conceptualization of a law is influenced by physicist Richard Feynman, who argued that a law is nothing but an educated guess on how nature works, providing predictions that can then be compared with reality (Sui, 2004:270).

al., 2019); la inequidad digital (Lucendo-Monedero y Ruiz Rodríguez, 2019); salud y economía (Wende, 2019); contaminación (Liu et al, 2018); ecología (Zhang et al., 2017) y control de plagas (Guedes, 2017); entre otros que demuestran la capacidad de la TFL para abordar empíricamente diferentes problemas.

La afirmación de que las cosas cercanas son similares tiene gran cantidad de precedentes. Tal vez lo que hace única a esta noción es que la aseveración es denominada ley. El hecho de que las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes es una propiedad fundamental de la Geografía y es bastante fácil de explicar (Tobler, 2004).⁴ Luego de la enunciación de la TFL, el principio pasó inadvertido en la literatura geográfica durante las década del setenta y del ochenta. El crecimiento y desarrollo de los SIG en los noventa, gradualmente, le trajo nueva popularidad tanto dentro como fuera de la disciplina. Como afirma Goodchild (2008a)⁵ las consecuencias del principio en el diseño de los Sistemas de Información Geográfica son profundas. Si no fuera cierto, algunos métodos como la interpolación espacial, tan útil en la elaboración de Modelos Digitales de Terreno, serían imposibles de realizar. Consecuentemente, no habría ningún fundamento para suponer que el terreno podría ser representado como una malla de triángulos (los TIN - *Triangulated Irregular Network*-, en este caso) o que los puntos con características similares pueden ser agrupados en polígonos. Se puede ir más allá y sostener que un mundo sin este fundamento sería imposible de conocer o describir dado que cada punto sería independiente de su entorno más inmediato.

La TFL dada su simplicidad, nunca fue expresada de forma matemática por el autor, es por ello que, según sostiene Goodchild (2004), si fuera fundamentada de una manera formal sería tomada más en serio, pero a la vez la haría menos accesible. Por ejemplo, podría decirse que para cada variable geográfica (una función de ubicación $z = f(\mathbf{x})$) alguna distancia d bajo la cual la covarianza se incrementa monótonicamente, o que existe al menos una escala para la cual la autocorrelación espacial es positiva. Consiguientemente, la formalización hubiera enfrentado la reticencia hacia la TFL dándole al principio mayor jerarquía pero, al mismo tiempo, reduciría su accesibilidad y encanto y, no obstante de su simpleza, como principio general subyace en el diseño de

⁴...some reject the idea of “laws” in geography, and others feel that my notion has been of some merit (...) that this discussion would never have taken place if the specific word law had not been used. I am a great believer in simplicity, when this is possible. For example, the point in science is to achieve as many results as possible with the fewest hypotheses. So, in order to simplify the problem of depicting the growth of population in the Detroit region, I tried to eliminate complicating factors. This is when I invoked “the first law of geography: everything is related to everything else but near things are more related than distant things.”(...) One, like many social scientists, believes that there are not, and cannot be, any such thing as laws where human behavior is involved (Tobler, 2004: 304) (...) the assertion about near things being similar also has lots of precedents. Perhaps what is unique is that I put these two things together and called the result a “law.” The fact that near things are more related than distant things seems a fundamental property of geography and rather easily explained (Tobler, 2004: 308).

⁵ The consequences of Tobler's First Law (TFL) for GIS design are profound. If it were not true, and nearby things were as different as distant things, then all forms of spatial interpolation would be impossible, along with the derivative processes of contour mapping and resampling. All advanced GIS data structures would be impossible, since there would be no basis for assuming that terrain could be represented as a mesh of triangles, or that points with similar characteristics could be grouped into polygons. One can go further and argue that a geographic world without TFL would be impossible to learn about or describe, since every point would be independent of its most immediate surroundings (Goodchild, 2008b:12).

los SIG.⁶

CONTEXTO HISTÓRICO Y CONCEPTUAL PARA LA APARICIÓN DE LA TFL: CRÍTICAS Y RECONOCIMIENTO

La importancia de este enunciado no se puede explicar sin reconocer la relevancia que tuvo la revolución cuantitativa en la Geografía, cuyo epicentro se registró en los Estados Unidos a mediados del Siglo XX. El cambio significó la aparición de un nuevo paradigma al que Haggett (1994) define como una especie de supermodelo que proporciona normas intuitivas o inductivas respecto a los tipos de fenómenos que los científicos deben investigar. A pesar del transcurso de los años y del marcado perfeccionamiento de nuevas tecnologías, muchos de los postulados de la “Nueva Geografía” están vigentes, principalmente, por el uso y desarrollo de los SIG. Igualmente, muchas de las críticas que recibió el nuevo enfoque se reavivaron con el creciente interés por estas herramientas, especialmente a principios de la década del noventa.

Como postulan varios autores (Estabanéz y Bradshaw, 1978; Capel, 1981; Haggett, 1994; entre otros) la Geografía Cuantitativa se apoya y fundamenta su razón de ser y sus métodos en el positivismo lógico que considera a la lógica formal y a la matemática, así como la evidencia de los sentidos como las únicas fuentes seguras de conocimiento y se oponen a todo tipo de fenómenos no verificables. La principal diferencia entre el positivismo determinista del siglo XIX y el nuevo positivismo es el rechazo de una interpretación determinista y causal entre la relación de fenómenos. Así aparecen las nociones del espacio relativo y las leyes de probabilidad (Estebanéz, 1984:75). El surgimiento del nuevo paradigma coincide con tendencias similares de crisis y cambio en otras disciplinas, especialmente dentro del campo de las ciencias sociales.

La base común de estas nuevas perspectivas es el retorno a un neopositivismo filosófico, es decir, se reivindica un único método científico válido para todas las ciencias con independencia de su objeto de estudio, relativiza los procedimientos cualitativos frente a los cuantitativos y destaca la importancia del método hipotético deductivo. Asimismo, el paradigma enfatiza la búsqueda de leyes y la construcción de modelos y remarca la importancia que poseen para interpretar la complejidad presente en la realidad. Aunque sus modelos son un punto de apoyo para la capacidad de entendimiento y fuente de hipótesis, no transmiten toda la realidad, pero sí ciertamente una parte útil y de fácil comprensión. Los mismos parten del mundo real para luego ser icónicos, después analógicos y finalmente matemáticos. Esta evolución conlleva una disminución del realismo y un aumento en la abstracción (Haggett, 1994).

Estandarizar el pensamiento y la acción al lenguaje matemático le permite encontrar formas de dialogar con otras disciplinas, favoreciendo el accionar interdisciplinario sobre la base de la aplicación empírica. Además, se obtiene mayor nivel de objetividad

⁶ TFL is stated in a charmingly informal way, and one wonders if it would be taken more seriously if it were formalized, and made a little less accessible. It might state, for example, that for every geographic variable (a function of location $z = f(\mathbf{x})$) there exists some distance d under which covariance is monotonically increasing – or that there exists at least one scale for which spatial autocorrelation is positive. Formalization might address some of the reluctance to give TFL greater stature; but at the same time it would reduce both its accessibility and its charm (...) As a general principle, TFL underlies many aspects of GIS design (Goodchild, 2004: 302).

al poder reproducir los procedimientos implementados y obtener resultados parecidos, sin dejar de lado la subjetividad propia de cada investigador.

La “Nueva Geografía” aparece en los Estados Unidos en la década del cincuenta apoyándose filosóficamente en el artículo de F.K. Schaefer *Excepcionalismo en Geografía*. Publicado en la revista *Annals of the Association of American Geographers* en el año 1953 responsabiliza al excepcionalismo por el grado poco satisfactorio en el que se encuentra la disciplina. El hacer de la Geografía una ciencia única y excepcional, incapaz de formular leyes, hace que carezca de un cuerpo conceptual adecuado. Schaefer abogaba por una Geografía estandarizada, en cuanto a los métodos, con el resto de las ciencias y que posea por objetivo fundamental la formulación de leyes que expliquen la distribución espacial de ciertos fenómenos sobre la superficie de terrestre. De esta manera, busca romper con la visión imperante impuesta por Kant donde la Historia y la Geografía eran excepcionales, en el sentido de que ambas estudian fenómenos heterogéneos, que además son irrepetibles y únicos, bien en el tiempo o en el espacio. Lo característico de estas ciencias es que se enfrentan con el problema de explicar lo único y, por consiguiente, no pueden tratar de buscar leyes, dado que éstas no existen para lo único.

Hasta entonces la Geografía se encontraba dominada por esa visión descriptiva que enfatizaba las propiedades únicas de los lugares, mientras que el nuevo paradigma sostenía que se la podía situar dentro de un modelo que se enfocara en elaborar y replicar métodos objetivos que definieran regiones, basados en evidencia estadística y no en impresiones subjetivas. Es por ello que Schaefer sostenía en su artículo que la renuncia a la averiguación de leyes y la resignación a la simple descripción y comprensión de los fenómenos le asignaba a la Geografía un carácter no científico.

No obstante, el principal legado de la nueva corriente fue la propagación de técnicas de análisis cuantitativo sobre las bases teóricas que solo preocuparon a algunos geógrafos como W. Bunge (Estebanez 1984: 89) cuya obra *Theoretical Geography*, publicada por primera vez en 1962, continuó los postulados de Schaefer y amplió las bases teóricas de la Geografía Cuantitativa afirmando que la ciencia geográfica debía cumplir ciertas normas entre las que se encontraban claridad, simplicidad, generalidad y exactitud.

Para Bunge, el más importante debate intelectual en la Geografía de finales de la década del cincuenta y principios de la del sesenta era entre la perspectiva nomotética e idiográfica de la ciencia. La primera posición sostiene que los resultados son de valor sólo cuando son generales, aplicables por igual en todos los lugares en tiempo y espacio. Por tanto, para el autor, la ciencia es intrínsecamente nomotética y la Geografía es una ciencia. Su éxito sería medido estrictamente por el número de principios generales que descubriese, dentro de su rango de conocimientos. La posición idiográfica sostiene que la descripción posee un valor intrínseco, sobre todo si se lleva a cabo de acuerdo con ciertos principios científicos. Sin embargo, esta posición era rechazada, argumentando que llevaría a la Geografía a ser una ciencia marginal. Posteriormente, las bases filosóficas de la perspectiva neopositivista fueron sistematizadas en la primera parte del libro de Abler, Adams, y Gould (1972) *Spatial Organization* donde consideran que el objetivo principal de la ciencia, ejemplificada en la figura de un triángulo, es la resolución de problemas. En ese modelo geométrico, en la base se encuentran un conjunto de problemas, a continuación, los encargados de resolver los más urgentes con las herramientas y conceptos usuales, siendo los profesionales los más numerosos, y por último se hallan, en menor cuantía, los que

dedican su tiempo a la mejora de métodos y técnicas. Sin embargo, en la Geografía, abundan más los metodólogos y epistemólogos que los profesionales practicantes que direccionen sus estudios a la solución de las problemáticas existentes (Estebanez, 1984:77).

El proceso de revolución paradigmática surgió en unos pocos centros innovadores, destacándose la Universidad de Washington (Seattle, Estados Unidos) con una camada de geógrafos jóvenes entre los que se destacan W. Bunge, B. Berry, A. Getis y W. Tobler. Otra influencia destacable provino de la Escuela de Ecología Humana de Chicago que en las décadas del veinte y treinta del siglo XX elaboró una serie de modelos que vinculaban la organización social a la estructura espacial de las ciudades.

En esos años se sentaron los primeros fundamentos esenciales, particularmente, los vinculados a las entidades geográficas (los puntos, las líneas y las áreas). Se hacía referencia a Hägerstrand por los modelos de difusión que rompían con la tradición regional al unir el tiempo y espacio como un único proceso; a Bunge con las entidades; a Ullman, con la interacción espacial; y a Garrison y Nystuen, con la topología, entre otros, como los teóricos precursores de los Sistemas de Información Geográfica. Bryan Berry es una figura central en este proceso, pues con el desarrollo de las estadísticas aplicadas logra integrar el concepto de una base de datos de atributos a las entidades geográficas, sentando la plataforma para la creación del formato vectorial. Por su parte, Hägerstrand había perfeccionado la estructura de retícula que luego sirvió de base al desarrollo de los sistemas *raster*. Casi todo este devenir tuvo lugar en la década de los sesenta cuando el uso de la computación era incipiente a niveles académicos. Por último, en el Reino Unido la “Nueva Geografía” se estableció por medio de la Universidad de Bristol en la que confluyeron Haggett, Chorley y Harvey, D. permitiendo afianzar definitivamente el nuevo modelo en Europa.

En todo paradigma, en algún momento comienzan a surgir las primeras críticas y propuestas alternativas. El eje común de las críticas hacia la revolución cuantitativa fue su asociación con la filosofía neopositivista. Se criticará el excesivo formalismo, su reduccionismo fisicalista y la obsesión por buscar leyes y construir teorías generalizadoras. Los disensos convergieron en torno a las opciones de la Geografía Radical y la Geografía Humanista que señalaban que el enfoque cuantitativo se había convertido en un fin en si mismo, donde el dominio de las técnicas estadísticas engendró una profusión de libros y cursos sobre técnicas cuantitativas para geógrafos alejada de las problemáticas de esos tiempos. Es por ello que remarcaban que el paradigma cuantitativo era incapaz de aportar soluciones a muchos de los problemas sociales, económicos y ambientales de finales de los años sesenta.

Sin embargo, a pesar de que la “Nueva Geografía” entró en un período de marginalización a principios de la década siguiente, tomó impulso para resurgir con fuerza con los SIG, para coexistir con los paradigmas que le continuaron. En la actualidad, en la disciplina geográfica conviven numerosos enfoques, sin una teoría unificada en la que se encuentran una mezcla de escuelas e ideas coexistentes en competencia. Por ejemplo, en cada nuevo paradigma, el espacio geográfico ha sido tratado de diferentes maneras. En sintonía con esta evolución se generaron las concepciones del espacio concebido, espacio percibido y espacio vivido. Esta característica, difícil de encontrar en otras disciplinas, ha creado un campo muy fértil para las discusiones teóricas y metodológicas, pero, en contraparte, resultó en menos trabajos que se apoyen en la investigación empírica.

La revolución cuantitativa es parte fundamental del progreso de los SIG, pero el propio curso de este enfoque paradigmático ha sido alterado por ellos ya que revitalizaron un enfoque disciplinar que estaba en peligro de desaparecer. Es decir, que los SIG revivieron las técnicas cuantitativas que habían alcanzado límites disciplinarios. Por ejemplo, los tipos de métodos de análisis espacial que se elaboraron en los últimos años de la década del setenta y principios de los ochenta se estaban convirtiendo en algo muy abstracto. Existía la idea de que porque se publicaron artículos sobre el tema finalmente se utilizarían, pero siendo realistas, no había posibilidad de que eso ocurriera. Por el contrario, sucedió lo opuesto: con el advenimiento de los SIG se reestableció la importancia de la simplicidad e intuición en la exploración sobre las rígidas técnicas confirmatorias de hipótesis (Schuurman citando a Goodchild, 1999).⁷ Esta postura es acompañada en la actualidad ya que para la Geografía, los SIG son lo más relevante que le ha ocurrido en los últimos años tanto desde el punto académico como profesional (Ruiz i Almar, 2019).

Los SIG recibieron críticas por sus raíces parciales en la revolución cuantitativa por parte de geógrafos radicales y humanistas. Pero trabajo que recopiló detalladamente esas posturas fue el libro de Pickles, *Ground Truth*, publicado en el año 1995 que suscitó gran debate dentro de la disciplina. En sus páginas se apuntan varias debilidades, en particular el beneficio que les reporta a aquellos que tienen acceso a la herramienta (usualmente los poderosos) y sus aplicaciones militares. Asimismo, les reprocha ser funcionales a los procesos sociales imperantes enmarcando la discusión en torno de una mucho más antigua y compleja entre las ciencias sociales y físicas: la preocupación acerca de cómo la ciencia y la tecnología (en este caso, la ciencia espacial y los SIG) son herramientas de opresión en la sociedad moderna sobre la base de los preceptos de la teoría crítica surgida en la década del treinta del siglo XX en la Escuela de Frankfurt. Epistemológicamente, los SIG fueron vistos por muchos como un caballo de Troya para la reafirmación de los enfoques positivistas dentro de la Geografía Humana, debido a su naturaleza cuantitativa y empírica (Sheppard, 2001). Políticamente, sus críticos, sostuvieron que el aumento de su utilización incrementaría las actuales desigualdades sociales y espaciales dado que los actores sociales tienen un acceso desigual a ellos; en otras palabras, se ampliaría la brecha digital.

La respuesta no se hizo esperar por parte de sus usuarios quienes afirmaban que los SIG son una colaboración entre la mente humana y la máquina, en un contexto social determinado. Entre muchos de sus usuarios y diseñadores se cree que la tecnología puede modelar la realidad y que, a su vez, puede ser utilizada para predecir y explicar procesos sociales. También se reconocen sus limitaciones como, por ejemplo, la dificultad de incorporar datos sociales no convencionales, tal es el caso de las percepciones subjetivas (Bosque Sendra, 1995).

⁷ [GIS] has reinvigorated something that was in danger of being moribund. To take an example, the kinds of methods of spatial analysis that we were developing in the late 70s and early 80s represented by geomathematical analysis were becoming very abstract and abstruse. We propounded the notion that because they were being published they would eventually be used, but realistically there was no prospect that that would ever happen. GIS came along and initially the notion was that it would allow us to implement those methods and make them easier to use and so finally they would be usable. In practice what has happened is quite the opposite. GIS has re-established the importance of intuition and simplicity of exploration over those very hard-core confirmatory hypothesis-testing techniques (Goodchild en Schuurman, 1999b, s/p). La autora recopiló y analizó el debate de los SIG en varios artículos. En dos de ellos, *Lessons in constructing a science: promises and pitfalls of GIS* y *Trouble in the heartland: GIS and its critics in the 1990s*, incluye entrevistas con los protagonistas de la discusión.

Además, los especialistas de SIG encontraron las críticas simplistas y pesimistas, en un marco de falta de comprensión y experiencia con estos instrumentos y / o una falta de paciencia o de aptitud para los rigores de la ciencia. También importunaba la implicación de que sus usuarios son indiferentes a las cuestiones sociales e ignorantes de las implicaciones sociales de la ciencia y la tecnología. Asimismo, destacaban las oportunidades que los SIG les brindan a los geógrafos para participar en otras disciplinas y que los críticos estaban motivados no sólo por una búsqueda de la integridad epistemológica, sino también por un deseo de mantener la autoridad disciplinaria. En definitiva, los profesionales de los SIG enfatizan que las tecnologías comprenden más que los programas, dado que reflejan un cambio social que no puede ser contenido dentro de la Geografía. Por último, se identifica una cuestión fundamental: un poco de conocimiento de los SIG es fundamental para hacer frente a sus limitaciones (Schuurman citando a Openshaw, 2000)⁸ y sus usuarios las conocen y divulgan más que sus detractores.

Si los geógrafos no hubiesen explorado las posibilidades de la manipulación digital de los datos espaciales, otras disciplinas hubieran iniciado el proceso. Hoy en día, mientras los geógrafos siguen debatiendo el papel y el valor de los SIG, otras disciplinas como la Ingeniería y la Arquitectura desarrollan programas de SIG (Kemp en Schuurman, 1999).⁸ Además, los SIG son claramente una tecnología social en el sentido de que pueden reflejar e incluso establecer lineamientos de política institucional (Schuurman, 2002).⁹

Esta relación dialéctica tiene su impacto en la sociedad y puede ser positivo o negativo, dependiendo de quién lo esté utilizando, ya que la tecnología es un proceso social y, como tal, las personas tienen la responsabilidad de colaborar con las nuevas tecnologías con el fin de asegurarse de que no se cometan injusticias sociales.

El crecimiento de las tecnologías ha conducido a una masiva divulgación de métodos espaciales y a una mayor valoración de la disciplina geográfica. Es en los SIG donde, en muchos aspectos, los datos espaciales encuentran relevancia social a partir de investigaciones que son consideradas en la política y en la toma de decisiones. Es uno de los aspectos que hace que se ubiquen al borde de la ciencia, en una zona gris entre la precisión objetiva del pensamiento científico y el vago y subjetivo mundo del discurso humano. Ello le trae enormes beneficios potenciales por su capacidad para relacionarse con el público en general y con la toma de decisiones, pero, al mismo tiempo, presenta riesgos en su uso indebido y mala interpretación (Goodchild y Haining, 2004).¹⁰

En 1993, J. Dobson escribió un entusiasta artículo denominado *Automated Geography* donde en un tono optimista destaca la versatilidad de las técnicas automatizadas (SIG, teledetección, gráficos por computadora), señalando su utilidad tanto en estudios nomotéticos como idiográficos en el campo de la Geografía Humana (Schuurman

⁸ Today, while geographers continue to debate the role and value of GIS, Engineering, Surveying and Landscape Architecture schools are developing full GIS programs (Kemp en Schuurman, 1999a, s/p).

⁹ GIS is clearly a social technology in the sense that it both reflects and can direct institutional policy (Schuurman, 2002:77).

¹⁰ In this and other respects GIS lies at the edge of science, in the grey area between precise, objective scientific thinking and the vague, subjective world of human discourse. It brings enormous potential benefits in its ability to engage with the general public and with decision-makers, but at the same time presents risks in misuse and misinterpretation (Goodchild y Haining, 2004:14).

citando a Dobson, 1999).¹¹ Las discusiones reverdecieron a partir del año 1997 cuando Wright et al.¹² enuncian la posibilidad de la existencia de la Ciencia de la Información geográfica (CIG en español y *GIScience* en inglés), o por lo menos la posibilidad de la presencia de un continuo que comprende a los SIG tanto como herramienta y ciencia. Bosque Sendra (1999) define a la CIG como un cuerpo de conocimiento que pretende el estudio, la investigación y el desarrollo de los conceptos teóricos, los algoritmos matemáticos, los programas informáticos, los instrumentos físicos, las bases de datos, las nuevas formas de uso y la búsqueda de nuevos campos de aplicación, en relación a las tecnologías de la información geográfica.

Sin embargo, a pesar del intenso debate, una aproximación hacia la síntesis entre ambas posturas emerge a fines de la década del noventa cuando se acuña el término SIG Crítico (*Critical GIS*, en inglés) donde confluyen ambas vertientes y se acepta la potencialidad que tienen los SIG, y no por ello se resigna una visión crítica. No obstante, para muchos usuarios de estas herramientas y para otros tantos críticos sociales, la combinación de ambos términos es más un oxímoron que una posibilidad concreta (F. Harvey et al., 2005). Este novedoso enfoque permitió confeccionar propuestas de investigación vinculadas a aspectos legales y éticos en el uso de los SIG y a la intención de incorporar grupos sociales en la toma de decisiones (*Public Participation GIS* o *PPGIS*, en inglés) favoreciendo la participación comunitaria de manera que se obtenga una respuesta más justa y racional a los problemas (Bosque Sendra 1999; Sheppard, 2001).

También es importante evitar posturas fundamentalistas en el marco de cualquier enfoque disciplinario. Dentro del cuantitativo es necesario reflexionar antes de aplicar de forma precipitada métodos avanzados de análisis estadístico con el ansia de obtener resultados lo antes posible. Se olvida, de ese modo, que la ciencia no avanza solamente mediante la adquisición y acopio de resultados nuevos, sino que el verdadero objetivo es intentar comprender cómo opera el mundo real o, al menos, una parte de ese mundo. Siguiendo esta línea de pensamiento, Vilalta y Perdomo (2005: 117) sostiene que mientras muchas discusiones metodológicas son dogmáticas, atiborradas de evidencia anecdótica, en la estadística suele confiarse excesivamente en los resultados obtenidos sobre la base de la aplicación de técnicas sin conocimiento de causa y efecto, cuyo interés principal parecen ser el *output* más que el proceso de investigación. La postura es acompañada por Openshaw (1984) quien lamenta que muchos geógrafos se hayan vuelto completamente cegados por los conceptos convencionales de la teoría estadística y el paradigma de la ciencia normal y que no les interese o comprendan los fundamentos de la Geografía que están aplicando.¹³ El mismo autor sugiere que es necesario que la Geografía desarrolle sus propios métodos para afrontar los problemas relacionados con los datos espaciales. En otras palabras que los geógrafos comiencen a elaborar un conjunto de técnicas de análisis espacial que puedan hacer frente a la

¹¹ In 1993, Jerome Dobson, a GIS researcher at the Oak Ridge National Laboratory, wrote an enthusiastic piece for the *Professional Geographer* entitled 'Automated Geography'. In an optimistic tone, Dobson outlined the philosophical versatility of 'automated techniques' (GIS, remote sensing, computer graphics), pointing out their utility in both 'nomothetic' and 'idiographic' studies (Schuurman citando Dobson, 1999: 136).

¹² GIS: Tool or Science? Demystifying the Persistent Ambiguity of GIS as "Tool" Versus "Science"
Author(s): Dawn J. Wright, Michael F. Goodchild, James D. Proctor

¹³ It is unfortunate that so many geographers have become so completely blinkered by the concepts of conventional statistical theory and the normal science paradigm that they no longer seem to care or understand the basic geography of what they are doing (Openshaw 1984: 5).

complejidad propia de los datos geográficos. La primera etapa de una supuesta segunda revolución cuantitativa debería ser el perfeccionamiento de metodologías que puedan manejar temas intrínsecamente geográficos como el Problema de la Unidad Espacial Modificable o la autocorrelación espacial, por ejemplo, con la sustitución gradual de muchas de las técnicas poco relevantes que se importaron de otras disciplinas en las décadas del sesenta y setenta. Consiguientemente, es necesario detener la copia y adaptación de técnicas provenientes de otras disciplinas y comenzar un período de innovación. De esta manera se podrá dejar de lado el enfoque más bien rígido enmarcado en la teoría estadística clásica (Openshaw, 1984).¹⁴

El crecimiento de toda ciencia depende de que se cumplan varias condiciones. En primer lugar, debe haber buena calidad de datos disponibles. En segundo lugar, se necesitan hipótesis bien formuladas que pueden ser formalizadas a fin de que puedan ser objeto de pruebas empíricas. En tercer lugar, debe existir una rigurosa metodología que permita al analista obtener inferencias válidas y conclusiones en relación a las preguntas formuladas. Esto incluye la capacidad para formular modelos que puedan ser utilizados para probar hipótesis sobre los parámetros de interés. La condición final es la disponibilidad de una tecnología que permita que una investigación se lleve a cabo de manera práctica bajo normas aceptables de precisión (Goodchild y Haning, 2004).

El insumo fundamental para poder aplicar estas herramientas informáticas son los datos espaciales que permiten conocer, aunque sea parcialmente, el mundo real. En este sentido, no importa demasiado si la comprensión de la realidad se obtiene a través de métodos estadísticos avanzados o simples. La tendencia en las ciencias y, también en la Geografía, es intentar comprender el comportamiento de la información en lugar de centrarse casi exclusivamente en las técnicas de análisis. Consecuentemente, estamos ante una nueva actitud según la cual, el objetivo esencial del análisis de los datos no es obtener resultados a partir de un ordenador, sino poder interpretarlos de forma tal que ayuden a comprender la realidad (Estebanez 1984: 57).

EL PRINCIPIO DE TOBLER Y LA AUTOCORRELACION ESPACIAL

El principio de Tobler se puede relacionar y explicar con la autocorrelación espacial. Una de las razones principales por las que la autocorrelación espacial es importante es que la estadística tradicional se basa en que las observaciones son independientes entre sí. Por lo tanto, no existe independencia entre las observaciones (unidades espaciales para la Geografía) en el caso de autocorrelación espacial positiva. Para un geógrafo es imposible imaginar un mundo sin autocorrelación espacial: no existirían las regiones dado que la variación de todo tipo de fenómenos tendría que ocurrir independientemente de la ubicación (Goodchild, 1986).¹⁵

¹⁴ It is humbly suggested that it is about time that quantitative geographers started to devise a body of relevant spatial analysis techniques that can cope with geographical data. The first stage in this second quantitative revolution must be the development of methods that can handle the MAUP, with the gradual replacement of many of the less relevant techniques that were originally plagiarised from a variety of disciplines in the 1960's and 1970's. If geography is to survive as a distinctive subject then it is time it stopped copying and adapting techniques imported from other disciplines and started a period of fundamentally relevant methodological innovation. There may well have to be a move away from a rather rigid and naive approach based on classical statistical theory (Openshaw 1984: 5).

¹⁵ It is impossible for a geographer to imagine a world in which spatial autocorrelation could be absent: there could be no regions of any kind, since the variation of all phenomena would have to occur

La presencia de AE permite traer a colación la predicción dado la interdependencia espacial de los fenómenos espaciales (Cliff y Ord citando a Gould, 1975: 301). De esta manera, la posible predicción del comportamiento de una variable en una unidad espacial específica se podría extender a sus vecinos bajo este principio. Como enuncia Randle (1978) sin la capacidad de obtener resultados que pueden predecir, aunque sea parcialmente, el investigador está condenado a que sus estudios envejecen más rápidamente que otros en los que se proyecta la realidad analizada al futuro. No se trata de profetizar ni de adivinar, pero es posible tener en cuenta el dinamismo de la realidad vigente, destacar la dirección en que se verifican los cambios.

Las características socioeconómicas y ambientales propias de la Geografía tienden a mostrar cierto grado de similitud, ya que a menos que existan factores de ruptura o de discontinuidad muy marcados, la situación normalmente esperable sería la de cierta homogeneidad espacial. En general se acepta que existe autocorrelación espacial (AE) siempre que haya una variación espacial sistemática en los valores de una variable a través de un mapa, es decir un patrón en el comportamiento de la variable según la ubicación geográfica del dato. Si los valores altos de una posición (lugar) están asociados con valores altos de lugares vecinos, la autocorrelación espacial es positiva siendo la situación opuesta la de autocorrelación espacial negativa. En otras palabras, si no hay relación entre los valores de las variables, x_i y x_j en los lugares i y j de un mapa, se habla de falta de autocorrelación espacial, es decir se exhibe un patrón aleatorio entre los valores de la variable y la ubicación geográfica del dato (Velázquez y Cepeda, 2004).

La AE es especialmente indicada en fenómenos de propagación, es decir, que se adaptan al modelo de difusión epidémica y en situaciones con un fuerte componente social, puesto que la población suele residir de un modo segregado (Gamir Orueta et al., 2005). Entonces, la utilidad de la AE está en su capacidad para estudiar la forma en que un fenómeno se irradia a través de las unidades espaciales, y si tal conducta corresponde a algún modelo de difusión conocido o bien registra la segregación espacial de alguna característica. En definitiva, refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a los objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Vilalta y Perdomo, 2005: 326) y es, quizás, después del promedio y la varianza la propiedad más importante de cualquier variable geográfica y, a diferencia de las anteriores, está explícitamente vinculada con patrones espaciales (Goodchild, 2008a).¹⁶

Cliff y Ord, ambos investigadores de la Universidad de Bristol en Gran Bretaña, influidos por la escuela cuantitativa de la Universidad de Washington, fueron los primeros en acuñar el término AE en el año 1968 ya que hasta entonces se la conocía como dependencia espacial, asociación espacial, interacción espacial o interdependencia espacial (Getis, 2008). Como ocurre con varios de los modelos aplicados en el ámbito de la Geografía sus raíces se encuentran en otras disciplinas.

El interés por la AE surge dentro de un subcampo de la econometría denominado econometría espacial que se ocupa del tratamiento de la interacción espacial y la estructura espacial en modelos de regresión (Anselin, 1999). El mismo investigador la

independently of location.(Goodchild: 1986:3).

¹⁶After the mean and variance, spatial autocorrelation is perhaps the most important property of any geographic variable (Goodchild, 2008a: 397).

define como la colección de técnicas que lidian con las peculiaridades causadas por el espacio en el análisis estadístico de los modelos de la ciencia regional. No es llamativo la base económica de este concepto ya que como apunta Krugman¹⁷ (citado por Sánchez Moral, 2004: 208) el relativo inmovilismo de los geógrafos hizo que retrocedieran dentro del área del análisis espacial, fundamentalmente por las dificultades para expresar los trabajos en lenguaje lógico-matemático, favoreciendo los esfuerzos de la Economía para hacer efectiva la integración de la dimensión espacial.

No es algo excepcional observar que otras disciplinas e investigadores con orígenes ajenos a la Geografía reconocieron la importancia de nuestra ciencia al aportar relevantes procedimientos y teorías. Luc Anselin (economista) realiza los aportes necesarios para sistematizar e implementar el índice de autocorrelación más conocido - *I* de Moran- a través del programa GeoDa; Michael Goodchild (físico) sentó muchas de las bases teóricas de los SIG que se utilizan en la actualidad; J. Ronald Eastman (psicólogo) implementó en el SIG Idrisi el Método de Jerarquías Analíticas dentro de la Evaluación Multicriterio que ya era utilizado en la Economía y en la Psicología.

Desde una perspectiva histórica el origen del interés por la AE se remonta a los primeros años de la década del setenta cuando surgió la necesidad de hacer frente a modelos econométricos subregionales en los cuales a menudo las técnicas econométricas tradicionales fallaban (Anselin, 1999):¹⁸ por ejemplo, los procedimientos de regresión suelen malograrse bajo los efectos de la AE dado que los parámetros no son eficientes y los *tests* de significancia no son confiables en presencia de ese fenómeno (Miller, 1999). Es por ello que, en algunos modelos de regresión, para establecer su robustez, someten a sus residuos a la AE esperando que la configuración espacial resultante sea aleatoria.

Independientemente de la naturaleza del modelo de interés (ya sea espacial o no-espacial), a partir de la explosiva difusión de los SIG, de la tecnología y de la disponibilidad de datos socioeconómicos geocodificados, ha surgido una necesidad de métodos especializados para hacer frente a las características distintivas de los datos geográficos (Anselin, 1999).¹⁹

Profundamente arraigado en el principio de Tobler existe una síntesis dialéctica donde los enfoques nomotéticos e idiográficos de la Geografía pueden ser integrados cuidadosamente (Sui, 2004).²⁰ La discusión entre ambos conceptos puede ser considerada como un continuo dependiendo de la escala que se utilice. Por lo tanto, es

¹⁷ Paul Krugman y Luc Anselin son economistas. El primero, propuso la “Nueva Geografía Económica” a fines de la década del noventa y se le concedió el Premio Nobel en su especialidad en el año 2008.

¹⁸ Spatial econometrics is a subfield of econometrics that deals with the treatment of spatial interaction (spatial autocorrelation) and spatial structure (spatial heterogeneity) in regression models (...) Historically, spatial econometrics originated as an identifiable field in Europe in the early 1970s because of the need to deal with sub-country data in regional econometric models (...) The recognition that standard econometric techniques often fail in the presence of spatial autocorrelation (Anselin, 1999: 1).

¹⁹ Irrespective of the nature of the model of interest (whether spatial or non-spatial), the explosive diffusion of geographic information systems (GIS) technology and the associated availability of geocoded socioeconomic data sets (i.e., data sets that contain the location of the observational units) has created a need for specialized methods to deal with the distinguishing characteristics (primarily spatial autocorrelation) of such geographic data (Anselin, 1999: 1).

²⁰ Thus, embedded deeply in TLF, is a rather dialectical synthesis that nomothetic and idiographic approaches to geography must and should be artfully integrated and reconciled (Sui, 2004:272).

importante reconocer que el fenómeno de la AE debe ser entendido no solo de forma empírica o simplemente como un problema estadístico, sino como un procedimiento que posee importante desarrollo teórico que puede aportar a la discusión epistemológica en la disciplina geográfica.

Otro concepto asociado a la AE es la dependencia espacial que se produce cuando el valor de la variable dependiente en una unidad espacial es parcialmente función del valor de la misma variable en unidades vecinas. Expresado de otra forma, cuando la autocorrelación es sustantiva y no existe un factor de aleatoriedad. En el análisis de datos agregados geográficamente es frecuente encontrar que los valores de las variables estén autocorrelacionadas espacialmente o sean espacialmente dependientes.

La diferencia entre AE y la dependencia espacial está fundamentalmente en el uso de las palabras y estriba en que en el primer caso se hace simultáneamente referencia a un fenómeno y técnica estadística, y en la segunda a una explicación teórica (Vilalta y Perdomo, 2005). Debido a que la diferenciación es mínima y muy compleja de explicar por sus raíces estadísticas, como postula Anselin (1999), al iniciar un capítulo de uno de sus libros, ambos términos, aunque no son iguales, se pueden utilizar de forma intercambiable aunque la noción de AE es la más utilizada.²¹

La existencia y reconocimiento de la AE (y de la dependencia espacial) es opuesta al principio básico de la teoría estadística que asume que las observaciones son independientes, es decir que el resultado de la toma de muestras en algún punto específico no es, en modo alguno, previsible del resultado de la toma de muestras en puntos cercanos. No obstante, los datos localizados espacialmente rara vez cumplen esa condición. Es por esta característica que inicialmente a la AE se la consideraba como un problema de dependencia espacial dado que directamente contradice a la independencia de las observaciones postuladas por la estadística tradicional y las técnicas econométricas (Miller, 1999).

A partir de este contexto, en la práctica, los investigadores se ven obligados a adoptar una de tres estrategias: a desechar muestras más cercanas que el rango exhibido por los datos, y ningún investigador es feliz descartando datos; abandonar totalmente la estadística inferencial y limitar la interpretación a la descripción de la muestra; o incorporar explícitamente los efectos espaciales en cualquier modelo, utilizando algunos de los métodos de estadística espacial (Goodchild, 2008a).²²

Siguiendo esta línea de discusión, Anselin (1999) y Goodchild (2008a) se preguntan si los datos geográficos tienen una naturaleza especial, o, dicho de otro modo, ¿hay algo especial acerca de los datos espaciales? Es evidente que no existe una respuesta precisa ya que es difícil predecir lo que se puede encontrar en cualquier lugar sobre la superficie de la Tierra. Pero, por otro lado, existen principios generales que pueden ser descubiertos y señalados, incluso si lo que hay son tendencias de carácter estadístico en lugar de predicciones precisas.

²¹ In this chapter, I will use the terms spatial dependence and spatial autocorrelation interchangeably. Obviously, the two are not identical, but typically, the weaker form is used (Anselin, 1999:3).

²² In practice, investigators are forced to adopt one of three strategies: to discard samples closer together than the range exhibited by the data, and no investigator is happy discarding data; to abandon inferential statistics entirely and limit the interpretation to the description of the sample; or to incorporate spatial effects explicitly in any model, using one of a number of methods from spatial statistics (Goodchild, 2008a: 397).

Por último, en contra de lo que suelen creer los críticos de los enfoques cuantitativos, la ciencia moderna permite hoy introducir y aceptar el azar a nivel individual y, al mismo tiempo, reconocer probabilidades a nivel colectivo o de conjunto. De aquí que cada vez más la “Nueva Geografía” sustituya los modelos deterministas por los modelos estocásticos en los que se introduce lo aleatorio y en los que la probabilidad desempeña un papel fundamental tal como sostiene Capel en la introducción de Schaefer, (1988) “Excepcionalismo en Geografía”.

Existen diferentes estadísticos para calcular la autocorrelación espacial, siendo el más común el *I* de Moran con una composición y rango de valores similar al coeficiente de correlación de *Pearson*. Mientras que el último mide el grado de similitud entre variables, la primera establece el grado de asociación entre unidades espaciales. De hecho, la *I* de Moran es, esencialmente, el coeficiente de correlación de *Pearson* con una matriz de pesos definida por el usuario (Goodchild, 2008).

La principal limitación del procedimiento es conocida como el Problema de la Unidad Espacial Modificable, en el cual a medida que las unidades espaciales se agrupan para formar otras de mayor tamaño (de radios a fracciones, de éstas a municipios, y de éstos a provincias, por ejemplo), las correlaciones entre las variables estudiadas tienden a aumentar, aunque el universo de observación sea siempre el mismo. Esto se debe a que la información al promediarse para pasar de un agrupamiento a otro se vuelve más homogénea. Lo particular del problema es que solamente sucede cuando el agrupamiento se produce entre unidades espaciales vecinas y no juntadas al azar. De esta manera, un componente del problema parecería ser la misma autocorrelación espacial, aunque todavía no es comprendido en su totalidad, y su solución, si es que es posible encontrarla, parece situarse en un horizonte lejano. Una salida al problema estaría en disponer de la totalidad de la información censal, hecho que contrastaría con la privacidad de la información. Sin embargo, el problema es de mayor importancia cuando se trabaja con escalas menores compuestas por pocas unidades espaciales. También este procedimiento tiene dificultad para los estudios actuales como el de las redes sociales dado en las que la importancia de la distancia es reemplazada por la conectividad, tal como detalla (Waters, 2016).

Una variante más reciente de la autocorrelación espacial es la identificación de patrones locales de asociación espacial o análisis local que permite desagregar el estadístico local y registrar el aporte que realiza cada unidad. De esta manera se pueden obtener nuevos mapas que favorecen una exploración más detallada de la información a través de la identificación de *clusters* y *outliers*. Los primeros muestran agrupamientos de unidades con valores similares ya sean altos o bajos, mientras que los segundos registran situaciones mixtas, es decir, detectan unidades espaciales con valores disímiles a los encontrados en sus vecinos.

Todas estas características mencionadas con anterioridad hacen que la autocorrelación espacial, además de ser un método estadístico, también sea considerada por sus aportes a la discusión teórica en la disciplina geográfica al integrar en su funcionamiento visiones nomotéticas e idiográficas y discutir la posibilidad de la existencia o no de leyes en la Geografía.

CONSIDERACIONES FINALES

La aparición hace cincuenta años de la Primera Ley en Geografía o la Primera Ley de Tobler ha sido un punto de partida para numerosos debates teóricos y progresos práctico de la disciplina geográfica, en particular en el ámbito de los SIG.

Si bien hubo discusiones sobre lo que constituye una ley, se llegó al consenso de que TFL es aplicable al mundo real (Foresman y Luscombe, 2017). A pesar de la simpleza de su enunciado, y que a priori parece bastante obvio, el principio tiene profundas implicancias. Su premisa básica es muy sencilla: en el espacio todo está interrelacionado, pero las unidades espaciales cercanas tienden a ser más parecidas que las distantes. No obstante, esta propiedad la enfrenta a uno de los principios estadísticos básicos: la independencia de las observaciones. Para la estadística clásica, en un muestreo el resultado de una observación en un punto específico no es, bajo ningún concepto, predecible a partir del muestreo de los puntos cercanos (Goodchild, 2008).

Con el creciente uso de las tecnologías de la información geográfica, la Primera Ley de Tobler, la autocorrelación espacial y el Problema de la Unidad Espacial Modificable deberían estar presente en los trabajos que involucran al territorio para conocer mejor los alcances y limitaciones de los resultados que se puedan obtener y darle un carácter netamente espacial a los mismos.

Los indicadores de autorocorrelación se encuentran en todos los SIG modernos de manera que su uso debería continuar en aumento en los próximos años, pero antes debería conocerse en profundidad cuáles son sus implicancias tanto teóricas como prácticas en el campo de los estudios territoriales. La facilidad de su aplicación ha hecho que aumenten los estudios que lo aplican en un amplio espectro de temas, pero su amplio uso no necesariamente significa, particularmente para los no geógrafos, una comprensión detallada de los alcances y limitaciones del procedimiento. No obstante, es para destacar el interés de otras disciplinas en un método netamente espacial que posiciona a la Geografía de manera favorable para el estudio territorial.

BIBLIOGRAFÍA

Anselin, L. (1999). *Spatial Econometrics*. School of Social Sciences University of Texas at Dallas. Dallas.

Bosque Sendra, J. (1999). Nuevas perspectivas en la enseñanza de las tecnologías de la información geográfica. *Serie Geográfica*. 8: 25-34

Bosque Sendra, J. (2005). Espacio geográfico y ciencias sociales. Nuevas propuestas para el estudio del territorio. *Investigaciones Regionales*. 6: 203-221.

Capel, H 1971. (1971). Schaefer y la nueva Geografía. Introducción a la traducción española de Excepcionalismo en Geografía, de Fred K. SCHAEFFER, Universidad de Barcelona, Colección Pensamiento y Método Geográficos: Barcelona.

Cliff, D.; Ord K. (1975). Model Building and the Analysis of Spatial Pattern in Human Geography. *Journal of the Royal Statistical Society*. 37(3): 297-348.

- Estebanez Álvarez, J. (1987). La imagen de la geografía cuantitativa elaborada por sus oponentes. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*. 7: 53-59.
- Estebanez Álvarez, J.; Bradshaw, R. (1978). *Técnicas de cuantificación en Geografía*. Editorial Tebar Flores. Madrid.
- Foresman, T.; Luscombe, R. (2017). The second law of geography for a spatially enabled economy. *International Journal of Digital Earth*. 10(10): 979-995.
- Gamir Orueta, A.; Ruíz Pérez, M.; Seguí Pons, J. (2005). *Prácticas de análisis espacial*. Oikos-Tau.Barcelona.
- Guedes, R. N. C. (2017). Insecticide resistance, control failure likelihood and the first law of geography. *Pest management science*, 73(3): 479-484.
- Getis, A. (2008). A History of the Concept of Spatial Autocorrelation: A Geographer's Perspective. *Geographical Analysis*. 40(3): 297-309.
- Goodchild, M. (1986). *Spatial Autocorrelation*. Geo Books.Norwich.
- Goodchild, M. (2008a). Geographic information science: the grand challenges. En: Wilson, J. and Fotheringham A. (Editors). *The Handbook of Geographic Information Science*. Blackwell. Malden, MA: 596–608.
- Goodchild, M. (2008b). Spatial autocorrelation. En: Kemp, K. (Ed.) *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Thousand Oaks, California. SAGE. 397-398.
- Goodchild, M.; Haining, R. (2004). GIS and spatial data analysis: converging perspectives. *Papers in Regional Science*. 83:363–385.
- Harvey, F.; Kwan, M. P.; Pavlovskaya, M. (2005). Introduction: critical GIS. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. 40(4): 1-4.
- Liu, J., Li, W., y Wu, J. (2018). A framework for delineating the regional boundaries of PM_{2.5} pollution: A case study of China. *Environmental pollution*. 235: 642-651.
- Lucendo-Monedero, A. L.; Ruiz-Rodríguez, F.; González-Relaño, R. (2019). Measuring the digital divide at regional level. A spatial analysis of the inequalities in digital development of households and individuals in Europe. *Telematics and Informatics*. 41: 197-217.
- Haggett, P. (1994). *Geografía. Una síntesis moderna*. Omega Editorial. Barcelona.
- McKercher, B.; Mak, B. (2019). The impact of distance on international tourism demand. *Tourism Management Perspectives*. 31:340-347.
- Miller, H. (1999). Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation (GIS-T). *Geographical Analysis*. 31: 373-399.
- Openshaw, S. (1984). *The Modifiable Areal Unit Problem*. Geo Books. Norwich.

- Pickles, J. (Ed.). (1995). *Ground truth: The social implications of geographic information systems*. Guilford Press. New York.
- Randle, P. (1978). *El método de la geografía: cuestiones epistemológicas*. Oikos. Buenos Aires.
- Ruiz i Almar, E. (2019). Releyendo a los clásicos. Acerca de “Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica”, Fred K. Schaefer, Waldo R. Tobler y Brian J. I. Berry. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. I:1-11.
- Sánchez Moral, S. (2004). El estudio econométrico de la concentración espacial de la industria: ejemplo de aplicación en Madrid, Toledo y Guadalajara. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*. 24: 207-227.
- Schaefer, F. K. (1988). *Excepcionalismo en geografía* (Vol. 1). Edicions Universitat Barcelona. Barcelona.
- Schuurman, N. (1999). Speaking With the Enemy? An Interview With Michael Goodchild. *Environment and Planning: D Society and Space*. 17(1):1-15.
- Schuurman, N. (2000). Trouble in the heartland: GIS and its critics in the 1990s. *Progress in Human Geography*. 24(4): 569–590.
- Schuurman, N. (2002). Reconciling Social Constructivism and Realism in GIS. *ACME. An International E-Journal for Critical Geographies*. 1(1): 75-90.
- Sheppard, E. (2005). Knowledge Production through Critical GIS: Genealogy and Prospects. *Cartographica*. 40(4): 5-21.
- Sui, D. (2004). Tobler’s First Law of Geography: A Big Idea for a Small World? *Annals of the Association of American Geographers*. 94(2): 269–277.
- Tobler, W. (2004). On the First Law of Geography: A Reply. *Annals of the Association of American Geographers*. 94(2): 304–310.
- Velázquez, G.; Cepeda, R. (2004). Análisis de asociación espacial en variables de calidad de vida en la Argentina. *Revista Geográfica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia*. 136: 109-132.
- Vilalta y Perdomo, C. (2005). Como enseñar autocorrelación espacial. *Economía, Sociedad y Territorio*. 18: 323-333.
- Waters, N. (2016). *Tobler's first law of geography*. En: Richardson, D. Castree, N. Goodchild, M. Kobayashi, A. Liu, W. y Martson R. (Eds.). *The international encyclopedia of Geography*. John Wiley and Sons. Chichester. 1-15.
- Wende, D. (2019). Spatial risk adjustment between health insurances: using GWR in risk adjustment models to conserve incentives for service optimisation and reduce MAUP. *The European Journal of Health Economics*. 20(7): 1079–1091.

Wright, D. J.; Goodchild, M. F.; Proctor, J. D. (1997). GIS: tool or science? Demystifying the persistent ambiguity of GIS as " Tool" versus " Science". *Annals of the Association of American Geographers*. 87(2): 346-362.

Xu, H.; Demetriades, A.; Reimann, C.; Jiménez, J. J.; Filser, J.; Zhang, C.; Team, G. P. (2019). Identification of the co-existence of low total organic carbon contents and low pH values in agricultural soil in north-central Europe using hot spot analysis based on GEMAS project data. *Science of The Total Environment*. 678:94-104.

Zhang, F.; Sun, X.; Zhou, Y.; Zhao, C.; Du, Z.; Liu, R. (2017). Ecosystem health assessment in coastal waters by considering spatio-temporal variations with intense anthropogenic disturbance. *Environmental modelling & software*. 96: 128-139.

© Juan Pablo Celemín.

Celemín, J. P. 2020. Cincuenta años de la primera ley de Tobler: Revisión de sus aportes teóricos y prácticos a la ciencia geográfica. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 12(18) Sección I:1-18

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 9 de marzo de 2020

Aceptado: 28 de junio de 2020